



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Campus de Bauru

Faculdade de Ciências

Programa de Pós Graduação em Educação para a Ciência

Edval Rodrigues de Viveiros

**MINDWARE SEMIÓTICO-COMUNICATIVO: CAMPOS CONCEITUAIS NO
ENSINO DE FÍSICA PARA DEFICIENTES VISUAIS UTILIZANDO UMA
INTERFACE CÉREBRO-COMPUTADOR**

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências de Bauru –
Programa de Pós-graduação em Educação para a
Ciência, como requisito para obtenção do título de
Doutor em Ensino de Ciências. Orientador: Prof. Dr.
Eder Pires de Camargo. Co-orientador: Prof. Dr. Gérard
Vergnaud**

Bauru/SP, 2013

Edval Rodrigues de Viveiros

**MINDWARE SEMIÓTICO-COMUNICATIVO: CAMPOS CONCEITUAIS NO
ENSINO DE FÍSICA PARA DEFICIENTES VISUAIS UTILIZANDO UMA
INTERFACE CÉREBRO-COMPUTADOR**

**Tese apresentada à Faculdade de Ciências de Bauru –
Programa de Pós-graduação em Educação para a
Ciência, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Doutor em Ensino de Ciências. Orientador:
Prof. Dr. Eder Pires de Camargo. Co-orientador: Prof.
Dr. Gérard Vergnaud**

Banca examinadora:

Presidente: Prof. Dr. Eder Pires de Camargo

Instituição: PPGEC-FC/UNESP Bauru e DFQ-FEIS/UNESP Ilha Solteira

Membro Interno: Profa. Dra. Sílvia Regina Quijadas Aro Zuliani

Instituição: PPGEC-FC/UNESP Bauru e Depto. de Educação/UNESP Bauru

Membro Interno: Prof. Dr. Wilson Massashiro Yonezawa

**Instituição: PPGEC-FC/UNESP Bauru e Depto. de Computação/UNESP
Bauru**

Membro Externo: Profa. Dra. Tania Regina Fraga da Silva

Instituição: Universidade de Brasília/Departamento de Artes Visuais

Membro Externo: Prof. Dr. Estéfano Vizconde Veraszto

Instituição: UNICAMP/ Faculdade de Educação

Suplente Interno: Prof. Dr. Aguinaldo Robinson de Souza

Instituição: PPGEC-FC/UNESP Bauru e Depto. de Química/UNESP Bauru

Suplente Externo: Prof. Dr. Teófilo Galvão Filho

Instituição: Universidade Federal da Bahia

Bauru/SP, 19 de Fevereiro de 2013.

Viveiros, Edval Rodrigues de.

Mindware semiótico comunicativo: campos conceituais no ensino de Física para deficientes visuais utilizando uma interface cérebro-computador / Edval Rodrigues de Viveiros, 2013

487 f. : il.

Orientador: Eder Pires de Camargo

Co-orientador: Gérard Vergnaud

Tese (Doutorado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2013

1. Ensino de Física para deficientes visuais e físicos. 2. Teoria dos Campos Conceituais. 3. Neurociência Cognitiva. 4. Interface cérebro-computador e tecnologias assistivas. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências. II. Título.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE EDVAL RODRIGUES DE VIVEIROS,
DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA, DO(A)
FACULDADE DE CIÊNCIAS DE BAURU.**

Às 19 dias do mês de fevereiro do ano de 2013, às 09:00 horas, no(a) Auditório da Pós-graduação da Faculdade de Ciências, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. EDER PIRES DE CAMARGO do(a) Departamento de Física e Química / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Prof.ª Dra. TÂNIA REGINA FRAGA DA SILVA do(a) Departamento de Artes Visuais/Universidade de Brasília, Prof.ª Dra. SILVIA REGINA OLIVADAS ARO ZULIANI do(a) Departamento de Educação / Faculdade de Ciências de Bauru, Prof. Dr. ESTEFANO VIZCONDE VERASZTO do(a) Faculdade de Educação/Unicamp, Prof. Dr. WILSON MASSASHIRO YONEZAWA do(a) Departamento de Computação / Faculdade de Ciências de Bauru, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da TESE DE DOUTORADO de EDVAL RODRIGUES DE VIVEIROS, intitulado "Mindware semiótico-comunicativo: campos conceituais no ensino de Física para deficientes visuais utilizando uma interface cérebro-computador". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

Prof. Dr. EDER PIRES DE CAMARGO

Prof.ª Dra. TÂNIA REGINA FRAGA DA SILVA

Prof.ª Dra. SILVIA REGINA OLIVADAS ARO ZULIANI

Prof. Dr. ESTEFANO VIZCONDE VERASZTO

Prof. Dr. WILSON MASSASHIRO YONEZAWA

DEDICO

A meus pais **Sebastião e Dirce** pela vida, amor e paciência, especialmente a minha mãe pela lição de neuroplasticidade em acreditar na recuperação da pessoa cérebro-lesionada. Ao meu querido irmão Edson, demonstração de que o otimismo e amor são os melhores remédios para o corpo e para o espírito. A minha amada , doce e eterna esposa **Edilene**, pelo exemplo, amor e incentivo para que este trabalho tivesse um sentido de algo “útil” para a humanidade.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo apoio aos meus incontáveis momentos de esmorecimento de fé e crises existenciais.

Ao Professor Doutor Eder Pires de Camargo não apenas por sua participação enquanto orientador, mas, sobretudo, pelo incentivo e crédito que deu a este projeto.

Ao Professor Doutor Gérard Vergnaud pelo carinho das tantas horas empenhadas para que este sonho se tornasse realidade.

A Professora Doutora Sandra Bruno (Université Cergy-Pontoise/Laboratoire Paragraphe) pela inestimável colaboração nesta pesquisa.

A Professora Doutora Tania Fraga por seu precioso auxílio na execução do projeto como um todo.

A Professora Doutora Sílvia Regina Quijadas Aro Zuliani pelas incontáveis demonstrações de apoio nesta pesquisa e em outros momentos.

Ao Ms. Mauro Pichiliani pela valiosa colaboração na execução do feedback auditivo para uso na interface.

A Felipe de Sousa Nascimento pelo apoio incondicional no projeto de operação da interface cérebro-computador para acionamento da unidade robótica.

Aos funcionários brasileiros e franceses da Bibliothèque Nationale de France, pelo excelente atendimento e profissionalismo demonstrados durante minha estada em Paris.

Ao Professor Dr. Miguel Nicolelis, pela inspiração de muitas ideias contidas neste trabalho e pelo exemplo de pesquisador.

Especial agradecimento a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

Resumo:

Uma interface cérebro-computador (ICC) foi pesquisada com o objetivo de se tornar um recurso assistivo para facilitar o processo de conceitualização de pessoas com deficiência visual e física, em aulas de Física. Para avaliar esta tecnologia na *práxis* didática, utilizou-se a Teoria dos Campos Conceituais para sustentação epistemológica, aplicando-se estratégias multissensoriais de ensino-aprendizagem em aulas de Física, empregando-se uma unidade robótica como ferramenta didática. A análise técnica operacional da ICC levou em consideração três aspectos que se constituíram os *corpora* de pesquisa: configuração didática, ergonomia cognitiva e neurociência cognitiva. Como resultado, mostramos que a ICC facilitou o mecanismo de elaboração dos esquemas cognitivos e o processo de conceitualização (invariantes operatórios, conceitos e teoremas-em-ação). Assim sendo, logrou-se o uso da ICC como “tecnologia assistiva” para ampliação sensório-motora (controle da unidade robótica ‘através do pensamento’ nas aulas de Física). Com isto assegurou-se o processo de inclusão, acessibilidade e *empowerment* da pessoa deficiente visual e física. Além disto, a pesquisa trouxe outro resultado inédito na pesquisa em Ensino de Ciências, mostrando que a tecnologia da ICC foi funcional para o registro e acompanhamento das funções neurocognitivas em tarefas didáticas, através da análise da atividade elétrica cerebral via eletroencefalograma (EEG) e ritmos cerebrais. Para isto, realizamos quase-experimentos comparando-se uma tarefa com uma única estimulação sensorial, com outras tarefas utilizando-se estratégias multissensoriais. A análise estatística dos dados neurocognitivos do EEG e ritmos cerebrais evidenciou que a aplicação das estratégias multissensoriais produziu correlação acima de 70% (com $p < 0,05$). O uso de estratégias de aprendizagem multissensoriais propiciou a ocorrência de significativos eventos na faixa das ondas Alpha, Beta e Theta indicando grande participação dos mecanismos de atenção, memória e cognição emocional com valência positiva (estados emocionais de bem-estar). Estas condições sugerem uma predisposição para a aprendizagem, propiciando mecanismos de incorporação cognitiva. Uma análise dos dados didáticos (esquemas e invariantes operatórios), conjuntamente com os dados e variáveis cognição emocional, atenção e

memória, sugere que a aprendizagem da Física mobiliza modalidades bem específicas de “constructos cognitivos”, bem como mecanismos singulares de incorporação cognitiva. Isto traz como resultado final a indicação da existência de constructos cognitivos próprios para o ensino-aprendizagem da Física. Estes constructos podem ser traduzíveis na forma de “descritores”, vindo compor um “protocolo semiótico para o Ensino de Física”. Tal protocolo poderá sustentar teoricamente a reelaboração da Matriz de Competências e Habilidades da Física, evidenciando características sensório motoras e cognitivas que sejam e estejam muito mais adequadas ao perfil cognitivo exigido para a aprendizagem conceitual da Física. Uma melhor compreensão sobre o funcionamento neurocognitivo de tais descritores poderia contribuir para a elaboração de estratégias educacionais mais eficientes e eficazes, tanto para as pessoas sem ou com algum tipo de necessidade educacional especial.

Palavras-chave: Ensino de Física para deficientes visuais e físicos; Teoria dos Campos Conceituais; Interface cérebro-computador e tecnologias assistivas. Neurociência Cognitiva.

Abstract:

A brain-computer interface (BCI) was investigated with the objective of becoming an assistive resource to facilitate the process of conceptualization of blind and physically handicapped students in Physics classes. To evaluate this technology in teaching practice, we used the Conceptual Fields Theory to support epistemological applying multisensory strategies for teaching and learning in physics classes, using a robotics kit as a teaching tool. Operational technical analysis of BCI considered three aspects that formed the research corpora: setting didactic, cognitive ergonomics and cognitive neuroscience. As a result, we show that the BCI mechanism facilitated the development of cognitive schemas and conceptualization process (operational invariants, concepts and theorems-in-action). Thus, succeeded to the use of the BCI as "assistive technology" to increase sensorimotor (robot control 'by thinking' in Physics classes). With this assured the process of inclusion, accessibility and empowerment of the blind and physically handicapped. Furthermore, the research brought another result unprecedented in research in Science Teaching, showing that the BCI's technology was functional for the registration and monitoring of neurocognitive functions in learning tasks, through the analysis of brain electrical activity via electroencephalogram (EEG) and brain rhythms. For this, we conducted quasi-experiments comparing a task with a single sensory stimulation with other tasks using multisensory strategies. The statistical analysis of EEG and neurocognitive brain rhythms suggested that the use of multisensory strategies produced correlation above 70% ($p < 0,05$). The use of multisensory learning strategies led to the occurrence of significant events in the range of waves Alpha, Beta and Theta indicating strong participation of the mechanisms of attention, memory and cognition with emotional positive valence (emotional states of welfare). These conditions suggest a predisposition to learning, allowing the incorporation of cognitive mechanisms. An analysis of educational data (schemes and operational invariants), together with the data and variables emotional cognition, attention and memory, suggests that learning of Physics mobilizes specific forms of "cognitive constructs" as well as natural embedding cognitive mechanisms. This indicates the existence of cognitive constructs suitable for the teaching and

learning Physics. These constructs can be translatable as "descriptors", coming compose a "semiotic protocol for Teaching Physics". This protocol could theoretically sustain to reformulate the « Matrix of Skills and Abilities » of Physics, showing sensory motor and cognitive characteristics best suited to cognitive profile required for conceptual learning of Physics. A better understanding of the neurocognitive functioning of such descriptors could contribute to the development of educational strategies, more efficient and effective, both for people with or without some form of special educational needs.

Key words: Teaching Physics for the blind and physically handicapped, Conceptual Fields Theory, Brain-computer interface and assistive technologies, Cognitive Neuroscience.

SUMÁRIO

AVANT PROPOS – SITUANDO O CAMPO DE ATUAÇÃO DO TRABALHO .	24
Problema de pesquisa	31
Justificativa e ponderações técnicas.....	34
Delineamento da pesquisa.....	40
Perspectivas esperadas com os resultados da pesquisa.....	42
Organização dos capítulos da tese	46
CAPÍTULO 1 REFERENCIAL TEÓRICO: A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS.....	50
1.1 Pesquisa em Educação, Ciências e Ensino de Física no Brasil	50
1.2 Da educação dos sentidos e da intuição à conceitualização	57
1.3 Preâmbulo sobre a conceitualização: o conceito de normalização reinterpretado segundo a concepção de Gérard Vergnaud	66
1.4 – Conceitualização e o papel da Classificação Internacional de Funcionalidade.....	75
1.5 Esclarecimentos e justificativas concernentes ao uso da Teoria dos Campos Conceituais como referencial teórico.....	80
1.6 A origem semiótica da Teoria dos Campos Conceituais.....	84
1.7 A Teoria dos Campos Conceituais e a Semiótica no Ensino de Ciências	86
1.8 A Teoria dos Campos Conceituais e o Ensino de Ciências – a pesquisa brasileira	89
CAPÍTULO 2 ENSINO DE FÍSICA PARA DEFICIENTES VISUAIS: SEMIÓTICA DAS CATEGORIAS PERCEPTIVAS E SUA CORRELAÇÃO COM A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS.....	102
2.1 Uma abordagem semiótica dentro da pesquisa brasileira em Ensino de Física para deficientes visuais	102
2.2 A construção de imagens mentais e a conceitualização.....	112

2.3 Considerações finais: uma abordagem específica para a conceitualização dentro do Ensino da Física para deficientes visuais	121
CAPÍTULO 3 DA EPISTEMOLOGIA DA CONCEITUALIZAÇÃO A NEUROCIÊNCIA COGNITIVA: UMA COMPREENSÃO MAIS REFINADA SOBRE A CONDIÇÃO DA PESSOA COM DEFICIÊNCIA VISUAL.....	
123	
3.1 Avant-propos: algumas questões heurísticas e epistemológicas <i>au debut</i> do debate	123
3.2 A Neurociência para a deficiência visual: uma abordagem epistemológica	131
3.2.1 A neurocognição na apreensão dos conceitos e no desenvolvimento da linguagem	143
3.3 Orientações didáticas com fundamentação na semiótica da Teoria dos Campos Conceituais.....	156
3.3.1 A. Orientações de natureza perceptiva (nível da primeiridade semiótica)	157
3.3.2 Orientações relacionadas com os processos de desenvolvimento e aquisição de conceitos (conceitualização).....	159
3.3.3 Orientações relacionadas com atividades de expressão	161
3.4 Remarque conclusivo.....	162
CAPÍTULO 4 TECNOLOGIAS ASSISTIVAS COMPUTACIONAIS E ERGONOMIA COGNITIVA: UMA DIREÇÃO RUMO AO USO DE INTERFACES CÉREBRO-COMPUTADOR?.....	
164	
Avant propos.....	164
4.1- Tecnologias assistivas	165
4.1.1 – Preliminares e as tecnologias assistivas num modelo de escola como um sistema aberto e complexo	165
4.2 - Tecnologias assistivas computacionais e Informática na Educação... ..	173
4.2.1 – Computação afetiva: quando as máquinas começam a se humanizar	193
4.3 – Interface cérebro-computador	201

4.3.1 – Conceitos e definições.....	201
4.3.2 – Paradigmas neurocognitivos necessários para a arquitetura de uma interface cérebro-computador.....	205
4.3.3 - Características da interface Emotiv Epoc	207
4.3.4 - Viabilidade e fiabilidade técnica da interface Emotiv Epoc	215
4.3.5 - Demandas técnicas exigidas por uma interface cérebro-computador	216
4.4– Ergonomia e Ergonomia cognitiva	218
4.4.1 – Conceitos básicos e escolas ergonômicas	218
4.4.2 – A ergonomia no contexto da pesquisa educacional brasileira	221
4.4.3 - Modelos em ergonomia cognitiva aplicados a interfaces homem-máquina.....	225
4.4.4 – A definição do corpus de pesquisa a partir da ergonomia cognitiva	229
4.4.5 Explicitando os agentes	237
CAPÍTULO 5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	240
5.1 Referencial teórico e <i>corpora</i> de pesquisa.....	240
5.1.1 Corpus 1 – Métodos didáticos	245
5.1.2 Corpus 2 – Métodos da Ergonomia Cognitiva	246
5.1.3 Corpus 3 – Métodos Neurocognitivos	246
5.2 Sujeitos de Pesquisa.....	248
5.3 Descrição detalhada do <i>corpora</i>	252
5.3.1 Corpus 1 – Situações didáticas	252
5.3.2 Corpus 2 - Métodos da Ergonomia Cognitiva	282
5.3.3 Corpus 3 – Métodos neurocognitivos.....	282
CAPÍTULO 6 – RESULTADOS E ANÁLISES	296
6.1 Corpus 1 – Didática.....	296
6.1.1 Representações.....	358

6.2	Corpus 2 – Ergonomia	364
6.3	Corpus 3 – Neurociência.....	380
CAPÍTULO 7 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES		386
7.1	Corpus 1 – Didática.....	386
7.2	Corpus 2 - Ergonomia	395
7.3	Corpus 3 – Aspecto neurocognitivo	400
7.4	Discussão geral dos corpora.....	403
7.5	Conclusões	414
APÊNDICE – Análise estatística		423
REFERÊNCIAS.....		457

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Constructos piagetianos adaptados para a situação da pessoa com deficiência visual.	118
FIGURA 2 - Relação objeto/percepção	125
FIGURA 3 - Relação objeto/conceito	125
FIGURA 4 - Relação percepção/conceito	125
FIGURA 5 - Diagrama de Venn mostrando a relação entre objeto, percepção e conceito, as áreas coloridas indicam a superposição dos elementos (verde: percepção/objeto, azul: objeto/conceito; amarelo: percepção/conceito; vermelho: objeto/percepção/conceito).....	126
FIGURA 6 – Localização no cérebro das áreas correspondentes a imagens de objetos, rosto humano e palavras (reproduzido de Dehaene, 2007).	149
FIGURA 7 – Relação funcional entre regiões cerebrais envolvidas na aprendizagem da leitura (reproduzido de Dehaene, 2007).	150
FIGURA 8 –Ativação das regiões cerebrais para o processo da fala e da escrita, respectivamente, mostrando a diferença de regiões cerebrais para estas duas funções. (reproduzido de Dehaene, 2007).	151
FIGURA 9 – Figura mostrando as diferentes regiões cerebrais de acordo com o tipo de manipulação de palavras: escutando, lendo, produzindo e associando (reproduzido de Dehaene, 2007).	152
FIGURA 10 - Esquema da representação do número arábico (extraído de Dehaene et al., 2004).	156
FIGURA 11 – Mapa conceitual mostrando a relação entre os corpora de pesquisa.	168
FIGURA 12 - Modelo de aquisição de dados por interface homem-máquina	202
FIGURA 13 - Esquema de interação homem-máquina (a) interação natural; (b) interação homem-máquina; (c) interação aumentada (reproduzido de Tonet et al., 2008).	203
FIGURA 14 - Headset da Interface cérebro-computador Emotiv Eloc®.....	210
FIGURA 15 - Software mostrando o Painel de Controle da ICC – e respectivos sensores.	210
FIGURA 16 - Painel de Controle indicando o modo ‘Expressive Suite’ (expressões faciais)	211

FIGURA 17 - Painel de Controle indicado o modo 'Affective Suite' (estados afetivos e emocionais).....	211
FIGURA 18 - Painel de Controle indicando o modo 'Cognitive Suite' (controle de movimentos espaciais).....	212
FIGURA 19 - Monitoramento da atividade da frequência cerebral (ondas alpha, beta, delta e theta, respectivamente).	212
FIGURA 20 - Usuário controlando uma rocha num cenário virtual de um game.	213
FIGURA 21 - Controle dos movimentos de uma cadeira de rodas através da ICC Emotiv Epoc.....	213
FIGURA 22 - Controle dos movimentos de um automóvel através da ICC Emotiv Epoc.....	214
FIGURA 23 - Barras plásticas LEGO utilizadas para construção de objetos de aprendizagem (treliça, alavanca, balança, etc.) Detalhe para os pinos de cor preta utilizados para encaixe das barras.....	259
FIGURA 24 - Treliça sem ponto de apoio	259
FIGURA 25 - Treliça sem ponto de apoio mostrando a instabilidade da estrutura quando aplicada uma força.	260
FIGURA 26 - Treliça com ponto de apoio, mostrando estabilidade da estrutura após aplicação de uma força.....	260
FIGURA 27 - Alavanca interfixa (peça LEGO horizontal com ponto de apoio vertical) com indicação das forças potente e resistente.	261
FIGURA 28 – Balança, com indicação das forças atuantes.....	262
FIGURA 29 - Sarilho, com indicação da força Potente P, e do peso resistente Q.	263
FIGURA 30 – Boca ou mão biônica, indicando a ação do Torque.	264
FIGURA 31 – Montagem do robô (jipe) controlado através da interface cérebro-computador.	266
FIGURA 32 – Software do LEGO Mindstorms NXT 2.0 mostrando os ajustes da potência dos servomotores e tempo de funcionamento dos mesmos.....	267
FIGURA 33 – Sujeito Mariana medindo altura e diâmetro de dois cilindros com mesma massa e volume (massa de modelar em formato cilíndrico).....	270
FIGURA 34 - Alteração do volume por deformação (conservação da massa) – Perguntou-se: 'O peso é o mesmo?'	270

FIGURA 35 - Alteração do volume (peso/massa preservados). Perguntou-se: ‘o peso é o mesmo? E o volume?’	271
FIGURA 36 - Aluna Mariana efetuando montagem da alavanca.....	272
FIGURA 37 - Montagem final da alavanca, utilizando-se 5 barras LEGO.....	272
FIGURA 38 - Balança, mostrando estudo preliminar com aplicação de força através da própria mão da aluna.....	273
FIGURA 39 - Balança, indicando a utilização das massas (mesmo peso) para estudo do comportamento ao se variar o ponto de apoio (neste caso, deslocado para o lado esquerdo da aluna).....	273
FIGURA 40 - Aluna trabalhando sobre a balança. Detalhe para o fato de que a aluna, neste ponto, já dominava o uso da ferramenta didática.	274
FIGURA 41 - Plano inclinado construído com peças LEGO encaixadas.	276
FIGURA 42 - Plano inclinado construído com peças LEGO. Detalhe para o apoio na parte anterior.	276
FIGURA 43 - Régua e esquadro com marcação em alto relevo de centímetro em centímetro. A origem é marcada com três pontos.....	277
FIGURA 44 - Aluna medindo altura do plano inclinado em relação ao piso...	277
FIGURA 45 - Aluna medindo altura do plano inclinado em relação à base (segunda medida).	278
FIGURA 46 - Estado neutro do software NXT MindControl.	279
FIGURA 47 - Tela de controle do NXT MindControl indicando acionamento do robô para o lado direito.	280
FIGURA 48 - Unidade de processamento central do kit de robótica LEGO MINDSTORMS, conectado a dois servomotores, além de rodas, pneus, engrenagens e eixos.	281
FIGURA 49 - Servomotor conectado com uma roda através de um eixo.....	281
FIGURA 50 - Cubo virtual do Painel de Controle do software da ICC Emotiv Epoc.....	285
FIGURA 51 - Usuários utilizam a movimentação de braços e mãos em <i>games</i> como estratégia de indução para o movimento do objeto virtual, utilizando a ICC Emotiv Epoc.....	286
FIGURA 52 - Registro do momento em que Mariana consegue movimentar o cubo virtual para o lado esquerdo. Observa-se a barra vertical na cor verde indicando a intensidade do sinal.	286

FIGURA 53 - Painel de Controle do software da ICC Emotiv Epoc, mostrando no detalhe a configuração dos respectivos lados treinados para a movimentação do cubo virtual.....	287
FIGURA 54 – Mariana imagina um cavalo mentalmente.	288
FIGURA 55 - Mariana imagina mentalmente o cavalo, mas não executa a movimentação da mão para o lado esquerdo.	289
FIGURA 56 – Mariana utiliza um objeto como referência tátil (uma borracha) e executa o movimento para o lado esquerdo.....	290
FIGURA 57 – Agora Mariana utiliza outro objeto de referência (escolhido por ela mesma): um lápis.	290
FIGURA 58 - Ação do cubo virtual causado pelo parâmetro volitivo, que é o sinal elétrico residual que provavelmente permanece sendo lido e interpretado pelo próprio head-set da interface.....	291
FIGURA 59 - Apresentação do mapa da atividade rítmica cerebral, indicando as quatro faixas alpha, beta, delta e theta.	293
FIGURA 60 – Apresentação de apenas um dos ritmos cerebrais (no caso, ondas alpha).....	294
FIGURA 61 – Tela de visualização do espectro no software LabChart Reader, com dados numéricos providos dos softwares TestBench e Emotiv 3DBrain Activity Map.....	294
Figura 62 – Flechas lisa (esquerda) representando a força potente, e flecha serrilhada (direita) representando a força resistente.	316
FIGURA 63 – Robô LEGO Mindstorms.....	331
FIGURA 64– Robô se movimentando para frente através da interface cérebro-computador	331
FIGURA 65– Controlando o movimento do robô para frente. Observe o gesto corporal com braço e mão para cima.	332
FIGURA 66– Controlando o movimento do robô para baixo (ou para trás). Observe o gesto corporal da mão direita de Mariana para baixo.	333
FIGURA 67– Mariana percebe tátil-cognitivamente a movimentação das rodas do robô na direção para frente (ou para cima). A seta na imagem indica o sentido de rotação do servomotor.	334
FIGURA 68– Movimento do motor do lado direito. Observe indicação do gesto de Mariana, com braço e mão para o lado correspondente (direito).	335

FIGURA 69 – Mariana indica com a mão o lado esquerdo mesmo antes de executar o movimento do robô (ação de antecipação).....	335
FIGURA 70 – Mariana toma o lápis em sua mão esquerda para associar esta ação ao acionamento do robô do lado esquerdo.	336
FIGURA 71 – Mariana conduz sua mão para o lado esquerdo, numa clara evidência de que associa a ação de pensar com a ação motora (repetindo seu gesto durante o treino cognitivo realizado no mesmo dia e anteriormente). ..	337
FIGURA 72– Acionamento do motor do lado esquerdo. Mariana toca a esteira do lado correspondente (correia dentada).	338
FIGURA 73 – Tela do software do LEGO Mindstorms, indicando ajustes de potência dos servomotores, e a fixação do tempo de acionamento destes motores em 5 segundos.....	339
FIGURA 74 – Utilização de fita métrica em alto relevo para medir espaço percorrido pelo robô (cálculo da velocidade).....	340
FIGURA 75 – Detalhe da fita métrica utilizada na situação didática (ver explicação no texto).	340
FIGURA 76 – Tela do Software NXT MindControl 1.0, operando no modo ‘off-line’, indicando o movimento para o lado direito.....	345
FIGURA 77 – Peças LEGO e unidade central de processamento utilizados na situação didática.....	345
FIGURA 78 – Mariana antecipa montagem da roda utilizando eixo, sem que o pesquisador tenha solicitado.	346
FIGURA 79 – Aluna tenta encaixar a roda no pneu, sem êxito.	347
FIGURA 80 – Resultado final da montagem da roda com pneu.....	347
FIGURA 81 – Percepção cognitivo-tátil da velocidade de rotação do servomotor do lado esquerdo.....	348
FIGURA 82 - Percepção cognitivo-tátil da velocidade de rotação do servomotor do lado direito.....	348
FIGURA 83 - Movimentação de ambos os motores simultaneamente.....	349
FIGURA 84 – Mariana percebe tátil-cognitivamente a montagem dos servomotores com a correia dentada.	351
FIGURA 85 - Instante em que Mariana levanta sua mão direita para tocar sobre a roda do lado direito, indicando que a mesma executou ‘mais força’.	353

FIGURA 86 - Na continuação do gesto anterior, Mariana agora vai tocar com a mão direita na roda do lado esquerdo, dizendo que tem ‘menos força’ (ver as falas descritas acima).....	354
FIGURA 87 - Representação das Forças Potente e Resistente numa alavanca utilizando flechas lisa (esquerda) e serrilhada (direita). A alavanca (as três barras na horizontal) e o ponto de apoio (barra na vertical) foi construída com material do kit LEGO Mindstorms NXT 2.0.....	359
FIGURA 88 - Aluna Mariana representando forças Potente (seta lisa) e Resistente (seta serrilhada).....	359
FIGURA 89 - Gabarito plástico perfurado utilizando semiesferas para representação gráfica de comportamento de ‘crescimento linear’. Realizada por Mariana na Situação Didática 1.....	360
FIGURA 90 - Texto em Braille dos conceitos físicos aprendidos durante Situação Didática 1 (Força, Torque ou Momento de Força, Rotação, Intensidade de força).....	361
FIGURA 91 - Texto em Braille com conceitos: Torque, intensidade de força, braço de força(Situações Didáticas 2 e 3).....	361
FIGURA 92 - Prancheta com apoio de borracha e tela perfurada para construção de desenhos ou figuras em alto relevo (utilizado na Situação Didática 9).	362
FIGURA 93 - Representação do plano inclinado realizada por Mariana na Situação didática 9 (o triângulo em vermelho é apenas uma indicação comparativa).....	363
FIGURA 94 –Representação através de analogia: uma caixa de pizza é utilizada como representação de um relógio.	363
FIGURA 95 – Software NXT Mindcontrol com adaptação para feedback sonoro indicando a direção que o robô está se movimentando.	366
FIGURA 96 – Layout do software TestBench utilizado para aquisição de dados do EEG e ritmos cerebrais, mostrando a função FFT (transformada de Fourier) e respectivos ajustes e gráficos de monitoramento em <i>real time</i>	369
FIGURA 97 – Atividade dos ritmos cerebrais, oferecendo interpretação complementar mais detalhada em relação ao software Testbench.....	370

FIGURA 98 – Software Control Panel, na função Cognitiv Suite. Observe a escala na cor verde do lado esquerdo, que proporciona feedback visual sobre a intensidade do treinamento cognitivo.	371
FIGURA 99 – Sensores de feltro utilizado nos sensores do head-set da interface Emotiv Eporc. Aqui, estão acondicionados em estojo para armazenamento e transporte.	373
FIGURA 100 – Ritmos cerebrais para o sujeito Paulo durante fases ‘Base’ e ‘Aquisição multissensorial’. Observemos a nítida ativação nos ritmos Alpha, Beta e Theta.	381
FIGURA 101 – Ritmos cerebrais para o sujeito Patrícia durante fases ‘Base’ e ‘Aquisição multissensorial’. Também aqui fica evidente maior ativação nas faixas Beta e Theta.	381
FIGURA 102 - Ritmos cerebrais para o sujeito Mariana durante fases ‘Base’ e ‘Aquisição multissensorial’. Aqui, maior ativação nas faixas Alpha, Beta e Theta.	381
FIGURA 103 – Registro do EEG durante a fase ‘Base’ do sujeito Paulo. As aparentes ‘anomalias’ nos sinais dos pontos O1 e O2 foi algo presente nos três sujeitos de pesquisa (em função da deficiência visual).	382

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparativo das interfaces cérebro-computador “ANT” e “Emotiv Epoc”.....	215
Tabela 2 – Variáveis e corpora de pesquisa	403
Tabela 3 - Variáveis e corpora de pesquisa	405
Tabela 4 – Peso relativo entre variáveis	406

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Componentes semióticos da Teoria dos Campos Conceituais (VIVEIROS e CAMARGO, 2011).....	86
Quadro 2 - Tricotomias segundo Peirce (extraído de Machado Filho e Thomaz, 2005)	103
Quadro 3 – Relação entre elementos da semiótica e os tipos de percepção.	109
Quadro 4 – Síntese entre abordagens Semiótica, Epistemologia Genética, Teoria dos Campos Conceituais e Modalidades perceptivas	119
Quadro 5 - Tecnologias assistivas segundo a norma internacional ISO 9999/2007 (Tradução: Prof. Dr. Antonio Nunes, extraído de UNESCO, 2007, p.30)	175
Quadro 6 - Evolução dos paradigmas computacionais	179
Quadro 7 - Comparação aprendizagem tradicional versus aprendizagem com TICs - National Educational Technology Standards for Teachers, ISTE/ Tradução : FERREIRA, G.C. (2002), extraído de ITS/Microsoft Educacional, 2008, p.22	191
Quadro 8 – Relação entre o tipo de deficiência e necessidades operacionais de uma interface cérebro-computador.	217
Quadro 9 - Técnicas segundo o tipo de prática e os objetivos associados (Extraído e traduzido de Kovács et al., 2004, p.222-223).	225
Quadro 10 - Medidas de usabilidade – segundo a norma ISO 9241 (Extraído e traduzido de Baccino et al., 2005, p.36).	228
Quadro 11 - Agentes do Sistema de Informação 'sala de recursos'	239
Quadro 12 – Situações didáticas (aulas de Física) aplicadas na pesquisa....	254

AVANT PROPOS – SITUANDO O CAMPO DE ATUAÇÃO DO TRABALHO

Esta tese foi se modificando à medida que percebíamos que era necessário realizarmos as devidas adequações para que a mesma pudesse ser e ter um *plus* em relação a este tipo de trabalho científico. O *plus* não poderia jamais se referir a aspectos meramente quantitativos (no sentido da tradução do termo como ‘mais’) e sim, significando algo como um diferencial qualitativo necessário, e não apenas suficiente, para sobrevalorizar a principal matéria-prima que subjaz a grande área educacional: o ser humano.

Quando tomamos o rumo, ainda em idos da época do mestrado, de mergulharmos em parte no pensamento filosófico francês (citando Gaston Bachelard e Edgar Morin, para ficarmos apenas em dois autores) e, agora, no momento da produção deste trabalho, a pergunta persistia: qual poderia ser o diferencial no pensamento de Gérard Vergnaud que justificasse nossa imersão neste pesquisador enquanto tal, quando comparado exatamente ao seu mais próximo gigante, que é Jean Piaget. Ou seja, o que, de fato, teria ou poderia ter no ‘pensador da conceitualização’(MARYVONNE, 2007) que o diferenciaria dos demais pensadores e autores, e como nós poderíamos nos candidatar a sermos neófitos em relação a estes verdadeiros oráculos da psicologia e, conseqüentemente, da pedagogia e da didática mundial? E mais ainda, como tentar devolver pelo menos em parte, este conhecimento para a área do Ensino de Física, mormente em relação a alunos com necessidades educacionais especiais?

Em parte, o que encontramos em relação a certo ‘*mise en scène*’ essencialmente da natureza filosófica francesa é exatamente a valorização daquilo que é considerado comum aos olhos da maioria dos seres humanos. Isto inclui extrair de algumas coisas muito simples um significado especial que confere e atribui um valor a coisas que passam totalmente despercebidas por

grande parte da humanidade, mesmo àqueles espíritos e mentes mais treinados nas artes da articulação do pensamento.

No entanto, esta característica de esmero e de valorização de um real não exatamente construído e artificial, mas de um real consistente, forte e, ao mesmo tempo, delicado e profundo, deveria fazer figurar numa pesquisa que está inserida dentro de um programa de pós-graduação em educação para a Ciência. Ao mesmo tempo, não poderíamos jamais perder o foco de que, a priori e ao final, a tese deveria apresentar resultados para este *metier*, principalmente em seus aspectos diretamente relacionados com a questão da constituição e construção epistemológica do pensamento humano ‘direcionado’ para a área educacional.

Entretanto, por mais que nossa consciência científica buscasse a tão apregoada ‘objetividade’, do tipo racionalismo complexo ou discursivo, segundo Bachelard (1971), não estaríamos perdendo a objetividade se percorrêssemos por vezes o caminho da transdisciplinaridade em alguns instantes no transcorrer do trabalho, nem tão pouco o enfoque metodológico denominado ‘pesquisa translacional’ que, na verdade, é um enfoque transdisciplinar modificado.

Contudo, por mais que já tivéssemos alguma experiência com referenciais teóricos transdisciplinares de grande envergadura, consideramos que neste momento não seria necessário recorrermos a uma fundamentação desta natureza para constituir a base teórica da tese como um todo.

Preferimos, por outro lado, trazer um referencial teórico da própria área da educação, ou seja, a abordagem cognitivista desenvolvimentista da Teoria dos Campos Conceituais, de Gérard Vergnaud. Embora que trataremos especificamente sobre esta teoria no Capítulo 1, torna-se necessário introduzirmos nossas argumentações preliminares, na forma de ‘*avant propos*’ inicial neste momento do trabalho, justamente para que alguns pontos importantes sejam melhores esclarecidos.

Assim sendo, poderíamos empregar o aporte da Teoria da Complexidade de, Edgar Morin (MORIN, 2002, 1996, 1991, 1974), ou a abordagem da

Transdisciplinaridade segundo Basarab Nicolescu (NICOLESCU, 1997; NICOLESCU et al., 2000). Ou ainda o enfoque da Teoria Geral dos Sistemas, de Ludwig von Bertalanffy (BERTALANFFY, 1975). Todas estas concepções trariam um aporte filosófico, conceitual, epistemológico, metodológico e até pragmático, muito interessante, à parte as diferenças e peculiaridades que cada uma destas teorias desenvolve.

Esta justificativa é necessária porque o leitor por vezes poderá perceber a incursão (necessária) em campos, áreas ou subáreas do conhecimento distintos da grande área da educação.

Contudo, procuramos fazer com que estas imersões não fossem apenas vieses, e que tivessem um limite tal que não chegasse a borda de um desconforto ou, melhor dizendo, alguma desconfiança por parte do leitor especialista (ou mesmo do público em geral) em relação a algum conteúdo abordado.

Entretanto, quando necessário faremos apelo a esta ou àquela área para sustentar não apenas simples argumentações, mas sim para compor, desenvolver e aprofundar ideias, conceitos e paradigmas. Isto será tratado com a devida profundidade exigida pelo tema, dando ao leitor a segurança de que não procedemos de maneira ingênua. Será o caso, por exemplo, quando abordarmos a questão da Ergonomia Cognitiva, no Capítulo 2, ou a Neurociência Cognitiva (Capítulo 3).

No caso da Ergonomia Cognitiva situamos o trabalho num campo de estudo que se encontra relativamente presente na área educacional e que, inclusive, chega depender dos referenciais teóricos em relação aos quais quer se construir determinada argumentação ou estudo. Dizemos acima ‘relativamente’, porque no caso da França e de alguns países europeus, onde existe a profissão de ‘ergonomista’, profissional que atua também na área da educação inclusiva (onde também está inserida a abordagem da ‘ergonomia cognitiva’).

Esta área mescla diversas áreas, como a Psicologia, Didática da Matemática e Informática. É o caso, por exemplo, dos estudos desenvolvidos pela equipe do

‘Laboratoire Paragraphe’ (Université Paris 8 – Saint-Denis Vincennes), da qual participa Gérard Vergnaud como pesquisador do CNRS¹.

Entretanto, apesar de que inicialmente o trabalho possa se caracterizar enquanto uma pesquisa aplicada, vemos que a coisa é um pouco mais profunda e distinta do usual na pesquisa na área de Ensino de Ciências, diferindo essencialmente em relação a intencionalidade com que a maioria dos pós-graduandos e dos próprios programas de pós-graduação possui como objetivo final num trabalho científico como uma tese, que é a tentativa de apresentar soluções imediatas (quicá concretas) para a educação.

Que pesem opiniões contrárias de que não é este o objetivo principal da área, Larocca, Rossi e Souza (2005), muito bem situados na Revista de Pós Graduação da CAPES, concluem que 35,6% de 45 dissertações de mestrado avaliadas possuem como objetivos ‘avaliativos’ e ‘propositivos’. Segundo os autores, tais objetivos se relacionam mais ao aspecto de natureza de aplicação prática ou pragmática, em detrimento de um aprofundamento maior no aspecto teórico. Entretanto, argumentam os mesmos, é necessário que haja por detrás destas propostas um aprofundamento sobre as bases tanto heurísticas quanto epistemológicas, justamente para que toda esta produção não caia numa espécie de vazio existencial.

Outro aspecto do problema é que os propósitos avaliativos e propositivos, em geral, apareceram em dissertações voltadas para uma questão de ordem prática. Nesses casos, verificou-se que o pesquisador é ator no contexto do problema. Esse fenômeno foi particularmente comum na área de ensino e formação de professores.

Não se nega o valor que subsiste em objetivos voltados para a resolução de problemas concretos, emergentes do cotidiano da ação profissional. Mas isso não deve transformar a pesquisa em prestação de serviços ou atividade de extensão. Ela tem os seus próprios fins (ibidem, p.129).

Ou seja, parece que não se deve negar aquilo que se chama ‘questão de ordem prática’, entretanto, isto deveria ser acompanhado de contribuições

¹ Sigla de Centre National de la Recherche Scientifique.

realmente significativas em relação a constituição epistemológica para a Ciência como um todo. Acrescentam ainda:

O conteúdo idiossincrásico inerente aos problemas práticos é fator que dificulta o fluxo contínuo das pesquisas e pouco contribui para avançar por generalização. Uma pesquisa é fonte geradora de outras e essa exigência é cada vez maior nos programas que devem se organizar em linhas e projetos mais orgânicos, grupos de pesquisa e pesquisas interinstitucionais (ibidem, p.129).

Acrescenta-se a isto que 39,83 % dos trabalhos avaliados tinham como objetivos o aspecto 'compreensivo', o que seria de se esperar de trabalhos científicos a nível da iniciação científica ou da pós-graduação *lato sensu*.

Talvez na área da educação os pesquisadores ainda estejam um tanto quanto 'contaminados' com a ideia de que a pesquisa científica somente será efetiva se produzir alguma intervenção no objeto de pesquisa, o que não invalidaria a pesquisa em si mesmo, mas então, neste e em qualquer caso, a pesquisa científica deve buscar sempre a novidade, a inovação, o questionamento de conceitos, de paradigmas, de ideias de certo senso comum, mesmo na Ciência.

Ainda aqueles autores complementam a argumentação com uma citação de André (2001):

Fazer ciência ou política de intervenção... temos visto surgir, nos últimos anos, uma tendência de apoio incondicional aos estudos que envolvem algum tipo de intervenção, aliada a uma crítica veemente ao caráter distante e acadêmico das pesquisas produzidas na universidade. No fundo dessa polêmica está uma supervalorização da prática e certo desprezo pela teoria (ANDRÉ, 2001, p.55 e p.57, apud LAROCCA, ROSSI e SOUZA, 2005).

Alvez-Mazzotti será muito mais contundente ainda ao mencionar algumas metapesquisas que avaliaram a questão da produção da pesquisa na pós-graduação brasileira até a década de 1990². Vejamos:

² Ver, por exemplo: ANPED (1993), Cunha (1979, 1991), Melo (1983) e Warde (1990).

No que se refere às deficiências apontadas nas pesquisas produzidas, destacam-se: (a) pobreza teórico-metodológica na abordagem dos temas, com um grande número de estudos puramente descritivos e/ou ‘exploratórios’; (b) pulverização e irrelevância dos temas escolhidos; (c) adoção acrítica de modismos na seleção de quadros teórico-metodológicos; (d) preocupação com a aplicabilidade imediata dos resultados; (e) divulgação restrita dos resultados e pouco impacto sobre as práticas (ALVEZ-MAZZOTTI, 2001, p.40).

O mesmo autor menciona que outros problemas ocorrem quando se avaliam dissertações, teses, relatórios de projetos de pesquisa e eventos:

- a) A compreensão de que uma pesquisa científica é realizada em grupo, e que, como consequência, não poderia ser algo como um ‘narcisismo investigativo’ (expressão daquele autor): um trabalho científico deve ter um background tal que permita a interlocução com outras produções dentro da área. Com isto, torna-se possível que os resultados obtidos dialoguem com outros referenciais e pesquisas, possibilitando assim a análise comparativa;
- b) É necessário que as pesquisas procurem ter uma teoria de fundo que as sustente a priori, não significando isto que a escolha desta teoria vá necessariamente produzir categorias de análise também aprioristicamente;
- c) Fazer com que a argumentação científica principal do trabalho seja fundada naquilo que chama de ‘voz dos sujeitos da pesquisa’. Esta estratégia de fazer com que as conclusões, as inferências emergjam do próprio trabalho enfraquece teoricamente o trabalho, porque não dá consistência epistemológica;
- d) Transferibilidade do conhecimento: um conhecimento científico será respeitável a medida que tenha sido devidamente apreciado e debatido por seus pares e, muito mais ainda, sua aplicação para outros domínios do conhecimento distintos daquele onde foi originalmente produzido. Aponta o autor que na área da educação adota-se muito a prática

(...) não apenas em bancas de teses e dissertações, mas em outras discussões acadêmicas entre pesquisadores da educação, que estes parecem evitar a crítica, a discordância, como se isso fosse uma forma de destruir o

conhecimento produzido e não a forma de construí-lo (ALVEZ-MAZOTTI, 2001, p.46).

E isto é o início do pano de fundo segundo o qual se fundamentará a construção epistemológica e metodológica deste trabalho:

1º: - Propor um modelo com fundamentação cognitivista para a sustentação epistemológica pedagógica, metodológica e didática para o ensino de Física para deficientes visuais com base num enfoque multissensorial: Teoria dos Campos Conceituais, segundo Gérard Vergnaud. Exatamente porque apesar de ser uma abordagem que nasceu no seio da Psicologia Cognitiva, acreditamos ser hoje praticamente impossível ignorar a contribuição que esta área do pensamento humano possui diretamente para a Educação Científica, notadamente para o Ensino de Física, como veremos no momento adequado neste trabalho;

2º: - Colocar em relevo e tomar como ponto de partida dois pressupostos da política internacional de inclusão da pessoa com deficiência, e estender esta discussão para a o ensino de Física para deficientes visuais: o conceito de *empowerment*, e o conceito de *mainstreaming*;

3º: Discutir a validade e aplicabilidade de alguns paradigmas neurocognitivos que estão diretamente relacionados e que possuem implicações imediatas para a educação: **a)** Paradigma que estabelece relação direta entre o mapeamento de regiões cerebrais e a correspondente associação de tais regiões com as respectivas funções cerebrais, contra o "**Princípio de ação multitarefa neuronal**" (NICOLELIS, 2011), na verdade um complemento da lei de Hebb; **b)** Paradigma sobre a dependência estrita entre o atributo visual e o conseqüente processo de conceitualização; c) Paradigma da compensação, colocado, por exemplo, por Vygotsky: na falta de um dos sentidos, por exemplo, a visão, o organismo executa um mecanismo compensatório, fazendo com que, por exemplo, os sentidos do tato ou da audição tornam-se mais desenvolvidos. Isto é completamente falso. Não existe 'compensação', e sim neuroplasticidade.

4º: Propor a utilização de uma interface cérebro-computador como uma tecnologia assistiva, entretanto, sendo sustentada, permeada e transpassada pela Teoria dos Campos Conceituais em sua aplicabilidade para aulas ou situações didáticas para o ensino de Física para deficientes visuais.

Resumidamente, o trabalho insere-se no contexto da educação inclusiva e, sendo ainda mais específico, na (sub) subárea das chamadas 'tecnologias assistivas', mas pretende suscitar discussões com base na neurociência cognitiva para sustentar pontos de vista na área educacional (ensino-aprendizagem).

Problema de pesquisa

O problema de pesquisa gravitará em torno da seguinte questão: **como instrumentalizar uma tecnologia a ponto de considerá-la como sendo uma tecnologia educacional com bases epistemológicas e metodológicas compatível com uma abordagem multissensorial (multimodal)? Sendo mais específico: como adaptar uma interface cérebro-computador num ambiente educacional, considerando uma abordagem epistemológica educacional (metodológica e didática), com o objetivo de torna-la uma tecnologia assistiva para o ensino de Física para deficientes visuais, com o objetivo de que esta tecnologia facilite o processo de conceitualização?**

Este problema suscita outras questões:

- O que o uso de uma interface cérebro-computador pode trazer de inédito para a pesquisa educacional?
- Qual a relação significado-significante explicitamente vinculada ao uso de uma interface cérebro-computador na forma de uma tecnologia assistiva, especialmente quando temos a presença de pessoas com deficiência visual em aulas (situações didáticas) de Física?

- Que atributos epistemológicos devem estar associados ao uso pedagógico e didático desta tecnologia assistiva, considerando um ambiente de educação inclusiva?
- Que particularidades o ensino de Física traz em relação ao processo de conceitualização, e como isto está relacionado com o uso pedagógico e didático de uma interface cérebro-computador?
- É possível que algum (ou alguns) paradigmas sejam reinterpretados a partir desta concepção didático-pedagógica?

Assim, o problema de pesquisa e as demais questões decorrentes, fazem com que possamos advenir as seguintes hipóteses:

- Para que um ambiente educacional e uma tecnologia sejam considerados “assistivos” é necessário que diversos parâmetros e variáveis sejam minimamente satisfeitos;
- Para que o uso de uma tecnologia seja considerado “assistivo” é necessário compatibilidade entre a fundamentação didático epistemológica e a operacionalização disto dentro do contexto considerado educacional;
- Em relação ao processo de “conceitualização”, o Ensino de Física apresenta determinadas características bastante singulares, principalmente no que se refere a mecanismos de incorporação cognitiva;
- Uma interface cérebro-computador pode ser adaptada para se tornar uma tecnologia assistiva (para deficientes visuais ou outros tipos de deficiências) desde que a mesma esteja inserida num complexo conjunto de condições didático-pedagógicas.

Em outras palavras, é necessário que uma tecnologia que seja utilizável e aplicável num contexto educacional seja capaz de romper com alguns paradigmas até então tidos como certos e que possa, portanto, trazer uma contribuição inédita em relação a um fundo epistemológico.

Ao mesmo tempo, esta mesma tecnologia deve ser compatível e coerente com os princípios filosóficos e epistemológicos segundo a qual ela deverá estar integrada como um sistema.

Para que o conjunto da obra como um todo tenha uma coerência, uma harmonia e uma estética, pretendemos que dentre as várias possibilidades que poderíamos encontrar em termos de fundamentações filosóficas, epistemológicas, pedagógicas e didáticas, devemos ir à busca daquela (ou daquelas) que mais se aproximam em termos funcionais em relação à determinada tecnologia.

Neste sentido, o termo 'tecnologia assistiva' deverá ganhar em significado e status epistemológico, passando não apenas a servir como algo que auxilia a pessoa com determinada deficiência, mas que, essencialmente, traga algo de essencialmente novo e diferente em relação àquilo que estava posto desde então.

Queremos fazer com que a inserção da tecnologia de interface cérebro-computador que estamos aqui realizando no plano educacional seja algo absolutamente inédito não apenas pelo aspecto de se introduzir uma tecnologia na área mas, principalmente em função de toda fundamentação didático epistemológica envolvida nesta complexa relação.

Para isto, a pesquisa se pautará sobre algumas variáveis de análise, variáveis estas que serão oportunamente explicadas no decorrer do texto. Tais variáveis são:

Variáveis independentes: estimulação intermodal e estimulação multimodal (multissensorialidade);

Variáveis dependentes: atenção, memória, cognição emocional;

Variáveis associadas: raciocínio conjuntivo, dissonância cognitiva e disracionalidade.

Com todo este quadro, **o objetivo da pesquisa se centraliza em concatenar ou compatibilizar a adequação de uma tecnologia assistiva (interface cérebro-computador) dentro de uma abordagem epistemológica (Teoria**

dos Campos Conceituais) com a finalidade de contribuir para o processo de conceitualização em aulas de Física para pessoas deficientes visuais (e físicos).

Antes de nos adentrarmos aos capítulos que compõem a tese, consideramos necessário aprofundar algumas questões que dizem respeito diretamente à questões de natureza epistemológica de constituição da ciência mesmo, e que estão como pano de fundo deste trabalho.

Justificativa e ponderações técnicas

Esta pesquisa de doutorado traz como grande novidade a inserção inédita do Brasil no cenário internacional da investigação da tecnologia denominada **'Interface Cérebro-Computador' (ICC)**, porém com uma aplicação para a área educacional e, especificamente, para o Ensino de Física, na forma de uma 'tecnologia assistiva'.

No mesmo instante em que este trabalho está sendo realizado, vimos anunciados os resultados obtidos pelo neurocientista Miguel Nicolelis e equipe, somando-se a investigações anteriores com o uso de ICC que podem ter implicações diretas para a área educacional, principalmente no que se refere à utilização de tal tecnologia para a otimização cognitiva em determinadas tarefas cognitivas e motoras, sugerindo que o uso de tais artefatos amplia o campo perceptivo neurológico, (O'DOHERTY et al., 2011).

O uso de uma ICC traz como grande avanço possível para a área educacional o fato de que este tipo de tecnologia propicia que a aprendizagem de uma tarefa cognitiva possa ser estimulada adequadamente, fazendo com que populações de neurônios sejam recrutadas em tais atividades, fazendo com que o cérebro passe a efetuar determinadas tarefas cognitivas que antes não conseguia realizar sem o uso de uma ICC. A compreensão sistemática dos

princípios neurocognitivos por detrás desta noção encontra-se muito bem descrita no capítulo intitulado '*The monster hidden in the brain*', do livro *Beyond boundaries*, de Miguel Micoletis, uma obra prima sobre neurociência cognitiva, que passa por décadas da pesquisa nesta área, chegando até as últimas descobertas mais diretamente relacionadas com as interfaces cérebro-computador (NICOLELIS, 2011).

Na verdade, estudos anteriores, como os de Botvinick e Cohen (1998), mostraram que associando-se a visão, o tato e a propriocepção, levantava a hipótese de que os limites da percepção cerebral são ampliados para além do espaço do tecido epitelial a partir do momento em que o indivíduo incorpora ou associa determinado objeto físico ao próprio corpo, principalmente quando participa de tal percepção vários sentidos (percepção multimodal, intermodal ou multissensorial).

Em outro experimento, incorporando a sensação térmica pela via tátil a uma mão artificial de borracha simulando uma mão verdadeira, Durgin e colaboradores (2007) demonstram que existe uma espécie de 'cognição visual' associada, fazendo com que o cérebro interprete que esta estimulação intermodal seja traduzível na impressão de que aquele objeto é, na verdade, parte do próprio corpo do indivíduo. Em outras palavras, o cérebro interpreta a mão de borracha como sendo uma mão biológica pertencendo ao corpo.

Isto abre fronteiras para a Humanidade e, também, a Educação, ao imaginarmos uma educação científica que fosse trabalhada através de atividades ou situações didáticas que oportunizasse ao aluno um uso tão absolutamente integrado ao seu universo cognitivo. Isto poderia possibilitar a incorporação destes objetos (como, por exemplo, artefatos robóticos, ambientes virtuais de aprendizagem, simuladores, e outros dispositivos computacionais) tornasse o processo de aprendizagem científica algo completamente integrado ao sistema neurocognitivo deste aluno, permitindo assim que ele fosse capaz de desenvolver estratégias heurísticas e epistemológicas muito próximas e semelhantes àquelas utilizadas pelos cientistas.

Nesta mesma direção, a incorporação de tecnologias (principalmente aquelas de natureza computacional), permite que tais ferramentas no universo cognitivo passem a integrar neurocognitivamente o campo perceptivo do indivíduo.

Além disto, o uso de interfaces cérebro-computadores poderia trazer a possibilidade de que a própria atividade de aprendizagem escolar formal pudesse ser utilizada como uma forma de ‘terapia neurocognitiva’. Assim, por exemplo, alunos que tivessem sua aprendizagem escolar comprometida em função do transtorno de déficit de atenção e hiperatividade, ou ainda uma por causa de uma afasia, ou também dislexia, ou ainda uma discalculia ou outras síndromes, poderiam empregar uma ICC para efetuar correções na circuitaria neuronal, ou no sistema de neuroplasticidade, fazendo com que os efeitos de tais afecções pudessem ser minimizadas.

Em termos da tecnologia educacional falamos em conceitos como ‘cognição distribuída’ ou Inteligência Artificial Distribuída, e também de Sistema Tutorial Inteligente, ou Sistema de Informação Distribuída (que será melhor definido no Capítulo 2) a partir do momento em que tais tecnologias (assim como uma ICC) não são mais consideradas como simples apêndices desvinculados e descontextualizados do próprio aprendiz, mas, essencialmente, podem estar integradas ao seu sistema neurocognitivo (JAROSIEWICZA et al., 2008; SMALL; VORGAN, 2008).

A utilização do conceito de ‘cognição distribuída’ leva em consideração as abordagens cognitivistas tanto de Jean Piaget, como também de Lev Vygotsky, valorizando tanto o papel da interação social, quanto da emoção e da afetividade nos processos cognitivos humanos. Neste sentido, a chamada ‘**emotional cognition**’ (THAGARD, 2006), e a ‘**affective computing**’ (PICARD, 1997) integram-se ao uso de interfaces cérebro-computadores para comporem tecnologias com aplicações diretas em vários campos da Medicina (neuropróteses, tratamento de desordens como síndrome do espectro autista, tratamento do Mal de Parkinson, disfunções motoras relacionadas ou não a problemas neurológicos, etc.). Entretanto, algumas destas aplicações ainda estão restritas apenas a laboratórios de pesquisas ou, no mais, a clínicas psicológicas ou médicas.

Entretanto, o avanço nestas tecnologias pode também abrir a possibilidade de que tais tecnologias possam ser utilizadas em ambientes de aprendizagem dentro de qualquer contexto educacional, incluindo alunos sem ou com necessidades educacionais especiais (ZEIDNER et al., 2009; ROCON et al., 2007).

Em função disto, ao par que estamos em relação ao futuro desta e de outras tecnologias similares e paralelas na área da inteligência artificial, planejamos a pesquisa pensando-a como o início de um projeto maior que, possivelmente, se desenvolverá ao longo do tempo após o término desta pesquisa em si mesmo. Por este motivo, tivemos o cuidado de fazer com que a investigação seja absolutamente exequível, e exatamente configurada dentro das reais possibilidades e limitações impostas por um trabalho desta natureza.

Sendo assim, tendo em vista o estágio atual da pesquisa internacional diretamente relacionada com a tecnologia de interface cérebro-computador, avaliamos ser possível atualmente empregar tal tecnologia na área da 'Educação Especial', na modalidade denominada '**tecnologias assistivas**'. O objetivo é atender as pessoas com 'necessidades educacionais especiais', além de também poder compor um ambiente de aprendizagem para todos os alunos, não apenas estes mencionados.

Em virtude da extrema complexidade em ter que eventualmente trabalhar simultaneamente numa pesquisa com todas as modalidades das necessidades educacionais especiais, que englobaria as deficiências física, visual, auditiva e intelectual, além das dificuldades de aprendizagem (dislexia, afasia, discalculia, etc.) e as altas-habilidades e superdotação, respectivamente, optamos focar nesta pesquisa apenas o indivíduo com deficiência visual (cegos e ou baixa visão, respectivamente).

Segundo o Decreto Federal 5296, de 2 de Dezembro de 2004, Capítulo II, Artigo 5º, § 1, item c:

(...) deficiência visual: cegueira, na qual a acuidade visual é igual ou menor que 0,05 no melhor olho, com a melhor correção óptica; a baixa visão, que significa acuidade visual entre 0,3 e 0,05 no melhor olho, com a melhor correção óptica; os casos nos quais a somatória da medida do campo visual em ambos os

olhos for igual ou menor que 60o; ou a ocorrência simultânea de quaisquer das condições anteriores (BRASIL, 2004).

Assim, utilizaremos o termo ‘deficiente visual’, ou ‘deficiência visual’ para nos referirmos também ao indivíduo cego (acuidade visual menor ou igual a 0,05). Quando utilizarmos o termo ‘cego’ total (congenito ou adquirido), estaremos nos referindo à condição de “amaurose” onde, sempre, está ausente qualquer percepção luminosa.

Justificamos também a escolha pelo sujeito da pesquisa focado no indivíduo deficiente visual por uma razão epistemológica, científica, teórica e metodológica que é o fato de existir considerável pesquisa no Ensino de Física para deficientes visuais no Brasil, desenvolvida sobremaneira por Camargo (2011, 2005) as quais fizeram emergir determinadas categorias de análise diretamente vinculadas ao campo da psicologia experimental, do referencial teórico da Teoria dos Campos Conceituais, e ainda em relação a neurociência cognitiva, conforme será abordado no Capítulo 1 e 3, respectivamente.

Tais categorias fazem crer que é necessário empreender estudos mais sistemáticos em relação ao indivíduo com deficiência visual, provavelmente na forma de experimentos ou quase experimentos, com a finalidade de se identificar constructos cognitivos e relações entre variáveis neurocognitivas.

Outra razão para a escolha da modalidade ‘deficiência visual’, é que através desta pesquisa será possível elucidar, responder ou pelo menos indicar a resolução de uma questão envolvendo as duas grandes teorias científicas atuais a respeito do fenômeno da formação de imagens mentais (e visuais), e sua correlação com o processo de formação de conceitos (ou conceitualização, segundo a acepção deste termo utilizada por Gérard Vergnaud na Teoria dos Campos Conceituais). Estas teorias são atribuídas a Stephen Kosslyn (2005, 1994) e Zenon Pylyshyn (2007), respectivamente.

Pylyshyn defende que a imagética é um processo cuja atribuição pertenceria mais ao campo de uma estrutura proposicional, e não propriamente devido a uma representação mental com suporte biológico físico. Sua concepção sobre

imagem mental é muito próxima da concepção piagetiana, onde a imagem mental está associada ao aspecto simbólico da representação.

Por outro lado, Kosslyn (1994) sustenta que a imagética possui uma evidência fortemente biológica, sendo assim, a imagem mental de um objeto corresponderia a uma espécie de projeção com características morfológicas (até geométricas) semelhantes dentro do próprio cérebro. Este posicionamento de Kosslyn atribui à imagem mental um caráter muito menos epistemológico em relação à construção do conceito e se distancia completamente do conceito que Piaget atribui a imagem mental (BRUNO et al., 2007; PIAGET; INHELDER, 1966, 1962).

Esta questão é particularmente interessante ao analisarmos como uma pessoa cega consegue representar um objeto tridimensional, e também inferir conceitos e propriedades físicas a respeito deste objeto, sem nunca ter tido a experiência visual sobre o mesmo e, além disto, ser capaz de compor uma representação do objeto real a partir de experiências sensoriais multimodais, como o tato ou a audição. Isto nos faz remeter ao conceito moderno de 'cognição incorporada', que foi exaustivamente colocado de maneira mais filosófica por Maurice Merleau-Ponty, conceito este que hoje vem ganhando mais e mais adeptos principalmente em algumas abordagens na psicologia e na ergonomia cognitiva.

Para a aprendizagem e o ensino de Física, este complexo mecanismo que envolve a visão, a formação da imagem mental e a conceitualização é algo extremamente importante. E no caso do deficiente visual, onde está ausente o sentido da visão, a pergunta que caberia é: como esta pessoa forma imagens mentais e conseqüentemente, conceitos físicos diretamente relacionados a tais imagens, se o indivíduo não é capaz de assimilar o objeto e o fenômeno através do mecanismo da visão?

Por outro lado, mas concomitantemente, a respeito do processo de inclusão da pessoa com deficiência, convém salientar que com o advento atual da presença de alunos com necessidades educacionais especiais o planejamento pedagógico e didático das atividades educacionais deve pressupor profundas modificações em sua práxis, procurando fazer com que qualquer indivíduo

deficiente tenha o máximo possível a capacidade de autonomia (conceito de **empowerment**) em relação à acessibilidade (conceito de **acessibilidade**) e o uso de quaisquer recursos ou meios que normalmente são empregados pelo indivíduo sem a dificuldade, no mesmo nível de igualdade do que este - conceito de **mainstreaming**- (CAMARGO, 2005).

Como se isto não bastasse, há também que considerar que muitas vezes temos a ocorrência de alunos com deficiências múltiplas, o que faz com que aumente ainda mais a complexidade e os consequentes aparatos necessários para colocar o aluno com necessidades educacionais especiais (incluindo aqueles com deficiências) em condições de igualdade em relação aos demais, devendo-se, nestes casos, utilizar-se de estratégias específicas e diferenciadas de aprendizagem como, por exemplo, a 'remediação cognitiva' (BÜCHEL; PAOUR, 2005), monitoramento da atividade cerebral em tarefas cognitivas, tanto para alunos considerados normais quanto para indivíduos com alguma situação anômala, como é o caso mesmo de algumas deficiências intelectuais (YOUNG; BURRIL, 1997).

Delineamento da pesquisa

Em síntese, os aspectos que justificam a execução deste projeto são:

- Relevar o papel da educação científica e tecnológica com base na ideia de que qualquer pessoa é capaz de construir modelos da realidade e conseguir agir e operar com relativa autonomia um ambiente didático no sentido de oportunizar condições de aprendizagem no mesmo nível de igualdade em relação a qualquer indivíduo (*empowerment, mainstreaming, etc.*);
- Colocar em cena o fator emocional e afetivo nos processos cognitivos envolvendo o ensino de Ciências e, particularmente, o Ensino de Física, correlacionando este fator com o processo de formação dos esquemas e

da consequente conceitualização, segundo a acepção de Vergnaud (1996);

- Avaliar as possibilidades para o desenvolvimento e aplicação de um ambiente de aprendizagem baseado no conceito de ‘cognição distribuída’, utilizando-se para isto a tecnologia da “interface cérebro-computador” (ICC) para compor uma tecnologia assistiva para indivíduos com necessidades educacionais especiais e, principalmente, para a pessoa com deficiência visual.

Para que isto pudesse ser realizado nesta pesquisa, em linhas gerais, aplicamos atividades ou situações didáticas (aulas) de Física tendo como subtema a Biomecânica/Biônica, por se tratar de um assunto bastante instigador e motivador da aprendizagem (PAPERT, 2007; PEZALLA-GRANLUND et al, 2005; PAPERT, 1980).

As aulas aplicadas utilizaram o conceito de ‘**multissensorialidade**’ (recrutamento neuronal do tipo intermodal-*crossmodal* e multimodal), onde o deficiente visual foi colocado em contato direto com materiais concretos de um kit de robótica, fazendo uso de vários sentidos perceptivos (tato, audição, verbalização). Para este tipo de aula foram empregados recursos assistivos já existentes como: materiais didáticos em Braille e em alto relevo, máquina Braille.

A interface cérebro-computador foi adaptada para estas aulas de Física, com o objetivo de funcionar como uma tecnologia assistiva. Para isto subdividimos a aplicação em duas etapas relacionadas: a) etapa didática – onde foram trabalhados os conteúdos conceituais e teóricos da Física através do material ou kit robótico (multissensorialidade); b) etapa neurocognitiva – onde trabalhou-se aquilo que chamamos de ‘treinamento cognitivo’ (para uso da interface cérebro-computador para controlar os movimentos do robô), e ainda a aquisição de dados neurocognitivos do sujeito da pesquisa em algumas tarefas neuro-motoras.

Na etapa didática das aulas de Física (situações didáticas) utilizamos o kit de robótica da LEGO (Mindstorms NXT 2.0), de acordo com os objetivos de cada

aula e dentro de um grau crescente de complexidade, utilizando o conceito de 'campo conceitual' de Vergnaud. Para isto procurou-se fazer com que o sujeito da pesquisa tivesse contato tátil/conceitual direto com tal material.

Além do trabalho com o processo de conceitualização (aspecto epistemológico central da pesquisa), foi possível através destas aulas multissensoriais, fazer com que o sujeito da pesquisa controlasse o acionamento da direção de um robô que foi montado pelo professor (movimentos para frente, para trás, para o lado direito e para o lado esquerdo, respectivamente) utilizando-se a interface cérebro-computador, ao invés de se utilizar a programação através do software do kit de robótica, tarefa esta que seria algo praticamente impossível para aquele tipo de aluno (deficiente visual). Este foi o primeiro uso da ICC como tecnologia assistiva.

Na etapa neurocognitiva, o outro uso da ICC como tecnologia assistiva foi o monitoramento do estado cognitivo do sujeito da pesquisa em algumas tarefas cognitivo-motoras: a ICC foi utilizada para monitorar a atividade elétrica cerebral através do EEG e dos ritmos cerebrais (ondas **alpha**, **beta**, **gama** e **theta**) em quatro estados cognitivos diferenciados. Ressaltamos que estas duas possibilidades de uso de uma ICC foram escolhidas dentre as várias existentes, sendo que estas foram consideradas por nós como aquelas que mais se adequavam às características, condições, possibilidades e limitações técnicas e operacionais de uma pesquisa desta natureza.

Perspectivas esperadas com os resultados da pesquisa

Como resultado da pesquisa, constamos uma ação promissora no uso da tecnologia de interface cérebro-computador para pessoas com deficiência visual em aulas de Física.

Analisando a pesquisa como um todo, vemos que os conceitos da educação inclusiva denominados *mainstreaming* e *empowerment*, respectivamente,

foram devidamente utilizados. O conceito de *mainstreaming* diz que a ação inclusiva considerada dentro de um contexto maior, possibilita um processo das garantias da equidade social, e não apenas e tão somente a mera inserção da pessoa deficiente na forma passiva. Como consequência disto, produz-se o conceito de *empowerment*, que refere-se a capacidade ou ao poder que se dá a um indivíduo deficiente, quando este dispõem de algum recurso para efetuar determinada tarefa que sem o devido auxílio (como uma tecnologia assistiva) não seria capaz de realizar (CAMARGO, 2011).

Ainda com todas as limitações técnicas, o sucesso em se conseguir que uma pessoa cega (ou com outro tipo de deficiência física) controle um dispositivo robótico apenas com a ação do pensamento, pode abrir um precedente muito promissor para a educação em Ciências e, especialmente para o Ensino de Física. Por exemplo, o acionamento do movimento de um motor traz como 'campo conceitual' conceitos como força, torque, velocidade, aceleração e outros. E a possibilidade de que a pessoa deficiente consiga interagir e acionar um sistema ou dispositivo exterior ao seu corpo (no nosso caso foi um robô, mas poderia ser também um sistema virtual, caso tivéssemos uma pessoa com outro tipo de deficiência que não fosse a visual), é algo realmente que realmente deve ser considerado. Principalmente porque tal tecnologia já está sendo amplamente utilizada para a área de entretenimento (jogos virtuais).

Por outro lado, mas de maneira complementar, a análise dos dados da atividade elétrica cerebral (eletroencefalograma e ritmos cerebrais) permite uma avaliação importante sobre o estado atencional do indivíduo, sua condição cognitivo-emocional, memória de trabalho, memória de curto e longo prazo. Isto pode sugerir possíveis intervenções e ações a serem tomadas, incluindo-se tanto o aspecto essencialmente didático-pedagógico (psicopedagógicos) e também aspectos psicológicos e médicos (neurociência cognitiva terapêutica).

Neste sentido, a compilação destes resultados traz informações técnicas absolutamente objetivas sobre a condição cognitiva do aluno. Isto pode fazer com que o atual estado avaliativo sobre a situação cognitiva dos alunos com deficiências, principalmente as de natureza de dificuldades de aprendizagem,

passa a complementar os 'diagnósticos' subjetivos e qualitativos praticados atualmente pelos profissionais da área pública da educação (professores, coordenadores, professores especialistas em educação especial) e, inclusive, pelos próprios profissionais da área de saúde (psicologia e medicina).

Isto poderia se concretizar através de uma propedêutica e intervenções através de uma metodologia inter, multi ou transdisciplinar, e jamais de maneira isolada.

Entretanto, os inúmeros problemas que surgiram no contexto da pesquisa, principalmente aqueles relacionados diretamente com o uso e aplicação da interface cérebro-computador, quer seja em função do tipo, modelo ou marca do equipamento, quer seja também pelo atual estágio da pesquisa e do desenvolvimento científico-tecnológico relativo a esta tecnologia como um todo a nível internacional, trouxeram a certeza de que existe muito trabalho a ser realizado.

Por exemplo, a 'simples' ação de movimentação do robô pela pessoa deficiente visual impôs uma série de restrições para tal como, por exemplo, a limitação da resposta da ação consciente por parte do sujeito em efetuar determinado movimento, e a conseqüente resposta do equipamento (software/hardware) em responder e executar tal ação (incluindo o conjunto 'head-set' da interface cérebro computador, o computador em si mesmo, o software e o kit de robótica).

Na parte da aquisição dos dados neurocognitivos, seria conveniente que a interface fosse muito mais robusta e, ao mesmo tempo, com uma melhor acurácia e também com uma melhor usabilidade por parte do usuário, principalmente visando o conforto ergonômico.

Finalmente, a pesquisa também colocou em relevo questões fundamentais que subjazem, apoiam e sustentam algumas teorias e modelos psicológicos e educacionais vigentes, e que tem sua base em metodologias, modelos e teorias calcados em diversas bases ou resultados empíricos, e que muitas vezes parecem ter seus equívocos ou malogros.

Por exemplo, a questão sobre a elaboração de imagens mentais e sua correlação com o processo de conceitualização em relação a pessoas com deficiência visual (principalmente o cego de nascimento) é algo que precisa ser revisto por alguns autores.

Em segundo lugar, o grande problema do paradigma que envolve a associação estrita, exclusiva e restrita entre as áreas e respectivas funções cerebrais (devido a interpretação de Brodmann, Broca e outras) está diretamente relacionado com as possibilidades ou restrições com o processo de aprendizagem, já que conduz necessariamente ao equívoco de se inferir que determinada síndrome ou disfunção direta ou indiretamente associada com os processos cognitivos está associada a apenas uma única região cerebral e que, no caso do possível dano nesta região, aquela função correspondente não pode jamais ser reparada. É uma espécie de determinismo fatalítico sobre a dinâmica das relações entre as funções cerebrais.

Por exemplo, se um aluno possui dificuldade com a habilidade do cálculo matemático, conseqüentemente infere-se que determinada região cerebral pode estar afetada e que, por este motivo, justifica-se a não-habilidade da pessoa em realizar tais tarefas ou que, por outro lado, que uma possível ação terapêutica para amenizar ou corrigir tal disfunção consista em desenvolver estratégias didáticas que estimulem apenas aquela região cerebral afetada, ignorando possíveis estimulações em regiões cerebrais que possam estar funcionando ou sistemicamente relacionadas com outras áreas.

Neste caso, o equívoco conceitual embutido neste paradigma é rompido precisamente através do **Princípio de ação multitarefa neuronal** (comentado anteriormente, atribuído a Miguel Nicolelis) e também pelo conhecimento da função de neuroplasticidade cerebral.

As conseqüências da aplicação destes princípios para a área da Educação poderia trazer incontestavelmente grandes avanços na maneira de se trabalhar as metodologias, os sistemas de ensino e a didática em geral. Neste sentido, as neurociências podem

(...) colaborar para fundamentar práticas pedagógicas que já se realizam com sucesso e sugerir ideias para intervenções,

demonstrando que as estratégias pedagógicas que respeitam a forma como o cérebro funciona tendem a ser mais eficientes. Os avanços das neurociências possibilitam uma abordagem mais científica do processo ensino-aprendizagem, fundamentada na compreensão dos processos cognitivos envolvidos. Devemos ser cautelosos, ainda que otimistas em relação às contribuições entre neurociências e educação (COSENZA; GUERRA, 2011).

Concluída estas considerações passemos a esquematização dos capítulos da tese.

Organização dos capítulos da tese

O Capítulo 1 tratará do referencial teórico básico da tese, que é a Teoria dos Campos Conceituais. Nele será mostrado como esta teoria pode suportar uma abordagem epistemológica para uma aplicação didática que, no caso, será o ensino de Física. Muitas das colocações feitas por nós neste capítulo referem-se diretamente a nossa interação direta por ocasião da realização do doutorado em sua parte da pesquisa na França, junto ao professor Gérard Vergnaud e equipe (principalmente a professora Sandra Bruno, do Laboratoire Paragraphe). Neste sentido, a maioria de nossas considerações não serão referenciadas como bibliografias.

O que convém destacar desta interação foi o fato de que Vergnaud ressalta sua característica de pesquisador na qualidade de um psicólogo, e não de um epistemologista (ou epistemólogo, assim como foi Jean Piaget).

Esta característica nos inquietou sobremaneira, justamente porque acreditávamos, através das leituras dos artigos e livros daquele autor, que sua abordagem era completamente voltada para o aspecto epistemológico, em razão exatamente da aplicabilidade que se dá em relação à Teoria dos Campos Conceituais, principalmente em respeito à Didática da Matemática.

No Capítulo 2 tratamos de mostrar como a pesquisa em ensino de Física para deficientes visuais está sendo desenvolvida no Brasil. Para isto, destacamos como principal referencial teórico os estudos realizados pelo professor Eder Pires de Camargo, precisamente porque se destaca em meio ao conjunto de

pesquisas em ensino de Física no país. Além disto, mostramos como esta pesquisa possui um aporte completamente compatível com a abordagem de natureza semiótica da Teoria dos Campos Conceituais, fazendo com que, desta maneira, a fundamentação epistemológica e conseqüentemente, a aplicação didática da abordagem adotada por Camargo seja altamente coerente com a fundamentação desenvolvimentista adotada por Vergnaud.

Como esta abordagem de Camargo adota o pressuposto de que o desenvolvimento da conceitualização para o deficiente visual se dá a partir da elaboração de imagens mentais, já que não se centraliza no modelo de ensino fundamentado estritamente no uso de imagem visual. Tal concepção aproxima-se completamente da mesma abordagem adotada por Jean Piaget, relevando assim o papel da imagem mental e da sua significação em respeito ao atributo semiótico, posição esta também adotada por Zenon Pylyshyn, conhecido debatedor e opositor aos trabalhos de outro grande nome da pesquisa psicológica internacional sobre imagens mentais, que é Stephen Kosslyn.

Entretanto, para que esta interpretação ganhe em profundidade empírica, consideramos necessário que os estudos relativos ao processo de conceitualização, bem como alguns mecanismos implicados neste mecanismo, bem como a questão da própria elaboração mental das imagens, a nível cerebral, possa ser interpretado (pelo menos parcialmente) através dos estudos em neurociência cognitiva. Isto, principalmente, considerando a atual disponibilidade de tecnologias, como o uso de interface cérebro-computador, para o monitoramento, biofeedback e neurofeedback, possíveis de serem utilizados em ambientes de aprendizagem, como uma escola regular. E, mais ainda, considerando a inexorável realidade da presença de alunos com os mais variados tipos de deficiências no contexto da educação internacional, como é o caso mesmo dos deficientes visuais.

Assim sendo, no Capítulo 3 tratamos de aspectos mais voltados a questão neurocognitiva diretamente vinculado a aprendizagem, inclusive a aprendizagem conceitual e matemática (como por exemplo, os trabalhos de Stanislas Dehaene sobre o processo da leitura, e a aprendizagem matemática e sua correlação a nível cerebral). Além disto, tratamos especificamente das

características neurocognitivas do indivíduo com deficiência visual, por considerarmos que a pesquisa em Ensino de Ciências deva se aprofundar sobre as condições fisiológicas, neuropsicológicas, neuroanatômicas e funcionais destes e de outros tipos de deficiências. A análise dos estudos já realizados, através de uma quantidade e qualidade confiável e razoável de dados empíricos da pesquisa internacional, mostra que muitos aspectos destas pesquisas podem indicar profundas mudanças na maneira de se tratar determinadas estratégias de ensino-aprendizagem para a pessoa com deficiência visual.

Assim sendo, apresentamos também no Capítulo 3, de forma sintética, orientações específicas para serem utilizadas no Ensino de Ciências, orientações estas que, inclusive, já fazem parte da pesquisa na área em diversos países.

No Capítulo 4 avançamos na direção de abordar a questão do uso didático de uma interface cérebro-computador com a finalidade de adaptá-la para ser empregada como uma tecnologia assistiva. Antes, porém, avaliamos quais seriam as condições da ergonomia cognitiva envolvida na questão.

Esta abordagem sobre a ergonomia cognitiva não é recente na pesquisa científica internacional. Porém, tratando-se especificamente da pesquisa em Educação para a Ciência, inclusive a pesquisa em Ensino de Física, a nível do Brasil, seu uso é absolutamente inédito.

Contudo, nossa originalidade já é ultrapassada, a partir do momento em que constatamos que o uso de interfaces cérebro-computador já é uma realidade até para a área de entretenimento, como jogos e games para crianças. Ainda que a mesma tecnologia, num outro patamar de estado da arte, esteja sendo desenvolvida e aperfeiçoada num altíssimo nível técnico, como é o caso da pesquisa desenvolvida por Miguel Nicolelis e outros pesquisadores na área, com o uso de interface cérebro-computador para restauração de movimentos, na área da Medicina.

Os Materiais e Métodos são apresentados no Capítulo 5. Como os corpora de pesquisa são diferenciados, explicamos cada um deles e os respectivos

materiais e métodos separadamente. Apesar desta diferenciação, adotamos como metodologia geradora de constituição de dados a ‘análise de conteúdo’ (BARDIN, 1977), que permite a interlocução entre as diversas metodologias e técnicas.

No Capítulo 6, a apresentação dos dados e a conseqüente análise dos dados efetuadas segue também a mesma ideia.

A discussão dos resultados e conclusões finalizam o trabalho no Capítulo 7, procurando fazer com o texto traga alguns resultados mais pertinentes da pesquisa em neurociência cognitiva para esta investigação.

CAPÍTULO 1 REFERENCIAL TEÓRICO: A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS

1.1 Pesquisa em Educação, Ciências e Ensino de Física no Brasil

Este trabalho, como dissemos desde o início, tratará em seu aspecto epistemológico, do processo da conceitualização, principalmente tendo como foco a pessoa com deficiência visual.

Isto envolve a questão de como esta pessoa organiza e direciona seu sistema psicológico, biológico, psíquico e mental para compor o sistema perceptivo que o indivíduo se utiliza para compreender e expressar-se no mundo.

No caso do Ensino de Física, devemos levar em consideração a especificidade que esta modalidade de ensino comporta se quisermos, efetivamente, proceder uma análise mais fidedigna possível da complexidade do fenômeno envolvido com aquilo que denominamos de 'aprendizagem científica'.

De fato, poderíamos fazer referência a uma grande quantidade de autores que abordam a maneira pela qual ocorre toda a complexa composição do pensamento humano para a aprendizagem dos conceitos da Física, entretanto, possivelmente, jamais seríamos capazes de dar conta realmente de tudo aquilo que envolve a heurística e a epistemologia do conhecimento.

No entanto, falar em ensino e aprendizagem de Física exige, antes de tudo, pensar que o aluno deveria ter iniciado sua formação acadêmica voltada mais especificamente à educação científica ainda no nível da educação básica e,

posteriormente, no Ensino de Ciências que compreende as séries finais do ensino fundamental³, período que antecede o Ensino Médio.

Convém esclarecer que neste trabalho ora falaremos de Ensino de Ciências, ora em Ensino de Física. Quando nos referirmos a Ensino de Ciências estaremos considerando as três disciplinas Física, Química e Biologia, que são ensinadas no Ensino Médio. Entretanto, eventualmente também poderemos utilizar a mesma nomenclatura 'ensino de Ciências' para mencionar a disciplina 'Ciências', que é ensinada no nível da Educação Fundamental (segundo ciclo, correspondente às séries do 6º ao 9º ano).

Tendo feito este esclarecimento, no documento intitulado 'O Ensino de Ciências e a educação básica: propostas para superar a crise', a Academia de Ciências Brasileira (2008), assim se exprime ao abordar diretamente as condições em que deveria se dar o Ensino de Ciências:

A ênfase do Ensino de Ciências naturais deve ser no sentido da compreensão da natureza e do meio em que vivemos. A compreensão deve se assentar sobre a noção de que todo o conhecimento nas ciências naturais se deriva da observação e da experimentação e que ainda há muito a ser estudado. Assim desde o início do ensino fundamental os alunos devem aprender a observar, tirar conclusões, formular hipóteses, experimentar e verificar suas conclusões. A curiosidade natural e a criatividade dos alunos devem ser estimuladas (ABC, 2008,p.35).

Como dissemos, espera-se que um indivíduo possa, efetivamente, adquirir competências e habilidades em todo período escolar pretendido pela educação formal e que, estas competências e habilidades estejam devidamente bem estruturadas na fase da adolescência. Para tanto, é preciso que isto se inicie já na educação infantil e que seja dado o devido prosseguimento nos anos sucessivos.

O ensino das ciências naturais na escola média, assim como o de outras disciplinas, depende da educação prévia dos alunos na escola fundamental (ibidem).

³ Atualmente o 'ensino fundamental' é especificado em alguns estados da federação brasileira iniciando no chamado '6º ano', que corresponde a antiga 5ª série.

Ainda que o documento tenha se detido em questões e problemas de superestrutura da educação científica, principalmente nas políticas nacionais de distribuição de verbas, na formação de professores e na organização e gestão curricular, e menos nas questões propriamente de natureza pedagógica e didática, como orientações que digam respeito diretamente ao aspecto cognitivo da formação científica, por outro lado, fornece sugestões que são diretamente vinculadas ao Ensino de Ciências, como: o problema das salas numerosas, a questão do não direcionamento da educação brasileira para a formação profissional, a formação docente precária, principalmente no nível do Ensino Médio⁴, a falta de incentivo para os jovens da educação científica em espaços não formais (como por exemplo, os museus), um direcionamento da educação média para os exames vestibulares, a necessidade de tornar o ensino mais interdisciplinar e, ainda, a diminuição da quantidade de disciplinas que tanto sobrecarrega a própria qualidade da educação.

Não seria justo dizer que neste complexo processo de formação acadêmica científica a Física ocupasse um papel central. Contudo, esta ciência é sim digna de ser levada mais a sério dentro das políticas nacionais de educação. Isto é tão verdadeiro que a própria Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES)⁵ criou um grupo especial para estudar a questão da necessária relevância da Física a nível nacional, já que, no conjunto da Ciência como um todo, é preciso ter a clareza que “A inclusão da ciência na agenda brasileira é um problema do Estado e de toda a sociedade, não de um dado órgão ou ministério, essa foi a visão que orientou este trabalho (CAPES, 2007, p.2)”.

Com estas palavras bastante contundentes, a comissão que realizou o estudo intitulado ‘Física para um Brasil Competitivo – Estudo encomendado pela CAPES visando maior inclusão da física na vida do país’ inicia uma análise relativizada da situação da Física a nível nacional, comparando-a ao cenário internacional, e chegando até o ensino, onde no entendimento do grupo:

⁴ A denominação ‘Ensino Médio’ corresponde a nomenclatura que define o ensino a partir do término do ensino fundamental, ou seja, a partir do 9º ano do Ensino Fundamental.

⁵ Convém mencionar que esta atribuição está fora do âmbito de atuação da CAPES, como inclusive mencionam os autores já na apresentação do trabalho mencionado.

No mundo contemporâneo, o Ensino de Ciências cumpre dois papéis complementares e igualmente indispensáveis. Um é o de formar cientistas e engenheiros que promovam o avanço do conhecimento científico e utilizem esse conhecimento para o desenvolvimento tecnológico. O outro é preparar as pessoas para viverem com desenvoltura e discernimento em ambientes cada vez mais impregnados de tecnologia e de novas descobertas, sobretudo àquelas relacionadas à medicina e a modificações do clima e dos ecossistemas. Há amplo reconhecimento de que essa preparação mais geral da sociedade – designada pelos termos alfabetização científica ou letramento científico – é parte vital do processo civilizatório contemporâneo, que tem como paradigmas centrais a democracia e a participação da sociedade na solução dos grandes dilemas (ibidem, p.59).

Apesar de que estes seriam os objetos ou as perspectivas gerais em relação aquilo que se espera, os autores são bem conscientes ao reconhecerem que malgrado todo importante avanço tecnológico nacional ocorrido nas últimas décadas “a educação básica em ciência não foi incluída nesse processo de modernização, e sua fraqueza constitui o maior embaraço para todo o processo de formação de pessoal qualificado nas áreas de ciência e tecnologia.” (ibidem p.59 e 60). Algumas das conclusões do estudo são bastante semelhantes às conclusões dos estudos realizados pela Academia Brasileira de Ciências. Destaca-se, porém que a formação inicial poderia ser subdividida em dois grupos distintos, um que privilegiasse a área mais voltada para a pesquisa científica de alto nível (esta denominação foi nossa interpretação, e não dos autores), e outro de baixo nível (também esta denominação advém de nossa leitura interpretativa do texto), que serviria mais para formar professores para lecionarem nas escolas (Ensino de Ciências). Não iremos aprofundar esta discussão, mas esta proposta é completamente absurda, porque pode gerar um fosso ainda maior do que aquele que já existe, pressupondo a existência a priori de pelo menos duas camadas intelectuais completamente distintas.

Apesar destas e de outras reticências, algumas recomendações são muito interessantes e, indiretamente, podem ter um reflexo no ensino científico. Por exemplo, considera-se extremamente necessário que os alunos possuam considerável domínio em relação a língua materna, principalmente nas áreas diretamente relacionadas com as ciências exatas, já que normalmente existe

um raciocínio de senso comum de que tal domínio não é tão necessário neste campo.

O documento faz indicações realmente significativas em relação a situação da carreira docente e, também, ao grande problema nacional da pequena carga horária para a educação em Física⁶. Contudo, a nosso ver, o estudo ficou absolutamente incompleto em relação às questões diretamente relacionadas com o aspecto da aprendizagem em si mesmo. Na verdade, os autores não justificam esta posição metodológica, porque, a princípio, seria de se esperar que o grupo - mais do que qualquer outra entidade governamental brasileira - tivesse todas as condições técnicas, operacionais e logísticas para aprofundar nas questões relacionadas com o aspecto didático e pedagógico, o que não aconteceu.

Na verdade, a tônica de todo o documento parece se centralizar no problema da formação de físicos para as áreas tecnológicas e industriais, ou seja, a formação do chamado 'bacharelado', com finalidades competitivas em nível do mercado internacional.

De fato, o problema central da formação em Física, que é a questão epistemológica, que envolve diretamente o processo de conceitualização, não foi sequer mencionado e conseqüentemente analisado pelos autores, o que é um lapso porque na verdade dá a nítida impressão de que aquilo que realmente interessa é a Física ensinada para as engenharias, ou a Física tecnológica.

A construção da Ciência, inclusive a Física, deveria colocar como premissa o próprio papel do Homem, da Sociedade e do Meio-ambiente como centros, dentro de uma relação onde todos estes elementos estão e são interligados de maneira complexa (MORIN, 1996). A educação tecnológica, voltada apenas aos interesses competitivos de uma sociedade capitalista e industrial não poderia ser o epicentro de algo que deveria envolver a ideia de civilização, de cultura, onde a educação teria um papel primordial de transformação do próprio

⁶ Atualmente (ano de 2012), no Estado de São Paulo, a carga horária para a disciplina de Física é de duas aulas semanais. Entretanto, considerando o Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia), totaliza-se 6 aulas semanais.

ser humano para o ser humano, para a civilização, para o bem estar humano, num sentido de modificação, de questionamento e de reformulação paradigmática, e não uma simples reforma programática. Se buscarmos somente o pragmatismo das relações de conhecimento fundamentado no paradigma da ciência como sinônimo de tecnologia, podemos incorrer naquilo que Edgar Morin chamou de “cegueiras do conhecimento: o erro e a ilusão” (MORIN, 2002).

Isto é algo que envolve relações transdisciplinares entre a própria ciência, a cultura, a religião, a economia, e também o sistema educacional (NICOLESCU et al., 2000; NICOLESCU, 1997). Mas também depende e deve estar correlacionado com as relações Homem e Meio ambiente, onde este ‘meio ambiente’ produzirá neste ‘Homem’ uma modificação em seu saber, em seu conhecimento, ou uma ‘eco-educação’ (PAUL; PINEAU, 2005), e não apenas a ideia de sustentabilidade como uma maneira politicamente correta de se tratar algo que é muito mais profundo.

Ainda que existisse um projeto de sociedade científica, onde a física fosse realmente superestimada, seria necessário não nos deixar iludir por aquilo que Bachelard chamou de ‘experiência primeira’, ao acreditarmos equivocada e erroneamente que uma sociedade onde a ciência fosse altamente avançada, e conseqüentemente o sistema educacional aparentemente funcionasse muito bem, tivéssemos sim uma ciência baseada num racionalismo ingênuo e num empirismo positivista, utilizando a acepção sobre o ‘perfil epistemológico’, como discutido em ‘*La Philosophie du non*’ (BACHELARD, 1976).

Leituras como estas do mencionado estudo “Física para um Brasil competitivo” não podem ser interpretadas como única ou exclusiva voz sobre este assunto, e exemplifica a interpretação multifacetada e as vezes até ideológica, sobre o papel do Ensino de Física no Brasil (e do Ensino de Ciências), questionada de forma pertinente por um estudo muito bem maduro e consistente efetuado por Nardi (2005)⁷. Ao analisar a constituição desta área no país segundo a voz de

⁷ Este estudo complementa outra pesquisa publicada anteriormente por Nardi e Almeida (2004), cuja referência é ‘NARDI, R. e ALMEIDA, M.J.P.M. *Organization of the Science Education area: memories of researchers in Brazil. In: Congreso de Historia de las Ciencias y la Tecnología, Resúmenes....2004.*

vários de seus atores, estudo este que incluiu não apenas a Sociedade Brasileira de Física (SBF), mas também outras entidades e uma expressiva publicação nacional da área (Revista Ciência e Educação, SBF, ABQ, SBQ, ABRAPEC e SbenBio):

Embora essa diversidade ou pluralidade de imaginários possa ser uma rica característica da área de Ensino de Física (e de Ciências), uma possível interpretação é que a área atingiu um expressivo nível de consolidação, mas, a exemplo de outras áreas que são integradas às Ciências Humanas, abriga uma pluralidade de concepções e metodologias, relacionada à diversidade da formação dos pesquisadores (o lugar de onde falam – origem acadêmica, localização geográfica, ideologia, valores etc), conforme o referencial assumido nessa pesquisa, a Análise de Discurso. Essa dispersão de pontos de vista se explica também pelo fato de que as questões que interessam à área são multifacetadas, parecendo altamente improvável que a pesquisa acadêmica possa sustentar-se a partir de uma abordagem única, excludente das demais (NARDI, 2005, p.97).

É evidente que a concepção de Ciência, de Física, varia de acordo com a própria formação e posicionamento social que o pesquisador ocupa. Pena (2004), na seção de Carta ao Editor da Revista Brasileira de Ensino de Física vai colocar muito bem esta questão no próprio título de seu sugestivo artigo ‘Por que, apesar do grande avanço da pesquisa acadêmica sobre Ensino de Física no Brasil, ainda há pouca aplicação dos resultados em sala de aula?’. Obviamente o autor não terá uma resposta fechada para esta questão. Mas coloca alguns pontos de vista que merecem ser aqui considerados. E talvez o mais importante seja exatamente a opinião do emérito professor Marco Antonio Moreira (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), em um comentário sobre o mencionado estudo ‘Física para um Brasil competitivo’. Nas palavras de Pena (opus cit.):

Segundo Moreira a questão da aprendizagem no Ensino de Física começou a emergir no Brasil na década de setenta, logo após o período dos projetos curriculares para o Ensino Médio que envolviam diretamente ou indiretamente o Ensino de Física, período classificado por ele como paradigma dos projetos. Para ele, o motivo da passagem relativamente efêmera deste paradigma parece que foi a falta de uma concepção de

aprendizagem destes projetos, ou seja, eles foram muito claros em dizer como se deveria ensinar a Física, mas nada ou pouco disseram sobre como aprender Física (PENA, 2004).

Destarte toda a problemática de natureza filosófica, política e cultural, fatores e variáveis estes de extrema complexidade para serem postos em absoluta consideração num trabalho desta natureza, exatamente o que vai nos interessar será a questão de ‘como aprender Física’ (ou Ciência), é o que isto está diretamente vinculado a um problema de natureza epistemológica da construção ou da constituição do conhecimento, da qual se inclui o processo de conceitualização.

Neste ‘como aprender Física’ está incluído também os recursos tecnológicos, tais como as tecnologias assistivas. Entretanto, consideramos que qualquer recurso tecnológico não pode ser considerado em si mesmo, isoladamente. E sim necessita ser e estar sendo sustentado, apoiado e direcionado por uma concepção epistemológica de base, sem a qual todo processo de construção conceitual (conceitualização) torna-se absolutamente pragmático, conforme mencionado no *Avant- propos*.

Contudo, para que isto seja possível, é necessário que saibamos inicialmente definir as condições segundo as quais este processo de conceitualização se dá no indivíduo, suas características, suas peculiaridades, bem como conhecer a definição sobre o termo ‘conceito’.

1.2 Da educação dos sentidos e da intuição à conceitualização

Pois bem, retomando a questão da conceitualização, (tanto a utilizada por Gérard Vergnaud, como por outros autores), é um termo bastante utilizado tanto no campo diretamente da Física em si mesmo, quanto também na área da Educação, é mais presente a partir da segunda metade do século XX. Contudo, quer seja na própria História da Ciência, tanto na própria História da

Educação diversos autores empregaram expressões correlatas e até semelhantes.

Alguns destacam um tipo de educação, pedagogia ou didática voltada aos sentidos e a intuição humanas, justamente como sendo uma espécie de base para a constituição daquilo que modernamente conhecemos como conceitualização.

Esta conceitualização, como constataremos posteriormente quando formos abordar a Teoria dos Campos Conceituais, embora seja empregada no contexto educacional com finalidades didáticas e pedagógicas, surge a partir de processos, atitudes e procedimentos que tem a ver com o desenvolvimento do comportamento humano como um todo, não se restringindo tão somente àquilo que se desenvolve no ambiente escolar. Por esta razão, não está estritamente vinculado a partir apenas do aspecto racional, tecnicista ou cientificista que compõem aquilo que conhecemos como epistemologia do conhecimento científico. Mas este tipo de conceitualização forma uma epistemologia e uma heurística construídas pelo próprio indivíduo.

Por esta razão é necessário mencionar alguns autores que consideramos bastantes próximos em suas concepções básicas em relação ao nosso referencial teórico central. Entretanto, também é preciso dizer inicialmente que nossa intenção não é tentar estabelecer um simples paralelo entre estas concepções e a Teoria dos Campos Conceituais, mas sim mostrar que o conjunto destas ideias acaba por ter vários pontos convergentes, malgrado as diferenças próprias de cada autor, devido principalmente ao direcionamento ideológico de cada um de acordo com seus objetivos e o contexto sócio-cultural-econômico de cada época.

A palavra 'conceito' também possui múltiplos significados, e um dos que mais se aproximam de nossos propósitos foi definido por Rudolf Wille:

Conceitos podem ser compreendidos filosoficamente como unidades do pensamento formado através de processos dinâmicos em ambientes sociais e culturais. De acordo com a maioria da tradição filosófica, um conceito é constituído pelas extensões, considerando todos os objetos que façam parte do conceito, sua intencionalidade, incluindo todos atributos

(propriedades, interpretações) que são aplicáveis a todos objetos de sua extensão (WILLE, 2005, p.2, tradução nossa).

Observemos, portanto, que conceito possui três características importantes:

- A primeira é que é algo definido cognitivamente;
- Segundo, é algo dinamicamente estabelecido e que,
- Em terceiro lugar, possui uma correspondência e origem social.

O mesmo autor vai ainda definir o que são '**conceitos pessoais**', e o que são '**conceitos convencionais**.' Os primeiros referem-se aquilo que possui uma convenção e conotação pessoais. Já os conceitos convencionais, como os científicos, possuem uma padronização, sendo, portanto invocados de forma recursiva dentro dos contextos discursivos em que aparecem.

Para aquele autor, o problema é saber quando os conceitos (principalmente os convencionais, como os conceitos científicos) são atualizados. Neste caso, o que é interessante estudar é exatamente como os atos cognitivos individuais (e, portanto, na forma de conceitos pessoais), acabam se transformando em conceitos convencionais. Basicamente este é o grande dilema em relação à aprendizagem e ao Ensino de Ciências (e também para o Ensino de Física).

Muito bem, para isto, faremos uma releitura em alguns autores até chegar no próprio Gérard Vergnaud para responder esta questão. Convém destacar que perceberemos certa similitude de ideias nos autores que descreveremos a seguir, conforme já mencionado.

Destacamos inicialmente que uma das obras mais significativas na literatura educacional que apresenta o papel da educação dos sentidos: "*Émile, ou de l'éducation*", de Jean-Jacques Rousseau (1762)⁸. Na obra, o autor destaca aspectos importantes sobre a maneira como não apenas educar os jovens, mas, sobretudo, como estimular seus sentidos para uma posição crítica sobre o mundo a partir de uma 'educação natural'. Ainda que Rousseau tivesse tido toda sorte de inspiração ideológica política do pensamento filosófico da época, a obra é revolucionária naquilo que traz como sendo uma leitura sobre a visão

⁸ Disponível também na Biblioteca numérica Gallica em <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/btv1b8447158w>

que o adulto espera da criança, procurando fazer com que esta criança desenvolva uma espécie de autonomia do pensamento.

A este respeito, apesar de tecer considerações muito bem cuidadosas a respeito de todo contexto ideológico por detrás de *Émile*, Dalbosco (2007) se rende ao projeto daquele verdadeiro tratado educacional, dizendo que:

Rousseau oferece alguns indicativos para que a criança possa ser compreendida em seu próprio mundo: a) o respeito pela etapa da maturação biológica e cognitiva na qual se encontra a criança, evitando-se com isso que se apresse ações e movimentos que devem obedecer a seu “ritmo natural” de desenvolvimento, como o caminhar e o falar; b) a observação detida do choro e o respeito pela sua manifestação, considerando-o como uma forma própria de expressão da criança nesta idade (DALBOSCO, 2007, p.330).

Isto poderia parecer algo até normal para os dias de hoje, para a época onde a educação religiosa de fundamentação católica (praticada não apenas pela monarquia, mas também pela plebe) era predominantemente voltada aos princípios éticos religiosos, *Émile* traz uma série de considerações de acordo com a idade. Por exemplo, sobre o que hoje consideramos como pré-adolescência/adolescência (12-15 anos de idade), Rousseau vai destacar que:

A douze ou treize ans les forces de l'enfant se développent bien plus rapidement que ses besoins. Le plus violent, le plus terrible, ne s'est pas encore fait sentir à lui; l'organe même en reste dans l'imperfection, et semble, pour en sortir, attendre que sa volonté l'y force. Peu sensible aux injures de l'air et des saisons, il les brave sans peine, sa chaleur naissante lui tient lieu d'habit; son appétit lui tient lieu d'assaisonnement; tout ce qui peut nourrir est bon à son âge; s'il a sommeil, il s'étend sur la terre et dort: il se voit partout entouré de tout ce qui lui est nécessaire; aucun besoin imaginaire ne le tourmente; l'opinion ne peut rien sur lui; ses désirs ne vont pas plus loin que ses bras: non seulement il peut se suffire à lui-même, il a de la force au delà de ce qu'il lui en faut; c'est le seul temps de sa vie où il sera dans ce cas. (*Émile*, livre II).

Aos doze ou treze anos as forças do adolescente se desenvolvem bem mais rapidamente do que suas necessidades. A mais violenta, a mais terrível, não se faz ainda perceber; o corpo ainda está imperfeito, e parece que para se exprimir, espera pela sua força de vontade. Pouco sensível às injúrias do tempo ou das estações, ele as enfrentará sem sofrimento, o calor juvenil toma o lugar do hábito; seu apetite toma o lugar da

temperança; tudo o que pode nutrir é bom nesta idade; se tem sono, ele deita sobre a terra e dorme: ele está cercado por tudo que é necessário; nenhuma necessidade imaginária o atormenta; a opinião alheia em nada o influencia; seus desejos não vão mais longe do que seus braços: não apenas ele pode impor um sofrimento a si mesmo, ele tem força para além do necessário; este é o único período de sua vida onde tudo será assim (tradução do autor).

Este ponto de vista de Rousseau sobre tais características “psicológicas” ou comportamentais posiciona o adolescente numa espécie de *status* bastante diferenciado para uma sociedade onde os valores morais vigentes se voltavam a um autoritarismo provindo do adulto.

Na época, o Parlamento francês condenou a divulgação e a leitura de *Émile*, ‘considerando-a uma obra perniciosa, perigosa para a Faculdade de Teologia, um desrespeito à majestade do rei, uma audácia e sacrilégio em relação aos valores religiosos, e a leitura do livro é algo escandaloso e perigoso para as almas esclarecidas, etc.’ Por estas e outras razões, o procurador real ordenou a laceração e queima do livro, e que também Rosseau fosse levado para a prisão da “*Conciergerie du Palais*”, em Paris (SCHERF, 2012, p.22)⁹.

O fato é que a influência de Rousseau diretamente no que concerne a educação foi marcante. Assim, vemos que é colocado em confronto dois conceitos que poderiam muito bem ser equiparáveis aos posicionamentos sobre o desenvolvimento da inteligência humana em Piaget e Vygotsky, em que um aparentemente se voltaria mais para o indivíduo e o outro mais para a influência do social sobre o indivíduo. Este antagonismo é manifestado em *Émile* pelos conceitos de amor de si mesmo (*amour de soi-même*) e o amor-próprio (*amour-propre*). Estas duas ideias colocam o dilema do ser humano entre o aspecto do sentimento de solidariedade/cooperação, de um lado, e o individualismo e o egoísmo do outro.

⁹ Esta referência bibliográfica refere-se ao volume publicado em razão da exposição “Jean-Jacques Rousseau et les arts”, Pantheon (Paris), de 29 de junho até 30 de setembro, mas o documento da citação faz parte do acervo da Bibliothèque Nationale de France François Mitterrand, Paris, 1762, in-4°, Paris BNF, dép.Droit, Économie, Politique, F-21709 (16), BIBL.: BN 1962, n° 272; Album R, n° 198.

Isto vai então levar ao embate entre a satisfação biológica ou psicológica percebida pelo próprio indivíduo e a concomitante necessidade da boa convivência social. Neste sentido, caberia a educação natural proposta pelo método pedagógico de Rousseau resolver tal dilema (DALBOSCO, 2007, p.314).

Ao relevar que o adolescente possui necessidades bastante específicas, próprias de sua idade, de suas condições biológicas ou psicológicas (utilizando nossa conceituação moderna) o autor reconhece diretamente que possivelmente determinadas atitudes consequentes deste período seriam perfeitamente normais, ou aceitáveis como, por exemplo, aquilo que hoje chamamos de “desatenção, transtorno do déficit de atenção, hiperatividade e impulsividade” (SILVA, 2009).

Na verdade, à sua maneira e de acordo com os determinantes impostos pela própria condição ideológica da obra, poderíamos não errar ao dizer que *Émile* antecipa e possui uma semelhança significativa em termos dos objetivos, com o trabalho de análise do desenvolvimento da inteligência da criança em Jean Piaget, principalmente em relação ao livro ‘*La naissance de l'intelligence chez l'enfant*’.

Este tipo de educação, voltada aos princípios ‘naturais’ do ser humano, de acordo com aquilo que é inato a ele, em conformidade com aquilo que é naturalmente apresentado conforme a idade biológica-mental-psicológica foi posteriormente incorporado e adaptado no trabalho de Johann Heinrich Pestalozzi (ZANATTA, 2012), utilizando um conceito que traduzido do alemão possui o significado na língua portuguesa de algo como ‘intuição’. Esta educação baseada na intuição foi a base da chamada “Pedagogia Intuitiva”. Mas esta pedagogia iria muito além de um simples exercício da percepção, e envolveria princípios e ações estabelecidos até com certa pragmática, inclusive com orientação para o trabalho.

Ainda para Zanatta (2012), tais bases seriam:

Partir do conhecido ao desconhecido; do concreto ao abstrato; do particular ao geral; da visão intuitiva à compreensão geral. A base desse método foi a ideia de percepção sensorial [...] o mais

importante não é ensinar determinados conhecimentos, mas desenvolver a capacidade de percepção e observação dos alunos. [...]Os sentidos devem entrar em contato direto com os objetos. Depois, o conteúdo do objeto observado se expressa em palavras permitindo a atividade mental (ZANATTA, 2012, p.107).

Porém, segundo as autoras, uma crítica a este método é o fato de que nele o aluno acaba sendo muito passivo, embora mantenha contato com a realidade, através da percepção e da interação direta com os objetos ou com a natureza, grande parte da formulação dos princípios desta natureza é fornecida pelo professor.

Por outro lado, será tanto mais na dimensão afetiva e emocional do que tão apenas no domínio da elaboração racional voltada à formulação do conceito dentro dos moldes científicos, que o pensamento de Pestalozzi encontrou eco não apenas nos sistemas educacionais convencionais em diversos países, mas também em instituições voltadas para o atendimento a pessoas com algum tipo de deficiência.

A abordagem pestalozziana vai fazer eco junto às instituições voltadas para a educação inclusiva precisamente porque coloca em evidência a educação da percepção fundamentada na ideia do amor, principalmente quando este sentimento provém da família e, principalmente, o amor maternal para qual o autor considerava como sendo essencial para a formação do indivíduo (INCONTRI, 1996).

Entretanto, Horlacher (2011) salienta que todo o projeto não apenas filosófico, mas pragmático de Pestalozzi chegou a ser utilizado pelo governo suíço após o ano de 1800, justamente porque atendia aos interesses do estado, no sentido de que o método se adequava a uma espécie de redenção humana na Terra, em referindo-se a situação da maioria da população pobre. Isto estava presente no próprio manuscrito de Pestalozzi, '*Die Methode*'¹⁰ (O Método), através do conceito de '*psychologisieren*' (psicologização).

¹⁰ Johann Heinrich Pestalozzi, "Die Methode. Eine Denkschrift Pestalozzi de 1801, "em Sämtliche Werke, Kritische Ausgabe, Band 13 (Zurique: NZZ, 1998), 101-22.

Este conceito significava ao mesmo tempo uma orientação que dava rumo ao pensamento do indivíduo baseado naquilo que a criança traz em seu repertório (aproximando-se muito da Psicologia do Desenvolvimento, tal qual em Piaget ou Vergnaud) e, de outro lado, direcionar este mesmo pensamento para as (regras) condutas e circunstâncias da convivência social (se também for válida a comparação, aproximando-se mais a noção de Vygotsky) (HORLACHER, *ibidem*).

Observemos que, embora respeitando as necessárias diferenças, este método é muito semelhante aos propósitos de Rousseau, como não poderia deixar de ser, já que se considera a influência deste sobre o primeiro.

E também falando sobre influências, que pese opiniões de que o pensamento moral em Pestalozzi é praticamente uma releitura de Kant (LARA, 2012) é preciso mencionar que a noção sobre intuição em Pestalozzi parece se contrapor completamente ao pensamento kantiano a respeito do que é 'conceito' e do que é 'intuição', já que para Kant, conceito e intuição são duas coisas muito diferentes:

Conceito em geral ; diferença entre o conceito e a intuição. Todo conhecimento, isto é, toda representação referida a um objeto, é uma intuição ou um conceito. A intuição é uma representação singular ; o conceito é uma representação geral; o conceito é uma representação geral ou refletida.

Conhecer por conceitos é pensar.

Observações: 1º - O conceito é oposto à intuição, porque é uma representação geral ou do que é comum à vários objetos, por consequência é uma ideia que é susceptível de estar contida em várias coisas diferentes (KANT, 1862, p.137-138, nossa tradução).

Quando retomarmos a noção de conceitualização em Gérard Vergnaud, veremos que o psicólogo francês se distancia muito mais de Kant e se aproxima bastante de Pestalozzi.

Transpondo-nos do período de Pestalozzi até mais recentemente, vamos encontrar já em Maurice Merleau-Ponty referências mais modernas para uma

noção muito próxima daquela ideia de educação dos sentidos. Em uma obra bastante extensa e detalhada, Merleau-Ponty (*Phénomelogie de la perception*) vai abordar aspectos muito particulares envolvendo o fenômeno perceptivo, o que fará com que sua obra seja consideravelmente utilizada por autores que se dedicaram a questão da inclusão da pessoa deficiente.

Entretanto, Vergnaud destaca que a noção de 'percepção' em Merleau-Ponty vai ter um significado mais filosófico e menos pragmático e que, por isto, carece de uma aplicabilidade mais concreta. De fato, Merleau-Ponty é muito rico em detalhar aspectos daquilo que chama "fenômeno de percepção incorporada", como uma referência fenomenológica (e epistemológica) para determinados fenômenos que poderíamos bem caracterizar utilizando as nomenclaturas mais recentes como pertencendo ao domínio biopsicológico, neurocognitivo, psicanalítico, neurolinguístico, enfim, a uma plêiade de denominações científicas que tem relação direta com a fenomenologia biológica, psicológica e psíquica humanas.

Entretanto, embora Merleau-Ponty discorra com uma primazia e riqueza conceitual aquilo que considera como o fenômeno perceptivo 'corporal-psíquico' (esta denominação é nossa e não do autor), não encontramos naquele autor referências mais pragmáticas exatas do *savoir-faire* destes fenômenos (fenomenologia da percepção), principalmente considerando que o indivíduo participa, se constitui, se relaciona, influencia e é influenciado por um meio social, aspectos que não são aprofundados por ele.

Por esta razão é que isto vai aparecer de maneira indireta, mas muito significativamente no próprio Sigmund Freud e, fundamentalmente em Jean Piaget, através da noção de 'esquema', conceito que Vergnaud irá aprofundar e estender toda sua interpretação do processo de conceitualização, mas considerando não apenas o indivíduo em si mesmo, mas sim o indivíduo participando simultaneamente como agente e paciente do meio social.

O que parece faltar tanto em Rousseau, quanto em Pestalozzi e em Merleau-Ponty, mas não em Piaget e muito menos em Vergnaud, é precisamente a correlação entre o mecanismo e a fenomenologia do processo perceptivo e a

conceitualização do mundo real através da produção de sentido que o indivíduo empreende para operar neste mesmo mundo.

Utilizando esta ideia para as pessoas com deficiência, o problema torna-se ainda maior, porque para cada tipo de deficiência poderíamos encontrar características, necessidades, maneiras próprias de se perceber, de se conceitualizar e de representar um mesmo mundo real.

1.3 Preâmbulo sobre a conceitualização: o conceito de normalização reinterpretado segundo a concepção de Gérard Vergnaud

O problema todo se inicia quando temos pessoas com algum tipo de deficiência e que, por esta razão, poderíamos pensar se seria esta pessoa ou então o meio social que deveria se adequar para satisfazer as necessidades de tais pessoas. Então, os fenômenos ‘percepção’, ‘intuição’ ou ‘cognição incorporada’, careceriam de uma interpretação própria para levar em consideração a pessoa deficiente (física, intelectual, visual, auditiva).

Sobre esta questão, Vygotsky a apresentou muito bem no livro “*Fundamentos de defectologia: el niño ciego*” (VYGOTSKY, 1997). Basicamente, Vygotsky considera que a percepção sobre o estado de cegueira somente é conhecida pelo indivíduo cego exatamente porque existe a interação social e, assim, o indivíduo acaba por se deparar com situações onde o sentido da visão é necessário. Desta maneira, se fosse possível um mundo somente de cegos, provavelmente ninguém teria a noção sobre o estado da cegueira.

Portanto, é de se esperar que seja a relação social que determina, direciona ou conduz um tipo de análise, um tipo de percepção que o indivíduo forma e que, através do qual, é capaz de interagir com este mundo.

Como ter uma interpretação, uma teoria ou uma abordagem que parta do fenômeno da percepção, e até de materiais proposicionais anteriores a percepção, como as proposições de natureza implícita (MOREIRA, 2002), que

vá em direção à elaboração conceitual e, finalmente, chegue até aos processos de elaboração ou de representação da realidade quando temos pessoas não videntes?

Em síntese: como ter um instrumento que expresse a relação significado/significante entre as situações vivenciais do mundo e a conceitualização sobre o real, considerando o fato de que existem pessoas não videntes, e que estas pessoas necessitam constituir um sentido e, além disto, de interagirem com o mundo?

Isto remete ao conceito chamado ‘normalização’, ou ‘normatização’, conceito este bastante explorado por diversos autores que tratam especificamente da questão inclusiva. Dentro dos vários conceitos que foram compondo a história da luta pelos direitos da pessoa com deficiência, a nível internacional e nacional, provavelmente o conceito de normatização seja o mais importante e principal conceito, por intermédio do qual todos os outros conceitos são derivados, direta ou indiretamente.

O conceito de normalização, ou normatização refere-se diretamente ao modelo social daquilo que é considerado normal ou patológico, ou seja, doente ou saudável. Então, a título de exemplo, o que hoje em dia é considerado pelo Código Internacional de Doenças (CID) está completamente fundamentado nesta referência (médica e social) do que é normal e do que é patológico.

Em síntese, em termos das consequências práticas ou pragmáticas que este conceito possui, normalização refere-se a estratégias que seriam necessárias para que o indivíduo se adaptasse ao meio ambiente da qual ele participa com o intuito de se normatizar, de se normalizar em igualdade de condições aos indivíduos considerados “normais” (SASSAKI, 1999; MANTOAN, 2004).

Tal conceito foi provavelmente um dos conceitos mais debatidos nas últimas décadas, exatamente porque colocava no âmago da questão o papel que a sociedade possui em relação à pessoa com deficiência, qualquer que seja esta deficiência. Vejamos, por exemplo, a posição de Mendes (2006), em relação a normalização:

Além dos argumentos morais, existiram ainda fundamentos racionais das práticas integradoras, baseados nos seus benefícios tanto para os portadores de deficiências quanto para os colegas sem deficiências. Potenciais benefícios para alunos com deficiências seriam: participar de ambientes de aprendizagem mais desafiadores; ter mais oportunidades para observar e aprender com alunos mais competentes; viver em contextos mais normalizantes e realistas para promover aprendizagens significativas; e ambientes sociais mais facilitadores e responsivos. Benefícios potenciais para os colegas sem deficiências seriam: a possibilidade de ensiná-los a aceitar as diferenças nas formas como as pessoas nascem crescem e se desenvolvem, e promover neles atitudes de aceitação das próprias potencialidades e limitações (MENDES, 2006, p.388).

Este posicionamento ainda está totalmente arraigado por vários conceitos que já foram completamente suprimidos, como 'práticas integradoras', 'contextos mais normalizantes', 'aceitar as diferenças' e 'promover neles atitudes de aceitação das próprias potencialidades e limitações'.

Na verdade, a ideia de 'práticas integradoras' pressupõem, ainda, que o indivíduo com necessidades educacionais especiais tenha que se integrar aos demais indivíduos, enquanto que a noção atual de inclusão vai dizer que será o meio ambiente, composto também por pessoas, é que deve se adequar àquelas pessoas. Então, não se trata de uma questão de integração. Também, parece que 'aceitar as diferenças' não implica na sua compreensão, nem tampouco na mudança de atitude frente à estas diferenças.

Sobre a questão dos 'contextos normalizantes, que é decorrente do conceito de 'normatividade', iremos nos aprofundar um pouco mais por se tratar de uma noção que necessita maior esclarecimento.

Naquilo que se refere ao Ensino de Ciências no Brasil, poucos estudiosos da área conhecem o fato de que a noção de 'conceitualização' para Gérard Vergnaud surge exatamente através de uma ideia que é completamente idêntica ao conceito de normalização, e que, também, aproxima-se dos conceitos da educação dos sentidos em Rousseau e da educação intuitiva em Pestalozzi.

Neste sentido, apresentamos a contribuição inédita e absolutamente singular que Michel Recopé traz quando aprofunda a temática da conceitualização segundo Vergnaud, trazendo a tona uma faceta até antes completamente inexplorada pela maioria dos autores diretamente ligados com a pesquisa em Educação para a Ciência, ou também no campo da Didática das Ciências e, mais especificamente, na Didática da Matemática.

Para fazer isto, Recopé estabelece um paralelo entre a noção de conceitualização em Vergnaud e o conceito de 'normatividade vital' (***normativité vitale***) segundo o bachelardiano Georges Canguilhem.

Portanto, para Recopé:

Segundo nossa tradução:

As normas e tendências surgem indissociáveis das conceitualizações operadas. A normatividade vital reside, em efeito, na produção de um meio-ambiente de vida singular, quer dizer, um processo de normalização do meio-ambiente: o desenvolvimento de um ser vivo é sempre uma atividade pela qual ele atualiza seus valores e satisfaz assim suas próprias normas (RECOPE, 2007, p. 143).

A normatividade vital está completamente vinculada à ideia daquilo que é considerado 'normal' e daquilo que é classificado como 'patológico'. Tal diferenciação, segundo Safatle (2011), é essencial na concepção da escola filosófica francesa da qual Canguilhem é um de seus maiores expoentes e que, direta ou indiretamente, Gérard Vergnaud se vincula através de sua teoria de fundo sócio-construtivista, cognitivista, desenvolvimentista.

Para este mesmo autor, a concepção desta história das ciências, da qual também é compartilhada por Bachelard, Cavailles e Koyré, traz um tipo de epistemologia completamente diferenciada onde *"a evolução do pensamento científico...estava...fundamentalmente ligada à evolução de ideias transcendentais, filosóficas, metafísicas, religiosas (ibidem, p.15)"*. Isto, de certa maneira, se contrapõe a concepções estritas da ciência como, por exemplo, a epistemologia de René Descartes.

De fato, fica muito bem claro que esta 'normatividade vital' (algo semelhante em relação a 'normalização') em Canguilhem possui uma teleologia do (meio) ambiente para o indivíduo. Quer dizer, serão as necessidades impostas segundo as condições particulares, próprias e singulares da pessoa humana, que irão determinar as devidas adequações que deverão ser procedidas no meio. Isto parece nos interessar em relação ao indivíduo com qualquer tipo de deficiência (inclusive a visual). E esta mesma ideia é absolutamente paralela com a noção de conceitualização em Vergnaud, já que a conceitualização para este autor terá e será algo muito mais complexo do que apenas a conceitualização dita racional, ou a conceitualização que considera apenas e tão somente os processos de aquisição dos conceitos considerados 'científicos' ou acadêmicos. Esta interpretação parece que se contrapõe a interpretação onde a norma da Ciência é que dita o padrão de 'certo' e 'errado', através dos conceitos científicos, fazendo com que Vergnaud rompa com esta concepção ao colocar que o processo de conceitualização no indivíduo é um fenômeno que leva em consideração domínios mais complexos do indivíduo, e não apenas aqueles de natureza dita 'racional'.

Retornado a Canguilhem, prosseguimos:

“O valor é construído como um apoio ao desenvolvimento da vida e, reciprocamente, uma reação de ampliação daquilo que ele se nutre: viver, é preferir e excluir” (ibidem, tradução do autor).

Isto implica não apenas numa posição dada filosoficamente, mas, sobretudo, de maneira absolutamente prática e pragmática, mas no sentido de uma escolha consciente feita pelos indivíduos, em benefício deles próprios. Portanto, é uma questão de valor, no sentido em que 'valor' é um atributo pessoal e socialmente construído. Observemos que com isto vamos transpondo um campo de ideias aparentemente filosóficas para um tipo de pragmática com uma ordem que parte de um possível 'benefício' do social para o pessoal.

Recopé vai mencionar em definitivo a noção que Canguilhem possui sobre a relação entre a percepção e o mundo pragmático :

Nossa tradução :

O meio próprio do Homem é o mundo de sua percepção, quer dizer, o campo de sua experiência pragmática, onde suas ações, orientadas e reguladas pelos valores imanentes às tendências, provém de objetos qualificados, situando-os uns em relação aos outros e todos em relação a ele mesmo (ibidem, apud Canguilhem, 2003, p.195).

Transpondo esta ideia para a educação inclusiva, fica bastante evidente que não basta apenas o perceber em si mesmo, ou seja, é insuficiente que ao indivíduo seja oportunizada a percepção do mundo, dos objetos, das coisas que compõem um meio com a mera finalidade de que este indivíduo 'anormal' (com deficiência, com alguma patologia) se ajuste ou se adeque a este mundo. É necessário também que a pessoa consiga agir sobre este mundo. E mais ainda, a percepção do mundo não pode ser construída a partir daquilo que é considerado 'normal' para aquilo que subsequentemente é socialmente ou cientificamente imposto como sendo 'anormal'. Antes, porém, será o mundo que deverá se modificar.

Como lembra Canguilhem, semanticamente, o patológico é designado a partir do normal, daí porque ele será descrito como distúrbio, transtorno, déficit ou excesso que acontece no nível de funções e órgãos" (SAFATLE, 2011, p.16).

Então, talvez possamos modificar a ordem com a qual tal pressuposição está construída, já que esta direção foi construída de maneira completamente arbitrária. De fato:

Mais importante, ele demonstra como uma certa forma de conceber a distinção entre normal e patológico está claramente ancorada na reconstrução da experiência do corpo, constituição de uma tecnologia de normatização do corpo a partir de uma estrutura valorativa que guia a racionalidade clínica. Toda uma clínica poderá se orientar a partir daí baseando-se nos postulados de uma anatomia patológica, ou seja, uma anatomia fascinada pela procura da lesão de órgãos e tecidos como causa explicativa para o desvio da conduta (ibidem, p.16 e 17).

A resposta é óbvia e direta: “Isto nos deixa com um problema maior: se a noção clássica de partilha entre normal e patológico é resultado de uma norma que tem a função de valor, então é possível pensar outro modo de partilha entre normal e patológico?” (ibidem, p.17).

Vejam os o que o próprio Canguilhem tem a nos dizer sobre o normal e o patológico:

On peut donc conclure ici que le terme de 'normal' n'a aucun sens proprement absolu ou essentiel. Nous avons proposé, dans un travail antérieur¹¹ que ni le vivant, ni le milieu ne peuvent être dits normaux si on les considère séparément, mais seulement dans leur relation. C'est ainsi seulement qu'on peut conserver un fil conducteur sans la possession duquel on devra tenir nécessairement pour anormal - c'est-à-dire, croit-on, pathologique - tout individu anormal (porteur d'anomalies), c'est-à-dire aberrant par rapport à un type spécifique statistiquement défini. Dans la mesure où le vivant anormal se révélera ultérieurement un mutant d'abord toléré, puis envahissant, l'exception deviendra la règle au sens statistique du mot. Mais au moment où l'invention biologique fait figure d'exception par rapport à la norme statistique du jour, il faut bien qu'elle soit en un autre sens normale, bien que méconnue comme telle, sans quoi on aboutirait à ce contresens biologique que le pathologique pourrait engendrer le normal par reproduction (CANGUILHEM, 1952, p. 202-203).

Podemos concluir aqui que o termo ‘normal’ não possui nenhum sentido propriamente absoluto ou essencial. Propomos, num trabalho anterior, que nem o vivante, nem o meio podem ser ditos normais se os consideramos separadamente, mas somente em relação entre eles. Somente assim que podemos conservar um fio condutor sem a possessão de quem deveremos considerar necessariamente como sendo anormal - quer dizer, acreditamos, patológico – todo indivíduo anormal (portador de uma anormalidade), quer dizer, aberrante em relação à um tipo específico estatisticamente definido. Na medida em que o vivente anormal se revelará posteriormente como um mutante inicialmente tolerado, depois invasivo, e a exceção torna-se-a a regra, no sentido estatístico da palavra. Mas no momento onde a invenção biológica figura como uma exceção em relação à norma estatística corrente, será conveniente que ela seja normal em outro sentido, embora não reconhecido como tal, o que conduziria a uma interpretação incorreta de que aquilo que é patológico poderia produzir o que é normal, por reprodução (tradução do autor).

¹¹ Essai sur quelques problèmes concernant le normal et le pathologique (Thèse de médecine, Strasbourg, 1943).

Em outras palavras, o que é anormal é tido como tal em comparação estatística àquilo que é normal. Entretanto, se tivéssemos um anormal cuja ocorrência estatística fosse mais significativa em relação a outro padrão, este 'anormal' seria considerado 'normal'. Contudo, outra interpretação deve ser dada quando determinada condição biológica é considerada anormal (por exemplo, uma condição genética adquirida) em relação àquilo que é considerado biologicamente normal. Neste caso, a interpretação que deveria ser dada ao parâmetro 'anormal' é diferenciada, além de que, neste caso, tal anormalidade não poderia ser considerada do ponto de vista biológico como um parâmetro para aquilo que seria realmente o 'normal'.

Na verdade, Canguilhem diferencia aquilo que é normal em dois tipos muito diferentes, o *"normal prototípico"*, e o *"normal arquetípico"*, e nisto reside exatamente uma interpretação tipicamente humana. Tanto isto é verdade, que uma vez mais releva que este posicionamento é puramente interpretativo: *"Si ce qui est normal ici peut être pathologique là, il est tentant de conclure qu'il n'y a pas de frontière entre le normal et de pathologique"* (ibidem, p. 207-208). É bem explícito ao dizer: "não existe fronteira entre o normal e o patológico".

A diferenciação entre o que é normal e patológico pode ser algo determinado de maneira qualitativa. A chamada 'doença' pode ser uma condição temporária, onde o médico deveria ter a lucidez de interpretar isto de maneira que o patológico não fosse considerado sinônimo de anormal: *"Nous ne pouvons pas dire que le concept de "pathologique" soit le contradictoire logique du concept de "normal", car la vie à l'état pathologique n'est pas absence de normes présence d'autres normes"* (ibidem, p.209).

Como síntese, Canguilhem vai dizer que a biologia e a medicina possuem importante papel antropológico, mas que esta antropologia não deve conduzir a uma moral, onde o conceito de "normal" figurasse como um conceito normativo com uma característica essencialmente filosófica (ibidem, p.212).

Retomando o artigo de Recopé, este vai sustentar o ponto de vista de Canguilhem (com o objetivo final de justificar a noção de conceitualização em Vergnaud) com base em outros autores, como o próprio Piaget, para o qual deveremos ter "a primazia das categorias teleológicas sobre as categorias

gnosiológicas” [*la primauté des catégories téléonomiques sur les catégories gnoséologiques*] (*apud* DUCRET, 1992, p.216).

Entretanto, convém dizer que devemos ficar atentos ao fato de que considerável parcela da ‘teleologia piagetiana’ se associa com a lógica formal (BIDEAUD et al., 2004, p. 42-43). Contudo, a teleologia e a conceitualização em Vergnaud não pressupõe, nem a priori, nem estritamente, a exiguidade da lógica como sustentação de validade (TROGNON, 2007).

Em síntese, o que está em evidência aqui é o fato de que a noção de conceitualização de Vergnaud aplicada ao contexto de um ambiente considerado inclusivo deve possuir como premissa as seguintes ideias:

1º: A satisfação racional das necessidades humanas deve ser a base de orientação do viver social;

2º: Entretanto, este pragmatismo não é realizado a revelia e sim segundo normas de condutas sociais;

3º: Para isto, serão as próprias necessidades e condições biológicas (psicológicas, psíquicas, etc.) dos indivíduos sociais a desenvolverem um conjunto de procedimentos que irão gerenciar o próprio meio. Em outras palavras, a construção de uma conceitualização é algo factível, necessário e legítimo de uma sociedade que se pretenda racional. Contudo, esta normatização deve partir do pressuposto que aquilo que se denomina ‘patológico’ é, antes de tudo, uma mera convenção social e que, portanto, deve ser superada para uma sociedade igualitária.

Em resumo, a ideia de normalização se vincula ao processo de conceitualização proposto por Vergnaud, não sendo algo próprio ou pertencendo apenas ao indivíduo em si mesmo, ou ao indivíduo em relação aos objetos, mas, sobretudo, como um processo que acontece num meio social e que é voltado a atender as necessidades e aos interesses racionais das pessoas. A conceitualização será, portanto, algo característico de cada indivíduo, não em relação estrita e rígida àquilo que a Ciência dita como sendo os conceitos científicos, mas, sobretudo, aquilo que o indivíduo é capaz de

construir e de reconstruir. É fundada, portanto, numa epistemologia histórica com base na referência que parte do social chegando para o individual.

Convém reforçarmos que tal aspecto da Teoria dos Campos Conceituais não foi suficientemente explorado por outros autores que estudaram profundamente a obra de Gérard Vergnaud como, por exemplo, Moreira (2002).

Revelar e relevar esta particularidade é valorizar um dos pilares da Teoria dos Campos Conceituais (TCC) que talvez não esteja muito evidente para grande maioria dos pesquisadores que trabalharam ou trabalham com tal teoria, já que o enfoque normalmente adotado pelos pesquisadores em relação a esta teoria volta-se apenas ao aspecto da constituição dos conceitos.

1.4 – Conceitualização e o papel da Classificação Internacional de Funcionalidade

Como estamos tratando da formação de conceitos (conceitualização) considerando pessoas com necessidades educacionais especiais, que podem ser, como no nosso caso, indivíduos com deficiência visual, devemos levar em consideração o fato de que tais pessoas apresentam algum tipo de restrição em algumas de suas ações no mundo, decorrência direta ou indireta da deficiência.

Nestes termos, esta discussão precedente é condizente com a abordagem adotada pela “Classificação Internacional da Funcionalidade¹²” (CIF), que se diferencia (mas é complementar) da conhecida CID-10, que é a “Classificação Internacional de Doenças, Décima Revisão”. Segundo o documento da Organização Mundial da Saúde que define a CIF:

O objetivo geral da classificação é proporcionar uma linguagem unificada e padronizada assim como uma estrutura de trabalho para a descrição da saúde e de estados relacionados com a saúde (OMS, 2004, p.7).

¹² O nome completo traduzido é “Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde”.

O grande avanço que a CIF traz é fazer uma leitura sobre a condição de saúde da pessoa através daquilo que a mesma é capaz (ou incapaz) de realizar. Quer dizer, sobrevaloriza-se o aspecto 'saúde', ao invés da 'doença'. Mas isto se dá não através de uma classificação sobre a pessoa em si mesma, mas sim “descreve a situação de cada pessoa dentro de uma gama de domínios de saúde ou relacionados com a saúde” (ibidem, p.12).

Como exemplo bem claro disto, o texto oferece um ótimo exemplo:

Duas pessoas com a mesma doença podem ter níveis diferentes de funcionamento, e duas pessoas com o mesmo nível de funcionamento não tem necessariamente a mesma condição de saúde. Assim, a utilização conjunta aumenta a qualidade dos dados para fins clínicos. A utilização da CIF não deve substituir os procedimentos normais de diagnóstico. Em outros contextos, a CIF pode ser utilizada sozinha (OMS, 2004, p.8).

Em essência, a CIF desconstrói o conceito de normatização (ou normalização), justamente porque sob esta óptica o indivíduo não é analisado por sua deficiência e, conseqüentemente, por aquilo que ela deveria executar, mas sim por todo o conjunto de atividades que ela pode, consegue (ou não) efetuar.

Nesta classificação, **deficiência** é

(...) é uma perda ou anormalidade de uma estrutura do corpo ou de uma função fisiológica (incluindo funções mentais). Na CIF, o termo anormalidade refere-se estritamente a uma variação significativa das normas estatisticamente estabelecidas (i.e. como um desvio de uma média na população obtida usando normas padronizadas de medida) e deve ser utilizado apenas neste sentido (ibidem, p.187).

Mas vai além da deficiência, definindo a atividade, limitações da atividade, participação e restrições na participação como sendo, respectivamente:

Atividade é a execução de uma tarefa ou ação por um indivíduo. Ela representa a perspectiva individual da funcionalidade. **Limitações da atividade** são dificuldades que um indivíduo pode ter na execução das atividades. Uma limitação da atividade pode variar de um desvio leve a grave em termos da quantidade

ou da qualidade na execução da atividade comparada com a maneira ou a extensão esperada em pessoas sem essa condição de saúde.

Participação é o envolvimento de um indivíduo numa situação da vida real. Ela representa a perspectiva social da funcionalidade.

Restrições na participação são problemas que um indivíduo pode enfrentar quando está envolvido em situações da vida real. A presença da restrição de participação é determinada pela comparação entre a participação individual com aquela esperada de um indivíduo sem deficiência naquela cultura ou sociedade (ibidem, p.187).

Engana-se pensarmos que no conceito de ‘restrições na participação’ estaria embutido uma forma disfarçada de ‘normalização’, o que não é verdade. Isto porque, em seu conjunto, a CIF possui uma série de proposições que sustentam a tese de que é o meio que deve se adaptar à pessoa, e não o contrário. Sobre isto, os (construtos) ‘Facilitadores’ “podem impedir que uma deficiência ou limitação da atividade se transforme numa restrição de participação, já que o desempenho real de uma ação é melhorado, apesar do problema da pessoa relacionado com a capacidade (ibidem, p.187)”. Neste construto ‘Facilitadores’ está presente também a atitude (positiva) das pessoas em relação à incapacidade, bem como “a ausência de um fator também pode ser um facilitador, por exemplo, a ausência de estigma ou de atitudes negativas (ibidem)”.

Nestes casos, fala-se em ‘Barreiras’, que é tudo aquilo que limita a funcionalidade e provoca incapacidade. Por outro lado, a ‘Capacidade’

(...) é um constructo que indica, como qualificador, o nível máximo possível de funcionalidade que uma pessoa pode atingir, num dado momento, em algum dos domínios incluídos em Atividades e Participação. A capacidade é medida num ambiente uniforme ou padrão refletindo assim a capacidade do indivíduo ajustada para o ambiente. O componente dos Fatores Ambientais pode ser utilizado para descrever as características deste ambiente uniforme ou padrão (ibidem).

Notemos que a referência é clara em relação à adequação do ambiente a pessoa, sendo recorrente e tendo como consequência influência direta no ‘Desempenho’, que aquilo “que os indivíduos fazem no seu ambiente habitual

incluindo assim o aspecto do envolvimento de uma pessoa nas situações da vida. O ambiente habitual também é descrito através do componente Fatores Ambientais (ibidem)”.

A título de exemplo, um dos sujeitos desta pesquisa sofreu um acidente vascular cerebral (AVC) que, como consequência, trouxe uma limitação em relação ao movimento das mãos, além da diminuição da acuidade visual, da fala e dos movimentos nos membros inferiores. Assim, aplicando o CID, esta pessoa estaria na categoria I64, que é “Acidente vascular cerebral, não especificado como hemorrágico ou isquêmico” (CID, 1998, p.103), acompanhado ainda de uma “Paraplegia não especificada-G.82.2” (ibidem, p.84), e também a “Visão subnormal de ambos os olhos- H54.2” (ibidem, p.98). Entretanto, apesar da grande referência médica aos problemas de saúde em si mesmo, a categorização da CID não se volta a outras informações mais detalhadas sobre a condição da pessoa, que abrangeria também aspectos de sua mobilidade, comunicação, execução de vários tipos de tarefas, participação em ambientes sociais, etc.

Por outro lado, a CIF traz vários níveis de categorização dentro daquilo que se compreende como sendo o contexto da saúde ou relacionado a esta, que são:

Funções do corpo são as funções fisiológicas dos sistemas orgânicos (incluindo as funções psicológicas).

Estruturas do corpo são as partes anatómicas do corpo, tais como, órgãos, membros e seus componentes.

Deficiências são problemas nas funções ou nas estruturas do corpo, tais como, um desvio importante ou uma perda.

Atividade é a execução de uma tarefa ou ação por um indivíduo.

Participação é o envolvimento de um indivíduo numa situação da vida real.

Limitações da atividade são dificuldades que um indivíduo pode ter na execução de atividades.

Restrições na participação são problemas que um indivíduo pode enfrentar quando está envolvido em situações da vida real

Fatores ambientais constituem o ambiente físico, social e atitudinal em que as pessoas vivem e conduzem sua vida. (OMS, 2004, p. 13).

Como a categorização da CIF é muito extensa e complexa, cada um destes níveis e respectivos subníveis são codificados por um nome, seguido de uma letra indicativa da categoria, e por um número sequencial e um número que especifica a gravidade da situação. Assim, para as Funções do Corpo, a letra indicativa é o '**b**', para as Estruturas do corpo temos a letra indicativa '**s**', para as Atividades e Participação, a letra rótulo é o '**d**'. Finalmente, a letra '**e**' nomeia a categoria Fatores Ambientais.

Portanto, para a pessoa citada, mencionando alguns destes itens, constataríamos que a mesma possui as seguintes condições de saúde:

- **Funções do corpo:** comprometimento da “Função tátil” (b265) onde inclui as “funções sensoriais que permitem sentir superfícies e sua textura ou qualidade. Inclui: funções táteis, sensação tátil; deficiências, tais como, entorpecimento, anestesia, formigueiro, parestesia e hiperestesia (ibidem, p.65).” “Funções da Visão” (b210), “Funções da acuidade visual” (b2100), que se refere a “funções visuais que permitem sentir a forma e o contorno, tanto binocular como monocular, para a visão ao longe e ao perto” (ibidem, p.61), e outras condições como as “Funções do campo visual” (b2101) e as “Qualidade da visão” (b2102).
- **Estruturas do corpo:** Estrutura do globo ocular (s220); Estruturas relacionadas com a voz e a fala, especificadas (s398); Estrutura da mão, outra especificada (s7308); Estruturas relacionadas com o movimento, outras especificadas (s798);
- **Fatores ambientais:** uma limitação em relação a “Utilização de movimentos finos da mão” (código d440), que inclui Pegar (código d4400), Agarrar (d4401), Manipular (d4402) e soltar (d4403); comprometimento grave em “Escrever mensagens (d345); dificuldade moderada na “Conversação (d350); em relação a item Mobilidade, aquela pessoa possui uma dificuldade grave em “Mudar a posição básica do corpo (d410)”, que é “adotar e sair de uma posição corporal e mover-se de um local para outro, como por exemplo, levantar-se de uma cadeira para se deitar na cama, e adotar e sair de posições de ajoelhado ou agachado” (OMS, 2004, p.124).

Portanto, percebe-se que esta classificação é muito mais detalhada e próxima da realidade da vida cotidiana, procurando perfazer se não todas, mas a maioria das situações decorrentes do estado de saúde de qualquer indivíduo.

Por se preocupar essencialmente com aquilo que efetivamente o meio social deve fazer para atender às necessidades do indivíduo, esta abordagem sobre a CIF é condizente com o enfoque da Ergonomia e da Ergonomia Cognitiva, temas que trataremos no Capítulo 4.

Posteriormente, no Capítulo 5 retomaremos a Classificação Internacional de Funcionalidade para descrevermos na sua totalidade a condição de saúde dos sujeitos desta pesquisa.

Com este percurso, partimos da noção sobre o que seria uma didática da percepção em Rousseau e da intuição em Pestalozzi, passando pela elaboração filosófica da fenomenologia da percepção em Merleau-Ponty para chegarmos finalmente a uma noção aplicada, prática, pragmática, pedagógica e finalmente didática sobre a ‘conceitualização’ em Gérard Vergnaud, estabelecendo assim um elo entre o processo de conceitualização e a ideia de normalização (na verdade, suplantando a noção de normalização) aplicável a questão da pessoa com deficiência, caminhando em paralelo com a concepção universal adotada pela Classificação Internacional de Funcionalidade.

Todo este cenário foi desenvolvido como um ponto de partida para aprofundarmos sobre a Teoria dos Campos Conceituais e correlaciona-la com a questão da inclusão de pessoas deficientes visuais.

Antes, porém, passaremos as justificativas, características, possibilidades e limitações envolvendo a Teoria dos Campos Conceituais dentro do âmbito da pesquisa em Educação para a Ciência, principalmente no Brasil.

1.5 Esclarecimentos e justificativas concernentes ao uso da Teoria dos Campos Conceituais como referencial teórico

A Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud será nosso principal aporte epistemológico de referencial teórico para as considerações envolvendo o aspecto epistemológico, didático e metodológico educacional para esta

pesquisa, muito embora sua elaboração enquanto teoria não tenha sido direcionada para o aspecto epistemológico, e sim com o sentido de abordar a questão psicológica desenvolvimentista do indivíduo humano.

Antes de apresentá-la, é necessário dizer que nossa opção por esta teoria se justifica pelos seguintes motivos:

1º: É uma teoria de fundo psicológico cognitivista desenvolvimentista: ou seja, possui uma fundamentação cujo objetivo primeiro é a observação, análise, síntese e possível ação sobre o desenvolvimento cognitivo da inteligência humana. Entretanto, diferentemente da Epistemologia Genética de Piaget, a Teoria dos Campos Conceituais não foi elaborada por seu idealizador como sendo uma abordagem com finalidades epistemológicas. Apesar disto, não se exclui absolutamente que a teoria seja utilizada para se proceder um estudo de natureza epistemológica (VERGNAUD, 1998, 1996, 1990);

2º: A consequente extensão em termos de aplicabilidade prática da teoria se dá exatamente considerando o fato de que o desenvolvimento cognitivo ocorre através de distintas situações (que serão posteriormente definidas constituindo 'situações didáticas') através das quais é possível observar e analisar o processo de elaboração da constituição cognitiva do indivíduo;

3º: Não utiliza como estratégia ou fonte primária de análise do material cognitivo humano estritamente a linguagem falada (a priori, não fazendo uso de técnicas como análise do discurso): devido ao fato de que a Teoria dos Campos Conceituais considera como elementos constitutivos do processo de conceitualização representações como gestos (linguagem não verbal¹³), representações pictóricas (desenhos, mapas, esquemas gráficos, etc.), as expressões cognitivo-emocionais, sem fazer apelo estrito para a interpretação do discurso do indivíduo, embora não o ignore, muito pelo contrário, a linguagem surge precisamente como um

¹³ Na verdade, a palavra "linguagem" engloba a complexidade destes elementos: linguagem não-verbal (gestos motores, expressões faciais, emoções, etc.), representações gráficas, pictóricas, etc.

elemento constitutivo da conceitualização e da conseqüente representação do real;

4º: Não se apoia fundamentalmente nas estruturas lógico-formais: a este respeito diferencia-se da abordagem piagetiana, para a qual a cognição humana se estruturava a partir de estruturas lógico-formais, tal qual a descrição das leis, dos axiomas e dos teoremas matemáticos. Neste sentido, a Teoria dos Campos Conceituais considerará o desenvolvimento da inteligência cognitiva a partir da constituição das estruturas proposicionais. As proposições que um indivíduo elabora podem constituir, como veremos, material para o processo de conceitualização através mesmo da elaboração dos chamados 'esquemas', sem estarem fundamentadas a priori na lógica formal;

5º: É uma teoria com base filosófica e epistemológica semiótica: isto implica dizer que a construção heurística e conseqüentemente a estruturação epistemológica da teoria considera aquilo que chamamos de 'material simbólico' como matéria-prima para a constituição dos fenômenos da cognição e da inteligência humanas. Este material simbólico, sustentado pela abordagem semiótica, faz conferir à relação objeto-significante-significado um conteúdo de análise pertinente mesmo se o chamado 'objeto' for de natureza essencialmente abstrata como, por exemplo, os próprios constructos cognitivos que a psicologia do desenvolvimento utiliza, tais como os conceitos (abstratos) de: estrutura, esquema, zona de desenvolvimento proximal e outros. Estes e outros constructos cognitivos que foram utilizados tanto por Piaget, por Vergnaud, Jerome Brunner, Vygotsky, Ausubel e tantos outros, acabaram ganhando status de entidades representativas de estados emocionais, cognitivos e, principalmente, de fundo biológico e fisiológico. Neste sentido, o próprio Piaget (como muitos desconhecem) era biólogo de formação, e não psicólogo, assim como Vygotsky também não era psicólogo e sim formado em direito e filologia, embora ambos (apenas para ficarmos nestes dois exemplos) tivessem se enveredado pelo campo da psicologia. E ainda a este respeito, convém também não esquecermos que nem Vergnaud, nem Piaget e tampouco Vygotsky

desenvolveram suas abordagens com o objetivo de se constituir teorias pedagógicas.

Entretanto, apesar da escolha da Teoria dos Campos Conceituais como nosso referencial teórico, temos também que tecer algumas considerações preliminares a respeito de alguns pontos que abordaremos neste trabalho e que não fazem parte diretamente desta teoria, e que nem mesmo são consideradas por Vergnaud como sendo aspectos significativamente relevantes para serem tratados ou abordados por sua teoria. Assinalaremos resumidamente estes pontos, e à medida que os capítulos se sucederem cada um destes aspectos serão devidamente justificados e implementados com a respectiva abordagem teórica que as sustentam. São eles:

- a) A abordagem cognitivista experimental moderna: notadamente os procedimentos e técnicas de imagieria mental, como fMRI (ressonância funcional magnética), petScan e até mesmo métodos como o eletroencefalograma (EEG) e atividade elétrica dos ritmos cerebrais, que será utilizado neste trabalho (ou mesmo por análises similares empreendidas por outros pesquisadores). No nosso caso, como explicaremos nos capítulos seguintes, a abordagem sobre estas técnicas levam em consideração a constituição e a fundamentação epistemológica como sendo a base tanto para a interpretação quanto para a utilização dos dados neurocognitivos, fazendo assim que tais informações não se constituam um material empírico destituído de correlação com o aspecto mais voltado ao comportamento ou à análise desenvolvimentista cognitivista, tal como é empreendida por Vergnaud. Consequentemente, autores importantes que trabalham com um enfoque cognitivista possuem um enfoque próprio para a Neurociência Cognitiva, mas com uma interpretação e utilização diferenciada da Teoria dos Campos Conceituais. Neste sentido, citemos nomes como Jean-Pierre Changeux, Stanislas Dehaene, Miguel Nicolelis, Antonio Damásio, Álvaro Pascual-Leone, Vilayanur S. Ramachandran, Giacomo Rizzolatti e até mesmo o prêmio Nobel de Medicina Eric Kandel, para

ficarmos apenas em alguns dos principais expoentes da neurociência mundial;

- b) O estudo sobre o fenômeno implicado naquilo que é chamado de ‘imagens mentais’: assim como fez Jean Piaget, diferentemente de Vergnaud, consideramos absolutamente pertinente analisar com detalhe o fenômeno que implica na formação das imagens mentais para se compreender o processo da conceitualização. A este respeito Vergnaud não considera necessário tal aprofundamento, justamente porque em sua teoria a constituição do processo de conceitualização (que também se utiliza do material provindo de imagens mentais), emprega as estruturas dos chamados ‘esquemas’ e consequentes ‘invariantes operatórios’ (conceitos e teoremas-em-ação), não necessitando, segundo Vergnaud, fazer apelo ao conceito de ‘imagens mentais’.

Uma vez tendo apresentado as devidas justificativas pertinentes para sustentar nossa opção teórica, aprofundaremos na sequência tal fundamentação.

1.6 A origem semiótica da Teoria dos Campos Conceituais

Ainda que Gérard Vergnaud não tenha escrito isto declaradamente, a Teoria dos Campos Conceituais possui forte base na semiótica de Charles Peirce (Peirce, 2000), para o qual todos os fenômenos considerados naturais podem ser expressos pela seguinte tríade:

Nível da primeiridade - Objeto – signo (Referente): neste nível determinado fenômeno ou objeto é tido em sua natureza mais elementar possível, sem ter sido interpretado. É o objeto (real, físico, material, ou abstrato) em sua manifestação destituída de interpretação.

Nível da secundidade - Interpretação (Significado): neste nível o objeto é interpretado, passando assim a apresentar distintas possibilidades enquanto significado, já que dependerá de como os sujeitos interpretam aquele fenômeno ou objeto.

Nível da terceiridade - Representação (Significante): quando o fenômeno ou objeto é interpretado passa agora a ser representado, e esta representação pode ser por diversas vias: pictórica, iconográfica, verbal, gestual, etc. A representação, entretanto, não é estática e pode conseqüentemente vir a se constituir enquanto outro objeto, no nível da primeiridade, dando origem assim a um novo ciclo primeiridade-secundidade-terceiridade. Esta característica de dinamicidade caracteriza essencialmente a concepção semiótica, conferindo então uma espécie de movimento (BOUYER, 2008).

Esta característica semiótica neste trabalho justifica-se precisamente porque os fenômenos de natureza didático-pedagógico (como o pensamento humano veiculado através da linguagem e de suas diversas representações) como também ocorre nas situações de ensino-aprendizagem, podem se dar dentro ou fora dos chamados espaços formais de ensino (DUVAL, 2009; SANTAELLA, 2005).

Convém mencionar que na semiótica aquilo que é considerado 'abstrato' (interpretado como não possuindo alguma materialidade física), possui um sentido de 'real'¹⁴. Em tal caso, na matemática, uma ideia, conceito ou teorema (objetos considerados 'abstratos') podem ser associados a um signo e, desta maneira, estarem relacionados a um significado e um significante (DUVAL, 2011 e 2009).

Não iremos aqui aprofundar em outras considerações teóricas ou filosóficas a respeito da semiótica de Peirce, mas apenas ressaltaremos que esta abordagem triádica desenvolvida por aquele autor foi utilizada explicitamente ou implicitamente por diversos outros autores, alguns dos quais mencionaram esta influência e outros simplesmente não fazem qualquer referência sobre a obra peirceana.

¹⁴ Estamos considerando isto que chamamos de 'real' como algo que inclui tanto as coisas consideradas abstratas quanto aquelas consideradas concretas.

Na grande área da didática das ciências, por exemplo, Raymond Duval, mais que o próprio Gérard Vergnaud, assume de uma maneira mais contundente a vertente semiótica, muito embora isto possa estar mais ou menos acentuado e devidamente adaptado à teoria que aquele pesquisador desenvolveu.

1.7 A Teoria dos Campos Conceituais e a Semiótica no Ensino de Ciências

A partir de uma influência piagetiana associada também a uma parte do pensamento de Vygotsky, Gérard Vergnaud traz a fundamentação semiótica para o campo da psicologia do desenvolvimento.

É conveniente e necessário deixar absolutamente claro que a abordagem desenvolvida por Vergnaud é psicológica, o que significa dizer que sua preocupação é com o aspecto do desenvolvimento da inteligência humana de acordo com o que a pessoa vai confrontando pela vida através das ações.

Entretanto, ao trazer esta intencionalidade psicológica sobre a compreensão do desenvolvimento da inteligência humana para o campo da didática escolar (inicialmente para a didática da Matemática), Vergnaud postula a tríade **Situação didática, Invariantes Operatórios e Representações** (VERGNAUD, 2009, 2002, 1990).

Para efeito de comparação com a abordagem semiótica de Peirce, construímos o Quadro 1.

Quadro 1 - Componentes semióticos da Teoria dos Campos Conceituais (VIVEIROS e CAMARGO, 2011).

Semiótica		
Primeiridade (Referente)	Secundidade (Significado)	Terceiridade (Significante)
		

Teoria dos Campos Conceituais		
Situação didática	Invariantes operatórios	Representações
É o fenômeno em si (físico, químico, biológico ou, ainda, de natureza matemática) ou uma determinada situação didática.	São os conceitos e teoremas-em-ação que fazem parte de determinado 'campo conceitual' relacionados aos fenômenos ou situações didáticas.	São as representações utilizadas para expressar os significados (linguagem natural, gráficos, diagramas) em relação aos conceitos e teoremas-em-ação.

Pois bem, para Vergnaud, a aprendizagem vai ocorrendo na medida em que a escola (através da elaboração curricular veiculada pelo professor) coloca o aluno frente a diferentes situações didáticas relacionadas a um conjunto de conceitos inter-relacionados, ao qual dá o nome de “**Campo Conceitual**”.

O Campo Conceitual é, portanto um conjunto de conceitos científicos que orbitam em torno de determinado fenômeno. Mas estes conceitos não estão nem são isolados, e sim devem surgir na forma de problemas que serão colocados para o aluno solucionar em distintas situações didáticas.

Assim, conforme o aluno é confrontado com estas situações e com os problemas distintos, de acordo a um mesmo Campo Conceitual, ele vai desenvolvendo ‘**esquemas**’ (*schémas*). Estes esquemas podem se dar através de gestos, de scripts¹⁵, mapas mentais, modelos mentais e outras estratégias conscientes ou não pelo indivíduo.

Neste ponto Vergnaud avança em relação a Piaget, já que este tratava da relação ‘sujeito-objeto’, e Vergnaud fala em relação “situação-esquema” (VIVEIROS, 2007; MOREIRA, 2002).

Segundo Vergnaud, nota-se aqui a influência do conceito de “zona de desenvolvimento proximal” de Vygotsky, já que a organização destes

¹⁵ Aqui e em várias partes do texto utilizaremos o conceito de “Scripts” com o mesmo significado utilizado por Johnson-Laird (1983) para descrever processos ou operações mentais organizadas.

esquemas pelo indivíduo segundo as diferentes situações vão se sucedendo a medida que os invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação) surgem **em ação**, ou seja, **em ato**, **em atividade**. Portanto, são as atividades, as ações, num sentido dinâmico e contínuo, que constituem o repertório conceitual do indivíduo, não importando a princípio se tais conceitos são idênticos ou não aos conceitos científicos. O que importa na verdade é exatamente a elaboração dos esquemas. Não existe para esta pesquisa a necessidade da intervenção da linguagem produzida neste processo, nem tão pouco a estrutura lógica formal, já que o indivíduo pode constituir suas próprias proposições sem a formulação da linguagem, como ocorre com os bebês.

Exemplificando, trazendo a ideia de Vergnaud de Campo Conceitual, de invariantes operatórios (significados) e de representações (significantes), na Física poderíamos ter um campo conceitual envolvendo o conceito de força.

Este conceito é muito amplo, e pode englobar, por exemplo, a força elétrica, a força de atrito, a força peso. Neste caso, a ideia seria trabalhar diversas situações didáticas onde o conceito de força estivesse presente. Assim, o aluno conseguiria apreender (e talvez aprender¹⁶) o conceito de força em contextos completamente diferentes, mas que, na essência, seriam completamente equivalentes. Nestes exemplos, os diversos conceitos de força são os **diferentes significados** que possuem a mesma denominação intitulada 'força', bem como as **distintas representações (significantes)** que podem ser utilizadas.

Em Matemática, temos leis na forma de 'Interpretante' (Significado): Comutatividade, Anticomutatividade, Associatividade, Razão direta (grandezas diretamente proporcionais), Razão inversa (grandezas inversamente proporcionais), Covariância, Invariância, Lei de conservação.

Segundo Vergnaud (2009) estas mesmas propriedades também estão presentes na Física, na Biologia ou na Química. Ainda poderíamos interpretar ou associar a estes interpretantes ou significados atributos que podem ser

¹⁶ Apreender se refere àquilo que o indivíduo traz para si, na forma de informação e conhecimento. Aprender, por outro lado, inicia-se pela apreensão para, posteriormente, dependendo das condições, pressupõe resultar em domínios cognitivos mais profundos, como a síntese, a antecipação.

graduados ou modalizados através de algum sistema comparativo. Exemplo: forte/fraco, maior/menor, mais intenso/menos intenso/, proporcional/desproporcional, etc.

A Teoria dos Campos Conceituais tem sido considerada uma teoria neo-piagetiana, justamente porque traz alguns avanços em relação a maneira estrita de Piaget em relação principalmente ao problema de estabelecer um vínculo muito restrito à questão do papel da lógica e da linguagem (VERGNAUD, 1996). Não entraremos em detalhes a respeito disto já que esta discussão particularmente não interessa a este trabalho, contudo, a questão da linguagem é importante para nossas considerações, principalmente levando-se em consideração que tanto o indivíduo “sem deficiência”¹⁷, quanto o deficiente visual utilizam e constroem sua própria linguagem em termos dos esquemas que o indivíduo elabora (VERGNAUD, 1990).

1.8 A Teoria dos Campos Conceituais e o Ensino de Ciências – a pesquisa brasileira

No Brasil, as ideias e concepções de Gérard Vergnaud sobre a Teoria dos Campos Conceituais tem se concentrado em sua maioria na área da Didática da Matemática (VERGNAUD, 2009).

Contudo, em outras disciplinas no Ensino de Ciências, temos encontrado alguns trabalhos¹⁸ a respeito desta teoria, como, por exemplo, no Ensino de Química (CARVALHO, 2009; SCHEFFLER, 2011; VIVEIROS, 2005) e Física (CARVALHO JÚNIOR, 2005; CARVALHO JÚNIOR; AGUIAR JÚNIOR, 2008; SOUSA, 2001; SOUZA; FÁVERO, 2002;).

¹⁷ Embora utilizemos esta nomenclatura “sem deficiência”, devemos lembrar que, conforme discutimos quando abordamos a Classificação Internacional de Funcionalidade, o mais indicado é sempre referir-se à situação de estado de saúde da pessoa, ao invés de focar na doença ou na deficiência.

¹⁸ Mencionamos aqui a expressão ‘alguns trabalhos’ porque não foi nosso objetivo realizar um levantamento bibliográfico completo sobre as publicações a respeito da Teoria dos Campos Conceituais, pois consideramos que um estudo desta envergadura necessitaria ser abordado por uma dissertação ou tese do tipo ‘estado da arte’.

O trabalho de Viveiros (2005) foi a primeira pesquisa brasileira no Ensino de Química, e a única até o momento (primeiro semestre de 2013) onde o material de análise de dados foi interpretado do ponto de vista cognitivo, já que todos os outros trabalhos até agora não se concentram essencialmente na questão cognitiva dos sujeitos de pesquisa analisados.

Para isto, naquela pesquisa de mestrado, foi realizada uma análise da produção de diários de classe de graduandos de uma licenciatura em Química, elaborados após uma reflexão metacognitiva. Através daquela pesquisa foi possível mostrar que a Teoria dos Campos Conceituais (TCC) comparativamente em relação a outras abordagens avança conceitualmente como, por exemplo, a Teoria dos Modelos Mentais de Johnson-Laird, já que tal concepção desenvolve uma categorização muito limitada e restrita sobre o desenvolvimento cognitivo baseando-se em apenas quatro categorias dadas de forma a priori.

Além disto, foi possível mostrar que através da TCC dentro de uma interpretação transdisciplinar chega-se a um conjunto de constructos cognitivos, chamados de 'Matriz Epistemológico-Conceitual'. Por intermédio desta matriz é possível, por exemplo, analisarmos qualquer contexto de ensino-aprendizagem, levando-se em consideração a questão do currículo, da avaliação, do contexto escolar (ambiente escolar), questões diretamente relacionadas com o ensino, ou com a aprendizagem, respectivamente ou de maneira concomitante. Nenhuma das pesquisas realizadas anteriormente utilizando-se a Teoria dos Campos Conceituais (TCC) chegou-se a elaboração de constructos cognitivos, ou seja, de variáveis e ou parâmetros cognitivos.

Andrade Neto, Raupp e Moreira (2009) utilizaram a TCC para proceder uma análise sobre o aspecto das representações simbólicas utilizadas na Química ao longo da história, passando pelos alquimistas, artesãos, Lavoisier, Berzelius, Werner e Smith. Este trabalho é muito próximo de uma análise do tipo semiótica, porque releva exatamente que a TCC possui a mesma construção epistemológica que a teoria semiótica de Charles Peirce.

Já Magina, no campo da Matemática, destaca como um ponto crucial desta teoria justamente o fato de que para Vergnaud a educação deve levar em

consideração o meio social e cultural onde a educação escolar é desenvolvida e produzida. Assim, utilizando a educação matemática como exemplo, a autora conclui que tanto o conhecimento do professor quanto o meio em que está inserido podem influenciar na maneira como este ensina a Matemática e, por outro lado, em relação ao aluno, sua origem social pode também ser determinante na maneira como este apreende e utiliza a Matemática, fazendo com que as confrontações sociais que vão ocorrendo determinem uma forma bastante característica sobre como esta pessoa lida com a resolução dos problemas que aparecem (MAGINA, 2005).

No Ensino de Física, encontramos pesquisas muito bem situadas, como o de Bolfe e Barlette (2009) que, ao trabalharem com o campo conceitual da termologia, concluem que os invariantes operatórios explicitados por alunos do Ensino Médio são, na verdade indícios dos invariantes operatórios científicos já que, para que tais constructos pudessem ser considerados verdadeiros conceitos e teoremas científicos, haveria a necessidade de um refinado e meticuloso trabalho didático-pedagógico em sala de aula, através de inúmeras situações didáticas o que, na prática, torna-se bastante complexo em função da realidade escolar brasileira.

Grings, Caballero e Moreira (2006) também trabalharam a TCC na termodinâmica avaliando o surgimento dos invariantes operatórios em alunos do Ensino Médio. O artigo é interessante, entretanto, traça um paralelo entre alguns conceitos da TCC e a abordagem da Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel, que nos parece não ser apropriado, principalmente porque esta última teoria é, essencialmente, diferenciada da TCC em sua concepção em relação à abordagem desenvolvimentista.

Para não nos estendermos muito neste ponto, já que não é este nosso foco, basta dizer que uma das obras mais significativas de Vergnaud sobre Didática da Matemática, “A criança, a Matemática e a Realidade” (VERGNAUD, 2009), segue uma linha epistemológica muito semelhante em relação a maioria dos trabalhos de Piaget, principalmente aqueles onde foi tratado o desenvolvimento da inteligência na criança, como ‘La naissance de l’intelligence chez l’enfant’ (PIAGET, 1936), ‘A formação do símbolo na criança’, ‘A gênese do número na

criança' (PIAGET, INHELDER, 1983) e 'Le Développement des quantités physiques chez l'enfant [Texte imprimé] : conservation et atomisme' (PIAGET, INHELDER, 1968)'.

Nestas obras piagetianas, bem como no livro de Vergnaud mencionado acima, ambos os autores vinculam diretamente a análise do desenvolvimento cognitivo humano de acordo com as respectivas fases e idades cronológicas, interpretados através de construtos cognitivos.

Por outro lado, Ausubel passa longe em detalhar e aprofundar esta análise da maneira tão minuciosa empreendida tanto por Piaget quanto por Vergnaud. Em 'Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva' (AUSUBEL, 1999), este autor trata do tema fases de desenvolvimento cognitivo não mais do que em duas páginas (exatamente no item 'Fases de maturidade e de prontidão para a aprendizagem') e inclusive Ausubel destaca a diferença entre sua abordagem e o ponto de vista desenvolvimentista de Piaget, ao mencionar que

Alguns leitores podem aperceber-se de alguma semelhança entre os conceitos de aprendizagem subordinada (por subsunção) e subordinante em relação à teoria da assimilação, por um lado, e as noções contrastantes de assimilação e de acomodação de Piaget, por outro. Na verdade, a semelhança é mais terminológica (nominalista) do que real. Piaget utiliza estes termos somente para descrever tipos diferentes de alterações de desenvolvimento nos esquemas e não para descrever processos de aprendizagem (AUSUBEL, 1999, p.96).

Pois bem, retomando. Praticamente a maioria destas pesquisas abordando o Ensino de Ciências e a Teoria dos Campos Conceituais apresentam as seguintes características:

1ª: Não se menciona o fato de que Gérard Vergnaud é, essencialmente, um psicólogo desenvolvimentista e que Jean Piaget era explicitamente um epistemologista (ou epistemólogo), e que, a este respeito, algumas diferenças essenciais podem surgir quando se utiliza a própria TCC para a pesquisa em Ensino de Ciências e, obviamente, para a pesquisa em Ensino de Física.

A questão não colocada até agora é que embora possamos fazer uma leitura tanto em Piaget quanto em Vergnaud direcionada para o aspecto epistemológico em relação a produção do conhecimento (assim como se faz na pesquisa em Ensino de Ciências), o resultado final é totalmente diferente. Para a utilização da TCC enquanto método de pesquisa deveria ser relevado em qualquer pesquisa os aspectos diretamente relacionados com a psicologia do desenvolvimento como, por exemplo, a questão dos constructos cognitivos (que será abordado no item 3 abaixo);

2ª: A maioria dos trabalhos não faz menção a estudos e conceitos piagetianos que constituíram a fundamentação teórica para a construção da TCC, exceção a esta regra é a dissertação de mestrado de Carvalho Júnior (2005). Não se menciona, assim, conceitos piagetianos como assimilação, acomodação e equilibração. O próprio Vergnaud em seus artigos faz poucas referências a tais conceitos, embora em cursos e conferências frequentemente faça menção a estes princípios. Entretanto, toda construção epistemológica da TCC e sua conseqüente aplicação no campo da didática utiliza de forma implícita tais conceitos.

A verdade é que Vergnaud preferiu deter-se e aprofundar-se mais no conceito de 'esquemas', através dos quais os conceitos começam a ser estruturados no nível do aparelho cognitivo humano (VERGNAUD, 1996).

Ao se suprimir tais conceitos das análises realizadas por estes artigos, teses ou dissertações, ignoram-se completamente os processos metacognitivos e conseqüentemente epistemológicos utilizados pelos sujeitos das pesquisas em relação ao processo de conceitualização, que é base para a TCC. Neste sentido, métodos ou protocolos de análise verbal poderiam ser utilizados para serem correlacionados com o aspecto cognitivo (já que a maioria dos trabalhos utiliza material verbal como fonte de dados) como, por exemplo, o "protocolo de análise verbal" - **think e talk aloud method** - segundo Ericsson e Simon (1980, 1987, 1993), metodologia de análise relativamente utilizada internacionalmente na pesquisa em Ensino de Ciências como, na Química (BOWEN, 1994), na Física (JANSWEIJER, 1988), na Matemática (STILLMAN; GALBRAITH, 1998; YEAP, 1998). Ao não se mencionar tais conceitos da teoria piagetiana, toda

análise sobre os experimentos físicos respectivos às situações didáticas propostas como metodologia de análise daqueles trabalhos, passam a não aprofundar e a detalhar o verdadeiro percurso desenvolvimentalista (ou desenvolvimentista) característico da teoria de Vergnaud;

3ª: Dos trabalhos anteriormente avaliados, o de Viveiros (2005) é o único que considera que todo material de análise metodológica utilizada na TCC, na forma dos conceitos que compõem tal teoria são *a priori*, “**constructos cognitivos**”, elaborados a partir de material essencialmente psicológico e que, por este motivo, poderiam estar associados ao aspecto quantitativo ou possuírem uma espécie de **modulação de valência**, como desenvolvido por Thagard (2006) ao tratar da questão da cognição emocional. Mais ainda, ao se falar em ‘esquemas’, tal conceito é utilizado de maneira generalizada, não tendo por parte dos pesquisadores um critério possível de gradação do que tais esquemas de fato representam e se associam em relação ao próprio aparelho cognitivo do indivíduo. Sobre a constituição e construção de constructos cognitivos, vale a pena consultar o trabalho de Kelly (1955) e o consequente ‘grid de repertório’ de Fransela e Bannister (1977).

Cabe aqui uma reflexão: será que a pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil, desde aproximadamente os anos 1980 valoriza o uso de referenciais teóricos diretamente vinculados a área da Psicologia, bem como também as metodologias de análise de dados normalmente utilizados nesta área?

No mesmo sentido, será que tanto a formação inicial quanto a continuada de docentes na área de Ensino de Física tem também se utilizado de referenciais na área da Psicologia do Desenvolvimento e Psicologia Cognitiva?

Finalmente, perguntamos: qual a referência em relação aos constructos cognitivos que eram obtidos através das pesquisas na grande área da Psicologia e, notadamente, na área de Psicologia da Educação, em relação aos resultados das pesquisas em Ensino de Ciências? Será que esta relação está atualmente bem explicitada?

4ª: Como decorrência do item anterior, os constructos cognitivos associados diretamente a Teoria dos Campos Conceituais não são

relacionados por aqueles autores à variáveis cognitivas sob um ponto de vista de uma possível psicométrica. Ou seja, aquelas pesquisas não se aprofundam sobre nenhum aspecto mais quantitativo (ou mesmo quali quantitativo) em relação aos constructos cognitivos que são objetos de análise. Por exemplo, alguns autores ainda insistem na utilização de conceitos como 'mudança conceitual', 'aprendizagem significativa', sem, no entanto estabelecer qualquer critério verdadeiramente científico e objetivo sobre quais variáveis estão associadas a tais constructos. Para ilustrar isto que estamos dizendo, por exemplo, ao se explorar o conceito de mudança conceitual ou até obstáculo epistemológico, não se menciona a possível relação (ou não) deste conceito com variáveis como atenção, memória de curto, médio ou longo termo, dissonância cognitiva, neurônios espelho, neuroplasticidade, estimulação modal, amodal ou intermodal, respectivamente.

Na área de Ensino de Ciências existem poucos estudos estabelecendo correlação entre a aquisição de linguagem, a aprendizagem conceitual e a aprendizagem matemática e a correlação destes aspectos com a neurociência cognitiva. Uma pesquisa internacional que aborda isto que estamos levantando, é a extensa investigação realizada por Stanislas Dehaene que mostra a questão da aprendizagem matemática e sua correspondência com o atributo cerebral (DEHAENE, 1997a, 1997b), bem como o mecanismo da linguagem e sua circuitaria cerebral (DEHAENE, 2007).

Iniciativas como esta onde se busca a ação interdisciplinar (e também transdisciplinar) entre a Neurociência Cognitiva (e áreas correlatas) com a Educação, inclusive a educação científica, tem sido comum em vários países.

Por outro lado, no Brasil existe um distanciamento e resistência por parte dos pesquisadores em Ensino de Ciências em buscar em outras áreas do conhecimento aportes teóricos e empíricos que possam contribuir com metodologias, abordagens e teorias que são também apreciadas e amplamente utilizadas a nível internacional.

Sem que tenhamos necessidade de demonstrar alguma estatística a respeito, constata-se claramente que grande parte destas pesquisas e autores desconsideram a relação e possível interação entre a área de pesquisa em

Ensino de Ciências e áreas como a Psicologia Experimental, a Psicologia Cognitiva e a Neurociência Cognitiva.

Problemática semelhante foi explicitada no artigo de Otero (1999) que a respeito dos constructos cognitivos vai dizer que:

Con respecto a las representaciones, proliferan una variedad de constructos que responden a diferentes abordajes teóricos de mayor o menor envergadura. Según Riviére (1987) la Psicología Cognitiva refiere sus explicaciones a constructos de naturaleza mental que tienen un nivel de discurso propio, en el que podrían incluirse, las operaciones y estructuras de las que nos hablan los miembros de la Escuela de Ginebra, las representaciones proposicionales de Physylyn, las imágenes mentales de Kosslyn o Schepard, los esquemas de Rumelhart, los scripts de Chunk y Abelson, los sistemas de producción de Anderson, los modelos mentales de Johnson-Laird, las representaciones de nivel implícito y explícito de Karmiloff-Smith, las representaciones icónicas y simbólicas de Bruner, los subsumidores de Ausubel y los signos e instrumentos de Vigotsky (OTERO, 1999, p.95).

Mas a autora vai sugerir uma solução que parece ser interessante, mas que justamente possui sua não operacionalização no campo prático da pesquisa em Ensino de Ciências, talvez precisamente pelo fato de não haver um consenso entre os próprios pesquisadores em relação ao aspecto metodológico e epistemológico das teorias utilizadas nas pesquisas:

Existe cierta necesidad de que tales formas se organicen a partir de una cierta sintaxis, gramática o lógica, importándose estos términos de otras ciencias y constituyendo lo que de Vega ha dado en llamar el metapostulado logicista en Psicología Cognitiva que establece que "las representaciones y/o procesos mentales humanos son isomorfos con respecto al los sistemas formales lógicomatemáticos (vg. Lógica de proposiciones moderna y lógica de predicados de primer orden)" (de Vega, 1981:3). En esta línea ha existido cierta concepción racionalista del sujeto cognitivo, postulada tanto desde la escuela de Ginebra como desde los enfoques más próximos al procesamiento de la información y los proponentes de las teorías de reglas de inferência (ibidem, p.95 e 96).

Entretanto a solução final apresentada pela autora não foi nem de longe considerada pela comunidade de pesquisadores da área em Ensino de Física (ou de Ciências), ou seja, a utilização de aportes em teorias de modelos

mentais que, na época, estavam em ‘moda’, provavelmente em função do então advento do crescente uso da informática na educação.

Entretanto, em relação a Escola de Genebra, mencionada pela autora precedente, sua influência tem surtido efeito no Brasil (não somente porque Jean Piaget foi talvez seu membro mais proeminente), como por exemplo, a grande influência dos estudos do grupo ligado ao pesquisador suíço Jean-Paul Bronckart, principalmente após o Acordo Interinstitucional estabelecido entre a Universidade de Genebra e a Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (MACHADO, 2004).

Tais estudos, resumidamente, envolvem a questão do interacionismo sócio-discursivo, principalmente com a aplicação didática da chamada “sequência didática”.

Este conceito, que além de ser bem trabalhado por Bronckart naquilo que chama de ‘folhado textual’ (se referindo a questão dos gêneros literários que deveriam ser ensinados na escola), é fortemente detalhado por Schneuwly e Dolz (2004).

O conceito de sequência didática não pode e não deve ser interpretado equivocadamente como a simples justaposição sequencial em ordem ou grau crescente de dificuldade, como normalmente se faz ao se estruturar sequências didáticas para o Ensino de Física.

Este tema suscita muito interesse e, a este respeito, vários trabalhos tem surgido na área de Ensino de Ciências, inclusive no último Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (VIII ENPEC), em 2011.¹⁹

5ª: Todas as metodologias utilizadas nas pesquisas mencionadas empregam como *corpus* de pesquisa somente o material verbal discursivo dos próprios sujeitos da pesquisa, ainda que corroborados por metodologias de observação do comportamento dos sujeitos das pesquisas, registrados através de áudio ou vídeo filmagens.

¹⁹ Sobre o tema sequência didática, consultar o trabalho de Jean-Paul Bronckart, ‘Atividades de Linguagem, textos e discursos – por um interacionismo sócio-discursivo’, Trad. Anna Rachel Machado e Péricles Cunha. São Paulo: Educ, 1997/99.

Devemos notar que, como afirma Bardin (1977) a utilização de corpus de pesquisa cujo material é de natureza verbal pressupõe que o objetivo da pesquisa esteja voltado ao aspecto comunicacional como, por exemplo, na própria pesquisa em Ensino de Física para deficientes visuais, empreendida por Camargo (2011, 2008, 2005). Muito pelo contrário, para a mesma autora, isto não implica que a fonte de dados de uma pesquisa desconsidere materiais e registros que não sejam de natureza verbal, como fotos, imagens, etc.

Contudo, quando a constituição dos dados provém apenas do material verbal, ainda que possa estar em paralelo com a vertente cognitiva, é absolutamente distinta em relação à possíveis parâmetros e variáveis de análise, necessitando assim de uma abordagem metodológica mais apropriada e voltada para este tipo de conteúdo.

Da mesma maneira, nenhuma pesquisa que utilize a TCC, até o momento, apresentou qualquer proposta metodológica que envolva algum processo de coleta de dados considerando parâmetros e variáveis que possam ser mensuráveis, quantificáveis e minimamente dependentes de uma análise subjetiva e até parcial por parte do pesquisador.

A este respeito, diversos pesquisadores em outros países tem sugerido e trabalhado com enfoques de pesquisa cognitivistas sob um ponto de vista que aborde mais objetivamente a questão de modelos cognitivos que explicitem variáveis e constructos cognitivos (CHATERJI, 2002).

Nesta direção merece destaque o trabalho do pesquisador Olivier Houdé, justamente na área da Psicologia Cognitiva dentro de uma abordagem piagetiana, através do qual uma série de experimentos piagetianos foram reinterpretados segundo a luz da Neurociência Cognitiva, mencionado principalmente alguns trabalhos diretamente relacionados com a aprendizagem matemática (BORST et al., 2012; HOUDÉ; TZOURIO-MAZOYER, 2003).

6ª: Destes trabalhos analisados, somente Viveiros (2005) faz referência explícita ao fato de que a interpretação de dados produzida por uma pesquisa científica que, no nosso caso, se refere à pesquisa em Ensino de Ciências, deveria explicitar qualidades específicas para esta área de pesquisa e, ainda,

que tais resultados possam orientar ações pedagógicas ou didáticas na área, como a questão de avaliações interinstitucionais, conforme sugerido por Viveiros e Camargo (2011).

Ou seja, se se produz pesquisa em Ensino de Ciências, é razoável imaginar que tais resultados explicitem características absolutamente específicas em relação ao 'material estudado', no caso, o material humano estudado (os sujeitos de pesquisa, na maioria na forma de alunos em diversos níveis de escolaridade). E ainda, seria também razoável esperarmos que a pesquisa em Ensino de Ciências pudesse explicitar diferenças (e também pontos convergentes) entre as próprias disciplinas dentro da área de Ensino de Ciências (Física, Química, Biologia e também a Matemática). Assim:

(...)se comparássemos a Física com a Biologia, poderíamos encontrar características distintas em relação a maneira como os indivíduos representam certa classe de situações idênticas para um mesmo conceito, por exemplo, o conceito de energia. No entanto, o Ensino de Ciências deve preservar determinadas características comuns, características estas passíveis de serem compreendidas a luz de referenciais teóricos que forneçam elementos comuns de análise (VIVEIROS, 2005, p. 211).

Neste sentido, seria de se esperar que a pesquisa em Ensino de Ciências e, especificamente, em Ensino de Física, produzisse constructos cognitivos específicos para a área, como os constructos obtidos por Camargo (2011, 2008).

De fato, este assunto tem tomado expressão nos estudos de natureza meta-analíticos, quer sejam realizados a nível nacional ou internacional, como bem demonstra uma das pesquisas mais citadas²⁰ que trata de maneira muito próxima a isto que estamos mencionando, que é o trabalho de Smith e Fouad (1999).

O artigo aborda um estudo realizado em quatro áreas, Matemática/Ciências, Arte, Estudos Sociais e Língua Inglesa, onde foram avaliados a especificidade de auto-eficácia em relação ao tema do domínio acadêmico (em relação a

²⁰ Em 26 de julho de 2012, o mapa de citações primárias e secundárias deste artigo no portal Web of Knowledge trouxe 464 referências (39 primárias).

disciplina de estudo considerada), as expectativas em relação a resultados e metas. Para se examinar tal questão, 16 instrumentos foram construídos afim de mensurar 4 conceitos que eram comuns naqueles domínios do conhecimento. Uma estratégia similar de análise foi utilizada, através de uma metodologia do tipo análise multivariada (onde se utiliza várias variáveis de análise).

O resultado que se destaca no trabalho foi mostrar que o fator de solução que incluiu ao mesmo tempo as diferentes áreas do conhecimento, como também os distintos constructos que sustentam os dados, indicando constructos de auto-eficácia acadêmica, interesses, expectativas e objetivos, são específicos para cada uma daquelas quatro áreas do conhecimento. O estudo mostra, em síntese, aquilo que os autores chamaram de 'validade discriminante' (*discriminant validity*), indicando que aqueles fatores relacionados ao interesse e expectativas são específicos em relação à cada uma daquelas disciplinas do conhecimento. Isto mostrou, em conclusão, pequena generalização daquilo que poderia ser comum em cada uma das áreas analisadas.

Entre outras considerações importantes, os autores mencionam que estes resultados podem mostrar aos psicólogos uma maneira bastante apropriada de se proceder a possíveis intervenções objetivando justamente uma melhora de *performance* nas expectativas das pessoas naqueles domínios onde os resultados mostrassem um grau menor de interesse e motivação.

7ª: Estas pesquisas mencionadas em relação a TCC, muito embora estejam tratando diretamente da questão cognitiva não levam em consideração as características neurocognitivas dos sujeitos de pesquisa, principalmente se tratando de pessoas com necessidades educacionais especiais como deficientes intelectuais, deficientes visuais, deficientes auditivos, ou pessoas com altas-habilidades e superdotação, nem mesmo deficientes físicos. A total negligência neste ponto nos parece deixar a pesquisa científica num plano superficial de análise.

8ª: Algumas análises mais detalhadas mostram interpretações um tanto quanto artificiais em relação a procurar estabelecer uma relação entre a TCC e outras abordagens teóricas, como foi o caso já mencionado no trabalho de Grings,

Caballero e Moreira (2006), onde a todo o momento os autores procuram interpretar a TCC segundo a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel que, embora seja considerada uma teoria na área da Psicologia do Desenvolvimento é essencialmente distinta da TCC, conforme já mencionamos anteriormente.

Também encontramos equívocos conceituais em trabalhos excelentes como de Carvalho Júnior (2005), onde o autor afirma que a TCC foi construída para as estruturas multiplicativas em matemática (ibidem, p.190) - que, aliás, inclui as multiplicações e divisões -, o que não corresponde a realidade, porque no livro onde Vergnaud trata do assunto - ***A criança, a matemática e a realidade*** (VERGNAUD, 2009), as estruturas aditivas (que comporta as adições e subtrações) são também consideradas.

Em síntese, percebe-se que a maioria dos trabalhos de pesquisa que utilizam a Teoria dos Campos Conceituais tem gerado uma produção científica que carece de maior esmero no tratamento epistemológico e heurístico sobre o conhecimento para a área de Ensino de Ciências. Fica bem claro que não estamos absolutamente desmerecendo nenhum trabalho, muito pelo contrário. Entretanto, o que falta é exatamente fazer com que a aplicação de uma teoria vá além da produção de categorias de análise, fazendo com que a categorização seja essencialmente relevante para a área, no sentido de gerar novos conhecimentos e, principalmente, em termos de paradigmas que são colocados a prova.

Fica evidente que a maioria dos trabalhos de pesquisa utilizando a Teoria dos Campos Conceituais dá a esta um sentido de metodologia, ou de didática, ou seja, um sentido apenas e tão somente pragmático, e não um direcionamento de motivação heurística, discutindo as bases da construção do conhecimento, as bases epistemológicas, as bases sobre as quais é estruturado o pensamento humano ***em situação*** (parafraçando o próprio Vergnaud).

CAPÍTULO 2 ENSINO DE FÍSICA PARA DEFICIENTES VISUAIS: SEMIÓTICA DAS CATEGORIAS PERCEPTIVAS E SUA CORRELAÇÃO COM A TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS

2.1 Uma abordagem semiótica dentro da pesquisa brasileira em Ensino de Física para deficientes visuais

Uma vez tendo definido o referencial teórico que orientará as considerações pertinentes ao aspecto epistemológico do trabalho, passaremos a seguir a tratar mais especificamente sobre a questão da aprendizagem da Física considerando a pessoa com deficiência visual.

Para isto, convém sim aprofundarmos sobre a natureza e a constituição da percepção de mundo para a construção dos significados e seu papel consequente na elaboração dos conceitos (conceitualização), tendo em mente a noção ou o conceito anteriormente mencionado de '**normalização**', ou '**normatização**'.

Mais uma vez, a interpretação semiótica será utilizada para estabelecer a relação entre a fenomenologia da percepção e a consequente elaboração da conceitualização.

Pois bem, parece bastante evidente que o direcionamento que construímos até agora leva em consideração uma abordagem do tipo cognitivista, mas cuja base filosófica está assentada fortemente na concepção semiótica. Quer dizer, a própria Teoria dos Campos Conceituais é uma abordagem semiótica, e também tudo quanto se refira ao Ensino de Física pode ser abordado pela

semiótica, já que diz respeito diretamente a maneira como o indivíduo percebe, conceitua e representa a realidade.

A este respeito, Maria Lúcia Santaella (2005) indica que sempre existirá uma correlação entre a percepção de determinado fenômeno ou objeto, seu significado e sua interpretação na forma daquilo que a autora chama de ‘matrizes da linguagem e do pensamento’, ou seja, estruturas cognitivas que se configuram enquanto ‘esquemas’ cognitivos (utilizando já a interpretação de Vergnaud), sobre a qual o indivíduo constrói seus invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação) de acordo com as situações (didáticas ou simplesmente situações da própria vida cotidiana) em que a pessoa é colocada.

Nesta mesma obra, Santaella coloca em evidência o papel que cada um dos sentidos possui em relação à interpretação da realidade, diferenciando-se pois, principalmente, o resultado final produzido pela interpretação que um indivíduo realiza se este utiliza-se do mecanismo da audição ou da visão, respectivamente. Como síntese desta verdadeira metodologia, Santaella constrói um diagrama de possibilidades de interações que, na verdade, é fundamentado nas tricotomias de Peirce (MACHADO FILHO; THOMAZ, 2005), conforme o Quadro 2.

Quadro 2 - Tricotomias segundo Peirce (extraído de Machado Filho e Thomaz, 2005)

	R	O	I
P	Quali-signo	Ícone	Rema
S	Sin-signo	Índice	Discente
T	Legi-signo	Símbolo	Argumento

No Quadro 2, **R** é o representamen, **O** o objeto, **I** é o interpretante. Nas linhas temos, **P** é primeiridade, **S** a secundidade, e **T** a terceiridade.

Esta concepção teórica estará presente (de uma maneira adaptada) no referencial teórico que utilizaremos para abordar o Ensino de Física para deficientes visuais, apresentado a seguir.

No Brasil, a pesquisa em Ensino de Física para deficientes visuais está fortemente fundamentada no trabalho de Camargo (2011, 2008, 2005). A este respeito, Costa, Neves e Barone (2006), bem como Lippe e Camargo(2009) mencionam alguns autores internacionais em relação a esta subárea de estudo, mas a nível nacional fazem citação apenas de Camargo (2000) e Santos (2000).

Mais recentemente, o trabalho de Machado (2010) fez uma revisão bibliográfica dos trabalhos publicados no Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF), Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC) e Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF) entre os anos 2000 e 2010, corroborando nossa constatação do parágrafo anterior, e destacando em sua conclusão que:

Relacionado à formação do professor e ausência de materiais didáticos, cabe destacar o trabalho desenvolvido na UNESP²¹, centrado no desenvolvimento de investigações relacionadas ao Ensino de Física na perspectiva de alunos com deficiência visual. Para os pesquisadores da referida universidade as pesquisas desenvolvidas, articuladas ao curso de Licenciatura e à produção de material didático, darão condições a criação de uma tradição investigativa acerca da temática da inclusão escolar de alunos com deficiência visual em aulas de Física e da educação científica para alunos com deficiências (MACHADO, 2010, p.18 e 19).

Dos estudos internacionais que envolvem o Ensino de Ciências (Física, Química e Biologia, além da Matemática), citamos outros importantes trabalhos (BECK-WINCHATZ; OSTRO, 2003; CUNNINGHAM, 1997; GARDNER, 1996; GRADY et al., 2003; KUCERA, 1996; KUMAR et al., 2001; SCHLEPPENBACH, 1996; WEST VIRGINA UNIVERSITY 2005), centralizam-se em questões mais relacionadas a uma didática orientada a procedimentos, ações e estratégias que podem ser utilizadas na sala de aula, ou no contexto escolar como um todo, visando sempre a normatividade, a acessibilidade e o *empowerment* do aluno deficiente visual com os demais alunos . No capítulo 3 retomaremos

²¹ Esta citação ao trabalho desenvolvido pela UNESP – Universidade Estadual Paulista ‘Júlio de Mesquita Filho’ refere-se às pesquisas desenvolvidas por Camargo.

estas pesquisas, porém interpretando-as segundo um enfoque da Neurociência Cognitiva.

Por momento aprofundaremos nas pesquisas desenvolvidas na Universidade Estadual Paulista ‘Júlio de Mesquita Filho’, constituída desde uma década e que atualmente consolida-se no “Laboratório de Estudos e Pesquisa sobre Ensino de Ciências e Inclusão Escolar –LEPENCINE”, bem como pelo site do Grupo ENCINE (Ensino de Ciências e Inclusão Escolar), estudos estes realizados e coordenados pelo pesquisador professor Dr. Eder Pires de Camargo.

As atividades do LENPECINE incluem além da atuação da pesquisa em Ensino de Física propriamente dita na área da inclusão escolar (sobremaneira na deficiência visual e deficiência auditiva), o desenvolvimento de materiais didáticos para serem utilizados por alunos deficientes visuais nas escolas (principalmente da rede pública de ensino), e ainda a disponibilização de diversos recursos didáticos eletrônicos digitais, como impressora Braille, computador adaptado com softwares de acessibilidade para o deficiente visual (DOSVOX, VIRTUAL VISION, JAWS, lupa eletrônica), linha Braille (que permite a leitura em Braille do texto escrito na tela do computador), e materiais analógicos como bola com guiso, sorobã, etc. Além disto, o laboratório dispõe de acervo bibliográfico na área da inclusão escolar.

Por todas estas razões, principalmente em relação a fundamentação teórica sólida estabelecida através da publicação dos resultados das pesquisas em revistas internacionais e nacionais de expressão, assim como do livro intitulado “*Ensino de Física e deficiência visual: dez anos de investigações no Brasil*”, publicado pela Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP-, nossa opção em utilizar a abordagem desenvolvida por Camargo, tem sua razão de ser pelos seguintes motivos:

- A abordagem desenvolvida leva em consideração contextos comunicacionais relativos a relação aluno-professor-conteúdo. Neste sentido, tal concepção valoriza o papel da linguagem e dos contextos comunicativos, relevando, assim, a (re)construção da realidade do mundo dos conhecimentos espontâneos e também dos conceitos

científicos, a partir da construção compartilhada do conhecimento emergido da relação aluno-professor-material didático. Particularmente tal *approche* vai completamente ao encontro aos propósitos da educação inclusiva e abre precedentes didáticos e pedagógicos para se trabalhar estratégias do tipo metacognitivas (ZULIANI, 2006) e didáticas multissensoriais. Para isto, evidencia as categorias de análise: observação, compreensão e mediação (CAMARGO, 2005);

- Há um inter-relacionamento entre o fenômeno da percepção e a consequente conceitualização empreendida pelo aluno e a natureza semiótica dos fenômenos físicos. Por valorizar a construção do processo de imagéria mental pelo aluno deficiente visual, a abordagem desfoca-se do paradigma estrito da visão como condição necessária para a conceitualização, tornando-se, pois, um forte indicativo metodológico para orientar a ação docente, tanto na formação inicial, quanto na formação continuada. Além disto, esta característica na pesquisa é bastante interessante, já que correlaciona: a) a maneira de ensinar a Física sob tais condições; b) o aspecto essencialmente epistemológico próprio do sujeito investigado (os alunos deficientes visuais, e também alunos videntes); c) a natureza do fenômeno avaliado, no caso, as situações didáticas em Física; d) como tais sujeitos expressam ou representam seu conhecimento conceitual (ainda que esta representação não equivalha a representação científica).

Assim sendo, referindo-se ao Ensino de Física que busque um desfoque sobre os modelos e abordagens estritamente dependentes do atributo visual, Camargo e Nardi (2007), ao analisarem o resultado de atividades didáticas com alunos de graduação de uma licenciatura em Física em aulas de eletromagnetismo, destacam que

A principal dificuldade apresentada pelos licenciandos refere-se à relação direta entre observar visualmente o fenômeno e/ou modelos ou representações do referido fenômeno e a elaboração de estratégias metodológicas para o ensino desse fenômeno, sejam tais estratégias fundamentadas na utilização da lousa ou na elaboração ou adaptação de experimentos a serem demonstrados, sejam tais estratégias fundamentadas na existência prévia ou construção de equipamentos específicos para o ensino de eletromagnetismo de alunos com deficiência visual (CAMARGO; NARDI(b), 2007, p.66).

Ou seja, é necessário que os professores também estejam melhores capacitados para compreenderem que é possível elaborar estratégias de aprendizagem para o Ensino de Física cuja dependência seja menor em relação ao 'ver' no sentido óptico. Assim:

A dificuldade fundamentada na relação conhecer/ver indica que os critérios iniciais adotados pelos licenciandos para a elaboração das atividades de ensino de eletromagnetismo apoiam-se em critérios de elaboração de atividades adotados para alunos videntes. Em outras palavras, o “conhecer um determinado fenômeno eletromagnético” e o “ensinar um determinado fenômeno eletromagnético” tem para os licenciandos fortes relações com o “ver esse fenômeno (ibidem, p.66).

Portanto, é evidente que a forma como o docente conduz as atividades didáticas é determinante para o resultado final esperado, podendo, assim, levar a segregação ou a uma participação efetiva do aluno, com rumos a construção do processo de conceitualização.

- Conseqüentemente, esta relação explícita **situação didática-conceitualização-representação**, condiz absolutamente com a abordagem desenvolvida pela Teoria dos Campos Conceituais sendo, portanto, uma abordagem de natureza semiótica. Além disto, por estender tal aplicação didática e pedagógica ao longo do tempo, aproxima-se do enfoque da Psicologia do Desenvolvimento, permitindo, assim, que o aluno possa ter seu histórico cognitivo acompanhado de maneira criteriosa. Da mesma maneira, tal enfoque aproxima-se muito do conceito de 'invariantes operatórios' da Teoria dos Campos Conceituais quando analisa hipóteses formuladas por alunos em situações didáticas (e também a variação ou o histórico de sua evolução temporal) como, por exemplo, em atividades que envolveram o conceito de aceleração da gravidade (CAMARGO et al., 2006).
- Estende e amplia a pesquisa em Ensino de Física não apenas ao contexto de aplicação dos resultados empíricos obtidos para a sala de

aula, mas, também, empregando esta mesma pesquisa em Ensino de Física para deficientes visuais no nível da formação inicial universitária (no caso, Licenciatura em Física). Isto está corroborado pela pesquisa realizada por Camargo e Nardi (2007b), que se constitui enquanto um importantíssimo *background* teórico para fundamentar a aplicação de atividades didáticas para o Ensino de Física a pessoas com deficiência visual.

Uma vez tecidas tais considerações, passemos especificamente a explicar esta abordagem sob uma perspectiva semiótica.

Como exemplo, adaptaremos parte dos resultados obtidos por Camargo (2011) ao se estudar as relações comunicativas em aulas de óptica para cegos, ministradas por alunos de graduação de uma universidade. Para isto, o autor considera que os elementos de dificuldade e ou/viabilidade do ensino podem ser expressos por duas categorias, sendo a primeira o perfil linguístico, e a segunda o padrão discursivo utilizados pelos licenciandos nas mencionadas aulas.

Em relação a categoria 'Linguagem', leva em consideração a forma pela qual determinada informação é veiculada, materializada, armazenada e percebida. Assim, dois grandes grupos aparecem. O primeiro é constituído por códigos que chamados de "estruturas fundamentais", que são aqueles que comportam apenas uma modalidade (unimodal): visual, auditivo e tátil, podendo ser organizados de maneira autômoma e/ou independente uns dos outros. O outro tipo de código são as "estruturas mistas", combinando-se de forma independente: estruturas audiovisual, tátil-visual, tátil-auditiva e tátil-visual-auditiva.

Assim, segundo aquele autor, temos:

- Estrutura Fundamental auditiva: caracteriza-se por possuir apenas códigos sonoros. O acesso às linguagens com essa estrutura empírica se dá por meio da observação auditiva dos mencionados códigos (único suporte material).
- Auditiva e visual independentes: caracteriza-se pela independência entre os códigos auditivo e visual que lhe servem de suporte material. Ocorre, por exemplo, quando se projetam e se falam as mesmas informações. Por isso, o nível do

detalhamento oral determina padrões de qualidade de acessibilidade às informações veiculadas.

- Fundamental visual: é constituída por códigos exclusivamente visuais que lhe servem de suporte material. Em relação ao receptor, o acesso às informações veiculadas fica condicionado à observação visual (CAMARGO, 2011, p.19-20).

Nas estruturas mistas temos:

- Audiovisual interdependente: caracteriza-se pela dependência mútua entre os códigos auditivo e visual que dão suporte material à veiculação de informações. Do ponto de vista empírico, o acesso às linguagens com esta característica somente pode se dar por meio da observação simultânea dos códigos mencionados, pois a observação parcial de um dos códigos não desfaz a interdependência de seu suporte material.
- Tátil-auditiva interdependente: caracteriza-se pela dependência mútua entre os códigos tátil e auditivo que dão suporte material à veiculação de informações. Do ponto de vista empírico, o acesso às linguagens com esta característica somente pode se dar por meio da observação simultânea dos códigos mencionados, pois a observação parcial de um dos códigos não desfaz a interdependência de seu suporte material (ibidem, p.19-20).

Observemos que, numa interpretação semiótica peirceana, estas modalidades comunicativas estão no nível da ‘primeiridade’, ou seja, no nível da percepção. Isto significa que neste nível ainda não existiria qualquer interpretação do fenômeno, já que a interpretação (que inclusive comporta e participa o processo de conceitualização) se dá num momento sequente.

Este momento sobre sequente, o autor denominará de “Estrutura Semântico-sensorial da linguagem”, que ‘refere-se aos efeitos produzidos pelas percepções sensoriais no significado dos fenômenos, conceitos, objetos, situações e contextos. Esses efeitos são entendidos por meio de dois referenciais relacionais entre significado e percepção sensorial, a indissociabilidade e a vinculação.

Quadro 3 – Relação entre elementos da semiótica e os tipos de percepção.

Primeiridade	Secundidade	Terceiridade
--------------	-------------	--------------

(Tipos de percepção) Unimodal e ou Amodal	(Tipos de significados ou interpretações) Intermodal ou Multimodal	(Tipos de representações)
Fundamental auditiva Auditiva e visual independentes Audiovisual interdependente Tátil-auditiva interdependente	Significados indissociáveis de representações visuais	Representações visuais
	Significados indissociáveis de representações não-visuais	Representações não-visuais
	Significados vinculados às representações visuais	Registrados por códigos visuais e observados pelo olho e representados internamente por imagens mentais
	Significados vinculados às representações não-visuais	Registrados por códigos não-visuais e observados pelo tato, audição, etc. Representados internamente por imagens mentais não-visuais

As modalidades unimodal, amodal e intermodal podem ocorrer de maneira sincrônica entre si, ao invés de isoladamente. Normalmente, o fenômeno perceptivo inicia-se através de uma única via (aspecto unimodal ou amodal), e perpassa para a percepção intermodal (utilizando simultaneamente várias vias sensoriais perceptivas). Este processo é semelhante ao que Soler (1999) chama de didática multissensorial (ou seja, fundamentado na percepção multissensorial). Na verdade, rigorosamente falando, a percepção em si mesma não é 'multissensorial' a priori, mas acaba tornando-se multissensorial ao longo do processo de percepção, conforme explicado anteriormente. Neste trabalho utilizaremos a denominação 'multissensorialidade', ao invés de 'didática multissensorial', já que esta última compreende uma série de procedimentos que se diferenciam um pouco disto que nominamos multissensorialidade.

Para a pessoa vidente, uma significativa parcela de aquisição perceptiva se dá pela via visual (no nível da primeiridade semiótica). Entra em ação neste caso a

percepção do tipo unimodal, ou seja, a percepção pura, ainda sem interpretação ou elaboração conceitual.

Em seguida, a elaboração ou interpretação mental atribui significados diferenciados daquela percepção (nível da secundidade), e também associado aos invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação).

Distintamente, para o vidente, por ser a visão um sentido do tipo analógico e sintético, a atribuição de significado será fortemente influenciada por estratégias cognitivas baseadas em esquemas analógicos. Possivelmente, este mecanismo cognitivo de associação ou estabelecimento de analogias será tão mais eficiente quanto for também o repertório da memória de longo prazo associadas às experiências perceptivas do indivíduo.

Num terceiro momento, teremos a atribuição ou construção de representações mentais, imagens mentais ou imageria mental (nível da terceiridade semiótica, ou da representação segundo Vergnaud). Esta representação, conforme já mencionamos, pode se dar através da conceitualização verbal, gestos, representação pictórica (gráfico, esquemas, mapas, etc.), modelos mentais, algoritmos, scripts, etc.

Uma abordagem semiótica muito semelhante, porém para o Ensino de Biologia (Ciências), foi aplicada para alunos do ensino médio em relação a um conteúdo de ecologia, destacando exatamente a maneira como os alunos apreendem o conhecimento, situando esta aprendizagem segundo as três fases do processo semiótico de primeiridade, secundidade e terceiridade: 'perceber/relacionar/representar' (FONSECA, 2008).

Na verdade, esta apropriação da tríade semiótica de Peirce tornou-se uma metodologia de investigação na mesma subárea do conhecimento, desenvolvida a partir do trabalho de Caldeira (2005). A este respeito, Seniciato e Cavassan (2009) destacam que:

...sua proposta de uma metodologia para o ensino das ciências naturais está alicerçada pela tríade perceber/relacionar/conhecer. Esses níveis devem operar sempre de forma associada, propiciando ao aluno, por meio de um diálogo permanente com o ambiente, atitudes que resistam ao dogmatismo e às mistificações, fontes essas de um

entendimento distorcido da realidade, não lhe permitindo reinterpretar e ressignificar o mundo de forma científica.” (SENICIATO; CAVASSAN, 2009, p.395-396).

Uma interpretação semiótica similar foi utilizada no Ensino de Química para estudar as representações estruturais, conjuntamente com a Teoria dos Campos Conceituais (ARAUJO NETO, 2009; ARAUJO NETO; GIORDAN, 2005). Entretanto, Araujo Neto (2009) refuta estabelecer uma relação entre o aspecto semiótico com o mental, ou melhor, com o que aquele autor chamou de ‘mentalismo’, que é algo completamente diferente do atributo ‘imagem mental’ que estamos tratando neste trabalho. Infelizmente tudo indica que o autor desconhece estudos mais avançados como o de Zenon Pylyshyn (e outros autores) sobre imagens mentais, e mesmo os estudos de Jean Piaget, que são mais antigos. Por este motivo, ao se referir a questão da imagem mental, o autor os associa ao fenômeno e propriedades de rotação espacial de uma molécula (o que poderia se comparar a interpretação correspondente dada por Stephen Kosslyn, que também não é mencionado no trabalho citado). Ainda no mesmo trabalho, parece-nos um tanto quanto desconexo e até um contrassenso, do ponto de vista da construção epistemológica da pesquisa científica, não se estabelecer relação com o atributo ‘representação imagética mental’ e a questão semiótica (que supõe atribuição de significado a partir de um referente), já que, conforme veremos abaixo, a imagem mental da qual trataremos aqui (que fundamenta o fenômeno da conceitualização para a pessoa com deficiência visual), está intimamente vinculada com a tríade semiótica objeto/signo/representação.

2.2 A construção de imagens mentais e a conceitualização

Trataremos agora a questão da construção de imagens mentais e sua correlação com o processo de formulação de conceitos. Contudo, embora a TCC inclua como um dos elementos constitutivos da conceitualização a

presença de imagens e de modelos mentais, respectivamente, Vergnaud não se interessa particularmente em aprofundar esta questão.

O motivo para isto é que a abordagem teórica adotada por Vergnaud, cujo objetivo se volta mais ao aspecto desenvolvimentista, e não sobremaneira a questão epistemológica em si mesmo, faz com que o mecanismo de constituição das chamadas imagens mentais não terá uma importância que fundamente a compreensão sobre o processo de conceitualização.

Entretanto, consideramos necessário abordar com mais detalhe tal tema, principalmente porque trataremos de como a imagem mental é construída pela pessoa deficiente visual, pois, conforme dissemos no item anterior, a atribuição de significado para o deficiente visual é efetuada pela via interpretativa sem a participação do atributo visual. Além disto, o próprio Vergnaud não fez nenhum estudo com pessoas deficientes visuais, embora exista um trabalho sob sua orientação, cujos sujeitos de pesquisa foram exatamente deficientes visuais (GOUÉDARD, 2006).

Contudo, neste trabalho, Catherine Gouédard utilizará o conceito de imagem segundo Ochanine²² (1967), que se aproxima mais do conceito piagetiano de imagem mental do que do modelo proposto por Kosslyn.

O que queremos focar é a relação entre a imagem mental e o seu significado, já que segundo alguns autores o processo de atribuição de significados possui 70% de participação do atributo visual, em função da natureza de síntese do sentido da visão (PYLYSHYN, 2007; SANTAELLA, 2005; HOFSTADTER, 1999). Paradoxalmente, ao mesmo tempo e inversamente, a própria associação entre a visão e a conceitualização podem levar a incongruências, distorções e irracionalidades (HOFSTADTER, *ibidem*). O problema é que a maioria dos conceitos em Física, assim como na Química, na Biologia e também na Matemática estão e são fortemente estruturados a partir de representações do tipo imagéticas, na forma de desenhos, esquemas, mapas conceituais, gráficos e recursos que fazem alusão ao atributo visual.

²² Referência feita por Catherine Gouédard (2006) de um seminário realizado por D.Ochanine, intitulado *L'image opérative* » (1-5 de junho de 1981) na Université Paris 1 (Centre d'Éducation Permanente, Département d'Ergonomie et d'Écologie humaine).

De fato, como demonstrado por Bouyer (2008), Bruno, Bovet e Parrat-Dayan (2007), Pastré, Mayen e Vergnaud (2006) e Viveiros (2005), a construção de representações mentais, quer seja de objetos visuais ou de situações didáticas não é semelhante ao processamento linear da informação tal qual ocorre numa máquina de estado finito (modelo 'entrada da informação-tratamento da informação-saída da informação', do tipo máquina de Turing), cuja reprodução de algum objeto seria algo semelhante a uma fotografia do mesmo, ainda que em determinados casos possa haver certa correspondência entre a natureza visual do objeto observado ou de uma situação vivenciada com sua representação.

Em termos semióticos, para o deficiente visual (e especialmente o cego de nascimento), o atributo visual não é um recurso perceptivo no nível da primeiridade semiótica e, portanto, algum outro sentido (ou todos, exceto a visão) deverá funcionar fazendo o papel do primeiro nível semiótico, que pode ser então a verbalização, o estímulo sonoro, o olfativo, ou o tátil, ou a combinação destes (conceito de estímulo *cross-modal*, intermodal ou multissensorial²³). Tudo isto diz respeito diretamente ao processo de conceitualização do real, conforme pretendido por Vergnaud e que envolve, direta ou indiretamente, algum mecanismo de construção de imagens mentais.

A construção da conceitualização pode, ainda, passar pelo processo de utilização de analogias, que são construções mentais de determinada situação ou realidade física, e vice versa. Quer dizer, a conceitualização utiliza-se do mecanismo de analogia, mas, também, o próprio mecanismo de analogia participa da construção dos conceitos (VERGNAUD; BRUNO, 2002).

Em relação a imagens mentais, diferentemente de Vergnaud, Piaget interessou-se muito pela epistemologia da construção da conceitualização em crianças através do entendimento de como se processa a formação, a estruturação, a articulação, a organização das estruturas cognitivas superiores que dão suporte à complexa constituição das imagens mentais.

²³ Estes três conceitos são idênticos, e a preferência na utilização de um de outro depende do contexto e do público para o qual o texto está dirigido. Assim, normalmente, utilizamos as palavras 'cross-modal' e 'intermodal' em textos mais técnicos (Psicologia do Desenvolvimento, Neurociência Cognitiva), e o conceito 'multissensorial' em textos mais voltados para a área da Educação, Pedagogia ou Didática.

Por esta razão, veremos que uma análise sobre os trabalhos de Piaget em relação às imagens mentais pode esclarecer um pouco esta questão em pessoas com deficiência visual.

Para Piaget a 'imagem' deixa de ser o prolongamento da percepção (como se interpreta em outras teorias), e passa a assumir o papel de símbolo (ou seja, assume um papel semiótico). Quer dizer, a imagem passa a carregar significados implícitos que estarão associados ao objeto real ou imaginado. Na verdade, não é necessária a presença ou existência do objeto no sentido físico.

O indivíduo na fase mais adulta utiliza os esquemas sensório-motores através da manipulação dos objetos ao seu redor, para construir uma espécie de 'imagem mental' (num outro nível diferente da imagem mental de um objeto que é percebido através do 'olhar'). A construção desta nova 'imagem' através da realização da ação visuo-motora²⁴ vai outorgar ao indivíduo a capacidade de construir algum tipo de modelo sobre a própria realidade. Nesta fase, a pessoa consegue então inferir propriedades e leis, e, a partir da construção mental, imagética e, portanto, totalmente abstrata estender isto para manipular ou interagir com os objetos reais e assim constituir comportamentos, ações cognitivo motoras.

Mas como fica a aprendizagem e a possível conceitualização para o deficiente visual, utilizando-se os conceitos de **Assimilação**, **Acomodação** e **Equilibração** piagetianos? Segundo Montoya (2008, p.138): "**A assimilação só se exerce sobre a percepção direta e, ainda, não sobre a representação**".

Mas e quando esta '**percepção direta**' não está presente? Explicando melhor: Se para chegarmos a equilíbrio é necessário passar pela acomodação e, antes, pela assimilação, qual seria a **experiência direta com o objeto**, no caso de uma pessoa cega ou deficiente visual, como ela poderia ter este momento de contato ou de experiência com o objeto? Se o indivíduo vidente possui esta experiência através da percepção visual, enxergando o objeto, inferindo conclusões, propriedades, sobre este objeto, como é que o deficiente

²⁴ É preciso diferenciar, entretanto, ações motoras de ações visuo-motoras. Ainda que nas ações motoras a visão possa estar participando, necessariamente este sentido (visão) não está auxiliando a reelaboração da ação, como ocorre nas ações visuo-motoras.

visual vai deduzir ou induzir as mesmas propriedades somente através do tato, considerando que a pessoa utiliza o tato? Mas e quando a pessoa nem mesmo pode se utilizar deste tato?

No caso desta pesquisa, poderíamos então fazer as seguintes perguntas:

1ª: Qual seria a explicação para a construção de imagens mentais supondo um indivíduo cego, utilizando-se da percepção multissensorial ?

2ª: Será que a maneira como esta pessoa percebe ou constitui a construção da conceitualização é idêntica em relação à pessoa sem deficiência visual?

3ª: Como é que poderia ser oportunizada a experiência sensorial da fase da 'assimilação' através do uso de uma interface cérebro-computador. Como esta interface poderia ser adaptada ou configurada para se constituir uma tecnologia assistiva?

Talvez Montoya (op.cit.) tenha a resposta:

“A representação até então não intervêm e a compreensão progressiva é assegurada somente por uma assimilação sensório-motora pura (ibidem, p.138)”.

Então, se é assim, uma experiência sensorial motora produzida por algum tipo de estratégia didática, quer seja uma estratégia sensorial tátil, como por exemplo, a multissensorialidade, oportunizada pela percepção tátil (e conseqüente construção intuitiva e conseqüente cognição incorporada, fazendo menção aos respectivos conceitos de Rousseau, Pestalozzi e Merleau-Ponty, respectivamente), conseguíssemos chegar a uma conceitualização, segundo o conceito de Vergnaud na TCC. Neste caso, artefatos robóticos e interfaces cérebro-computador, que fossem devidamente adaptados para compor um ambiente de aprendizagem para pessoas cegas ou com deficiência visual poderiam contribuir para a constituição de imagens mentais para o Ensino de Física.

Mas ainda assim há mais uma coisa a ser considerada. Segundo Montoya, para Piaget a questão da 'imagem mental' terá papel diferente de acordo com a

fase cognitiva em termos da idade que se encontra a pessoa, criança, adolescente ou adulto.

Então, na fase pré-operatória a imagem possui uma significação em termos de servir de apoio a formação do pensamento, ou da conceitualização sobre as propriedades dos objetos. Isto nos interessa muito, em razão de imaginar que muitas pessoas com deficiência visual não recebem ou não são estimuladas de acordo com a idade cronológica, biológica, ou cognitiva correspondente, podendo assim gerar mecanismos ou determinadas lacunas dentro do processo de desenvolvimento cognitivo. No capítulo 3 trataremos mais especificamente das orientações com base na Neurociência Cognitiva, observando-se que a estimulação sensorial deve ocorrer o quanto antes quando temos a pessoa com deficiência visual ou cega de nascimento, já que isto contribui para o seu processo de plasticidade cerebral.

Assim, se a imagem do nível pré-operatório desempenha um papel útil de fixação e de consolidação das informações, ela não prepara a operação na qualidade de compreensão da transformação. (MONTROYA, 2008, p.145)

Nesta fase, o papel da imagem não é o de produzir representações abstratas (que são aquelas apenas com referência simbólica), muito pelo contrário, a imagem pode estar apenas servindo para ser a própria coisa em si, ou então modificando a percepção sobre a coisa:

Pode-se observar igualmente que as imagens de reprodução desse período apresentam apenas duas direções: ou elas são fiéis às percepções que elas copiam ativamente ou então modificam as percepções que lhes servem de modelos na direção das pseudo-observações e das deformações no sentido estático e neste caso, longe de preparar as operações, elas reforçam o pensamento pré-operatório nas suas tendências próprias de valorização dos « estados » e de negligência das transformações. (ibidem, p.145).

Mas se é assim, nesta fase, a imagem mental não possui ainda o caráter de símbolo (no sentido semiótico). Então, como se daria o mecanismo para que a

simbolização se iniciasse e se consolidasse com o objetivo de constituir o conceito?²⁵

Se estas transformações participam do processo de elaboração ou de constituição e construção da conceitualização, quão significativa será a participação do atributo perceptivo para o deficiente visual, por exemplo, na forma da percepção tátil, ou da combinação da percepção tátil com a percepção auditiva ou de outras? Ou seja, como esta intermodalidade perceptiva se constitui em termos de contribuir para o processo de conceitualização? Neste sentido, é justo, necessário e oportuno se perguntar o papel da educação, o papel da educação científica em relação a constituição de significados para o indivíduo.

Utilizando, portanto toda esta concepção de Piaget, a Figura 1 mostra qual deveria ser o percurso, caminho ou processo cognitivo empreendido pelo indivíduo deficiente visual com a finalidade de proceder a conceitualização considerando a questão da construção ou constituição da imagem mental.

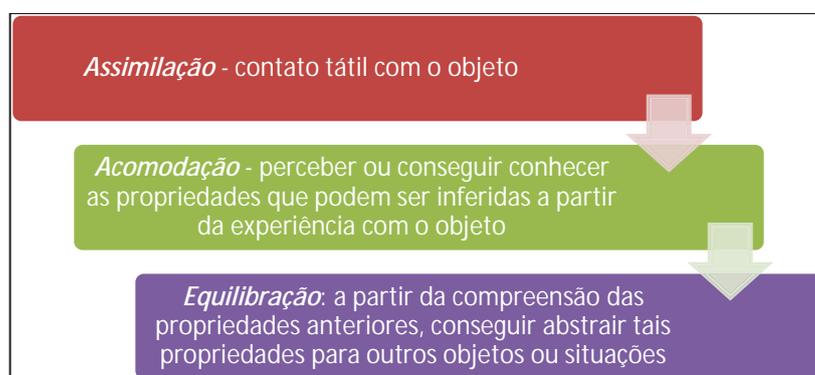


FIGURA 1 – Constructos piagetianos adaptados para a situação da pessoa com deficiência visual.

Em síntese, podemos dizer que a constituição da imagem mental e a consequente construção da conceitualização são dois processos intimamente correlacionados entre si, dos quais existe uma fenomenologia intrinsecamente

²⁵ Esta afirmação será confirmada na fase de coleta de dados, ao analisarmos que o sujeito de pesquisa Mariana utilizava-se da escrita em Braille não como representação simbólica, e sim como maneira de registro mnemônico de conceitos aprendidos.

vinculada a uma espécie de '**continuum**', onde necessariamente ocorrem três fases (semióticas) inter-relacionadas: primeiridade, secundidade e terceiridade.

Em termos semióticos, ou estabelecendo um paralelo entre os conceitos piagetianos (assimilação, acomodação e equilíbrio), com os conceitos de Vergnaud, bem como com as respectivas categorias perceptivas e a natureza do fenômeno físico abordado, podemos construir a seguinte síntese que mostra a relação entre tais enfoques, explicitada pelo Quadro 4.

Quadro 4 – Síntese entre abordagens Semiótica, Epistemologia Genética, Teoria dos Campos Conceituais e Modalidades perceptivas

Semiótica	Piaget	Vergnaud	Categoria perceptiva	Natureza do fenômeno físico
Referente	Assimilação	Situação didática	Unimodal	Significados indissociáveis de representações visuais
Significado	Acomodação	Invariantes operatórios	Intermodal	Significados vinculados às representações visuais
Significante	Equilíbrio	Representações	Amodal	Percepção independente do fenômeno

O que é comum em tudo isto é a natureza ou o caráter intermodal da percepção, ou seja, a maneira como o sistema perceptivo-interpretativo-representativo humano lida com o mundo, não de uma maneira 'linear' ou, melhor dizendo, não apenas baseado no antigo paradigma da relação 'estímulo-resposta' de escolas como o behaviorismo, mas sim, considerando uma complexa rede de inter-relações.

Esta propriedade ou característica intermodal ou multissensorial está sendo apoiada por recentes descobertas na neurociência, contradizendo o paradigma de que as funções cerebrais são localizadas em uma única região cerebral. Tais estudos mostram que quando ocorre determinado estímulo, outras regiões

do cérebro participam parcialmente da percepção e da interpretação deste estímulo.

Por esta razão os processos de ensino-aprendizagem baseados no conceito de estimulação intermodal podem favorecer a otimização da aprendizagem, já que mais áreas cerebrais estão envolvidas no processo (AMEDI et al., 2005). Corroborando esta ideia, atividades didáticas utilizando-se a modalidade multissensorial, em temas bastante complexos como a óptica, podem ser trabalhados com deficientes visuais, desde que observadas alguns procedimentos e estratégias necessários para que tais pessoas consigam participar com grande grau de igualdade em relação aos alunos videntes, como bem mostra por exemplo o trabalho “Artefatos Tátil-visuais e Procedimentos Metodológicos de Ensino de Física para Alunos com e sem Deficiência Visual: Abordando os Fenômenos Presentes na Fibra Óptica e em Espelhos Esféricos” (CAMARGO et al., 2012).

A interpretação neurocognitiva multissensorial é sustentada pelo neurocientista brasileiro Miguel Nicolelis em vários princípios, dos quais citamos apenas alguns: **Princípio de ação multitarefa neuronal**, **Princípio da incerteza neurofisiológica** e **Hipótese do continuum espaço temporal neuronal** (NICOLELIS, 2011; NICOLELIS; LEBEDEV, 2009) cuja interpretação translacional aplicada à área educacional levar-nos-ia a dizer que num processo de aprendizagem todo o cérebro possui participação ativa no que está ocorrendo, embora determinadas regiões possam estar aparentemente mais recrutadas do que outras. Sendo assim, a rigor, não existe a delimitação cerebral em regiões rigidamente estabelecidas em relação às funções cerebrais em situações também relacionadas com a aprendizagem, embora cada tarefa cognitiva possua suas especificidades.

Por exemplo, ao estruturarmos situações de aprendizagem que favorecessem competências e habilidades específicas nas áreas da Matemática ou da Física (resolver um problema e efetuar um cálculo físico-matemático, por exemplo), seria interessante trabalhar com atividades ou estímulos direta ou indiretamente relacionados com aquela tarefa e habilidade.

Neste sentido, algumas pesquisas demonstram que o treino com a percepção musical (onde se trabalha a habilidade rítmica, que envolve implicitamente conceitos de tempo, velocidade e frequência) e o desenvolvimento de atividades cognitivas sensório-motoras (físicas) estimulam determinadas habilidades matemáticas (VAUGHN, 2000). Isto ocorre muito provavelmente porque no trabalho musical efetua-se a ativação intermodal do tipo tátil-sonora (WAN, 2010). Entretanto, esta conclusão não infere que isto signifique qualquer alteração no nível do coeficiente de inteligência (QI) (SCHELLENBERG, 2011).

Atualmente, o campo da investigação de processos neurocognitivos envolvendo tarefas de natureza intermodal, ou multissensorial, está sendo levado a cabo por parcela significativa de pesquisadores internacionais, justamente porque isto já está trazendo uma revolução sem precedentes históricos para a área educacional. Portanto, relevar o papel em sala de aula de situações didáticas multissensoriais, não apenas para o indivíduo com deficiência visual, mas para todo o alunado, é algo a se considerar, principalmente para o Ensino de Ciências.

Estes aspectos que relacionam a natureza do comportamento humano, sua maneira de perceber e lidar com o mundo exterior, seus processos de elaboração conceitual (conceitualização) e a conseqüente representação de tais processos, podem receber considerável contribuição a partir de uma interpretação que possua um aporte com uma preocupação de fundo epistemológico a partir de resultados da Neurociência Cognitiva aplicados ao campo educacional.

Particularmente, interessa-nos interpretar tais resultados para o campo da pesquisa em Educação para a Ciência e, mais ainda, para a pesquisa em Ensino de Física, especialmente para a pessoa com deficiência visual.

2.3 Considerações finais: uma abordagem específica para a conceitualização dentro do Ensino da Física para deficientes visuais

Já podemos perceber que uma interpretação desenvolvimentista do processo de conceitualização, como esta pretendida por Vergnaud através da Teoria dos Campos Conceituais é necessária para compreendermos como ocorre a constituição dos invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação) e as respectivas representações que o indivíduo elabora para lidar com a conceitualização.

Contudo, é necessário também levar em consideração uma abordagem epistemológica específica para a fenomenologia envolvida na aprendizagem dos conceitos da Física, já que tal abordagem mostra categorias fenomenológicas absolutamente advindas e direcionadas para a compreensão dos fenômenos da Física. E isto se torna ainda mais evidente a partir do momento em que tais considerações foram obtidas a partir da pesquisa científica em educação científica tendo como fonte e material de análise exatamente pessoas com (e sem) deficiência visual.

Finalmente, exatamente por estarmos interessados nesta fenomenologia da conceitualização segundo a pessoa com deficiência visual, tornou-se necessário considerarmos o chamado fenômeno da 'imagem mental'. Isto porque tal abordagem nos dá um aporte para conhecermos como pode se dar o processo da conceitualização em pessoas com deficiência visual, pela constatação evidente de que o deficiente visual não se utiliza do mecanismo visual para a conceitualização.

Entretanto, chegado a este ponto, perceberemos a necessidade de aprofundar a pesquisa considerando resultados empíricos emergidos da Neurociência Cognitiva, justamente porque isto pode complementar a pesquisa educacional, trazendo elementos translacionais (transdisciplinares).

Contudo, conforme já mencionado, tais resultados devem ser interpretados considerando-se que estamos trabalhando dentro do campo da epistemologia do conhecimento. Por esta razão, consideraremos a abordagem da Neurociência Cognitiva sob uma perspectiva epistemológica, que será desenvolvida no Capítulo 3.

CAPÍTULO 3 DA EPISTEMOLOGIA DA CONCEITUALIZAÇÃO A NEUROCIÊNCIA COGNITIVA: UMA COMPREENSÃO MAIS REFINADA SOBRE A CONDIÇÃO DA PESSOA COM DEFICIÊNCIA VISUAL

3.1 Avant-propos: algumas questões heurísticas e epistemológicas *au debut* do debate

Ainda que procuremos infundáveis definições, **'conceitos'** são, na verdade, **'tokens'** (utilizando também um conceito), são constructos mentais (KELLY, 1955) elaborados pelo próprio indivíduo (ou por uma comunidade, como o *metier* científico) que se direcionam compondo um conjunto de ideias e ações organizadas, que resulta naquilo que em Educação é chamado de 'aprendizagem'.

O conceito é a elaboração formada na estrutura cognitiva pelas componentes percepção, objeto mental, conceitualização e representação. Mas a percepção é diferenciada do conceito, e nisto reside um grande problema epistemológico: "A prova da realidade consiste na comparação de um conceito ou de uma imagem com a percepção." (CHANGEUX, 1991, p. 145)

Abordamos questões semelhantes nos Capítulos 1 e 2 quando mencionamos o ponto de vista de Stephen Kosslyn e de Jean Piaget a respeito das imagens mentais e sua participação no sistema cognitivo em função de sua estreita dependência na construção do conceito.

Agora, neste capítulo, daremos um direcionamento destas mesmas ideias, voltadas para uma interpretação segundo a linguagem e os procedimentos da neurociência cognitiva, por acreditarmos que um novo ponto de vista teórico e empírico pode revolucionar a maneira como temos pensando a pesquisa em

Ensino de Física e a consequente aplicação dos resultados destas investigações.

Para o já citado neurocientista francês Jean-Pierre Changeux, o isomorfismo entre a percepção e o objeto exterior acontece porque existe a nível dos neurônios, sob a forma de '*grafos de significados*' (não no sentido de grafos desenhados sobre uma folha de papel, ou na tela de um computador) correlacionados a estes neurônios, formando como que estruturas que compõem mapas que são uma representação imagética dos órgãos dos sentidos.

A memorização de uma pré-representação sob a forma de uma imagem ocorre na medida em que os grafos da percepção e da pré-representação possuem neurônios em comum. Resulta daí uma supressão da componente sensorial que acarreta a perda de 'vivacidade' da imagem, atenua o seu realismo, o seu isomorfismo em relação ao objeto representado. Devido a diversidade e ao caráter transitório das pré-representações, apenas algumas características do objeto exterior são memorizadas e estas características podem variar de uma experiência para outra. O isomorfismo pode perder-se completamente com a formação do conceito abstrato (CHANGEUX, 1991, p.146).

É óbvio que tais '*grafos da percepção*' são uma metáfora, mas transpondo esta explicação para o ensino de conceitos tal como se realiza comumente no ensino de Física, ou seja, privilegiando-se mais o caráter abstrato do conceito, fica fácil compreendermos a razão pela qual um aprendiz iniciante na Física possuirá dificuldade em diferenciar seus próprios conceitos espontâneos (aqueles conceitos que o indivíduo possui, as concepções prévias) e o respectivo conceito científico, ensinado pelo sistema escolar. Justamente porque o conceito científico se apresenta de uma maneira tão abstrata que faz com que seja perdido o isomorfismo (que é uma espécie de relação de equivalência nas funções) com o fenómeno físico que ele quer representar. E isto dificultará a formação de novos conceitos. Prossigamos com Changeux:

"A elaboração de novos conceitos, a imaginação, nasce do encadeamento, da combinação dos conceitos e das imagens e da sua seleção (ibidem, p.146)".

Ou seja, o isomorfismo entre **percepção e objeto**, entre **conceito e objeto**, e entre **percepção-conceito**, será tanto menor quanto maior seja a dissonância cognitiva (FESTINGER, 1957). Falando de outro modo: o isomorfismo é maior quanto maior for a ressonância entre a percepção e o conceito (ou também a imagem mental do objeto ou do fenômeno físico).

Por outro lado, este modelo enfraquece o argumento pseudo-psicológico que sustenta a noção de perfil conceitual, já que a fundamentação neurocognitiva vai dizer que não é que vários perfis conceituais (e epistemológicos) coexistam simultaneamente na estrutura cognitiva do indivíduo. E sim, que os *tokens* ‘perfis conceituais’ são pré-representações que se enfraquecem na medida que se varie o isomorfismo entre o objeto (na forma de fenômeno físico) e sua representação.

Esquemáticamente, nas Figuras 2 a 4 mostramos as relações binárias entre objeto, percepção e conceito, e na Figura 5 a combinação entre estes elementos na forma de uma diagrama de Venn.



FIGURA 2 - Relação objeto/percepção

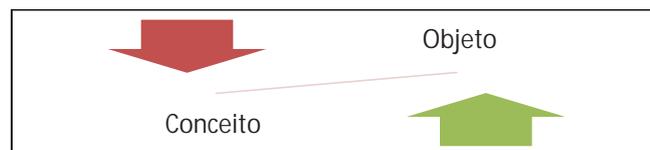


FIGURA 3 - Relação objeto/conceito

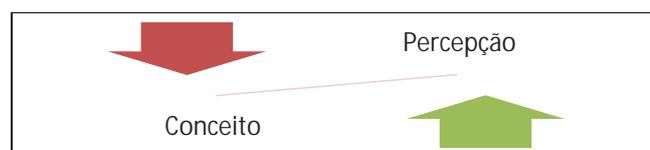


FIGURA 4 - Relação percepção/conceito



FIGURA 5 - Diagrama de Venn mostrando a relação entre objeto, percepção e conceito, as áreas coloridas indicam a superposição dos elementos (verde: percepção/objeto, azul: objeto/conceito; amarelo: percepção/conceito; vermelho: objeto/percepção/conceito)

Estes esquemas gráficos não traduzem exatamente a complexa fenomenologia destes atributos, entretanto, de maneira esquemática podemos perceber pela Figura 5 uma região de superposição entre os três elementos (percepção, objeto e conceito). Mas esta correspondência não acontece de maneira direta, quer dizer, não ocorre sem antes passar (aproximadamente) pelas etapas representadas esquematicamente pelas Figuras 2, 3 e 4.

Ainda para Changeux *“o caráter deslocalizado do conceito relativamente à percepção ou à imagem e o facto de ele se poder formar a partir de neurônios situados nas áreas ‘associativas’ aumenta-lhes as possibilidades de ligação com outros objetos mentais (CHANGEUX, 1991, p. 146)”*.

Quer dizer, o *locus* neuronal dos conceitos no cérebro está situado nas regiões chamadas ‘associativas’, que são áreas responsáveis por fenômenos de associação, e não nas áreas onde a percepção e as imagens são formadas.

Isto contradiz uma noção de senso comum utilizado frequentemente em Didática, que é a ideia de que a aprendizagem do conceito é uma função unívoca fundamentada apenas no domínio simbólico do conceito, completamente desmembrado e dissociado da percepção.

E o principal domínio simbólico empregado em grande proporção nas metodologias de ensino de Física está totalmente vinculado e indissociável a estratégias, modelos e metáforas visuais, sendo que determinados temas em Física não podem ser comunicáveis exclusivamente pela via visual, principalmente se este ensino está sendo praticado para pessoas deficientes visuais. A este respeito, Camargo (2011) vai dizer que “é importante frisar a necessidade de o docente não adotar a estrutura empírica audiovisual interdependente, muito frequentemente em contextos caracterizados pela não-interatividade” (CAMARGO, 2011, p.209).

Neste aspecto, no caso da Física, conforme vimos defendendo, a participação da linguagem enquanto sistema cognitivo semiótico de estabelecimento significante/significado terá papel decisivo. Nas palavras de Changeux:

O caráter arbitrário do sistema de signos²⁶ implica um acoplamento percepção-conceito de tipo ‘neutro’ que é objeto de uma longa aprendizagem durante o desenvolvimento. Pelo contrário, a “linguagem do pensamento”, permanentemente sintonizada na realidade, será muito menos arbitrária que a linguagem das palavras (CHANGEUX, 1991, p.146).

Esta característica da linguagem do pensamento ser menos arbitrária é porque ela está mais próxima do objeto em si mesmo (porque utiliza mais as vias da percepção e menos da interpretação) e, portanto, mais distante do conceito, do significado.

Por outro lado, a linguagem conceitual acadêmico-científica procura se aproximar da linguagem do pensamento. E ela faz isto tentando adquirir uma característica semiótica chamada de ‘estado não-degenerado’ (SANTAELA, 2001). Neste estado os conceitos estão muito mais próximos dos objetos (fenômenos físicos) que representam. Então, desta maneira, a linguagem dos conceitos em Física passa a ser associada a signos, e quanto mais indivíduos compartilharem os mesmos significados para determinado símbolo ou signo associado a um objeto ou conceito, menos degenerado, ou mais genuíno, será este símbolo.

²⁶ Jean-Pierre Changeux utiliza-se aqui do conceito de ‘signo’ conforme definido por F. de Saussure.

Mas, na verdade, todo percurso que o ser humano atravessa até construir um símbolo genuíno passa, necessariamente, por estados degenerados semioticamente falando.

Portanto, a aprendizagem conceitual que tanto se busca no Ensino de Física, não deve ficar restrita apenas e tão somente a procedimentos de ensino enquanto símbolo (secundidade ou terceiridade semiótica), e sim buscar também aquilo que o conceito possui enquanto percepção, objeto e, somente mais tarde, após a elaboração (mental) migrar à etapa de conceitualização (constituição de invariantes operatórios).

Em termos neurocognitivos, é necessário que exista uma fase anterior à elaboração do conceito enquanto signo, enquanto símbolo, na estrutura cognitiva, e isto relaciona-se com fenômenos de ‘mente incorporada’, de ‘cognição incorporada’, *umwelt*²⁷, *embodiment*, e conceitos congêneres. Mas estes mesmos fenômenos se manifestam na fase posterior à conceitualização. Segundo Bouyer (2008):

Este sistema não opera e nunca operou por representação de um mundo objetivo predeterminado, mas sim por ação incorporada (perceptivamente orientada) de caráter atuacionista (BOUYER, 2008, p. 202).

Desta forma, a medida que o sistema de representação simbólica ultrapassou a etapa da expressão da linguagem, os conceitos (estabelecendo um paralelo com os invariantes operatórios, conceitos e **teoremas-EM-AÇÃO**, na concepção de Vergnaud dentro da Teoria dos Campos conceituais) passam a fazer parte da estrutura somatosensorial do indivíduo:

As metáforas conceituais, ou esquema-imagens (*“image-schemata”*) não são estruturas arbitrárias, mas sim embasadas na experiência física e cultural dos operadores. A estrutura de seus conceitos espaciais emerge de sua experiência espacial, ou seja, sua interação com o ambiente físico na produção. Os conceitos da produção que emergem dessa forma são os conceitos vividos ou vivenciados nas mais fundamentais experiências (ibidem, p.138).

²⁷ Segundo Bouyer (2008, p.77) “*umwelt* é a estrutura do conjunto ou meio ambiente emergente da ação incorporada do ser, que comporta a relação partes-todo (agente-atuação-mundo) e faz emergir as possibilidades de linguagem e intercompreensão entre os agentes aí situados”.

É claro que o contexto acima é totalmente diferenciado do contexto escolar, pois diz respeito à aprendizagem e prática profissional, mas podemos aprender com esta experiência tentando estabelecer um paralelo que pode ser transposto, adaptado ou emulado para o Ensino de Física.

Assim, de maneira diametralmente oposta a esta noção de cognição incorporada, este ensino brasileiro de Física que é baseado na aplicação de estratégias didáticas através centradas exclusivamente em conceitos, é chamado em neurociência cognitiva de 'paradigma unimodal'. Este paradigma (de estimulação) unimodal tem como entendimento que a apreensão de determinadas 'competências e habilidades' estão associadas à respostas cognitivas especificamente localizáveis em regiões cerebrais únicas. Ou seja, existe uma cartografia das funções cerebrais e dos estímulos (unimodais) correspondentes.

Trazendo isto a nível do modelo institucional nacional brasileiro de ensino de Física, nos deparamos com a Matriz de Competências e Habilidades em Física, que foi totalmente derivada e adaptada da taxonomia de Bloom, para compor os Parâmetros Curriculares (PCNs) para o Ensino de Física. No texto dos PCNs de Física não faltam referências a um tipo de ensino contextualizado, multi e interdisciplinar. Tais orientações dão uma pseudo ideia de um ensino com características que privilegiam estratégias multimodais, multissensoriais.

Entretanto, na prática docente, questionamos se o que ocorre, de fato, não é exatamente o oposto, ou seja, pratica-se um ensino com um perfil predominantemente unimodal em sua gênese praxiológica, principalmente quando não lida com a operacionalização sobre os fenômenos físicos em si mesmos, associando ou vinculando um tipo de aprendizagem com cognição incorporada, onde entra em cena os atributos sensoriomotores corporais.

No capítulo 4 de *"Beyond Boundaries"* (edição em português "Muito além do nosso eu"), Miguel Nicolelis (2011) faz uma descrição primorosa sobre a questão neurocognitiva relacionada ao que chamamos aqui de 'paradigma unimodal', mencionando o desafio criado pelo cientista alemão Christoph von

der Malsburg, chamado de 'problema da encadernação' (*binding problem*), assim descrito por Nicolelis:

(...)se o cérebro de fato processa cada novo estímulo sensorial, primeiramente, por meio de uma decomposição da estrutura original deste estímulo sensorial num conjunto de atributos primários, cada um dos quais representado por um único grupo especializado e espacialmente segregado de neurônios corticais, qual é o mecanismo que permite que esse mesmo cérebro "encaderne" toda essa informação, que foi quebrada e dispersa espacialmente em diferentes áreas corticais, para reconstruir cada uma de nossas experiências perceptuais cotidianas dos objetos complexos encontrados no mundo que nos cerca? (NICOLELIS, 2011, p.81).

A resposta a esta complexa pergunta vai acontecer na sequência do mesmo livro, mas o que disto nos interessa para nossa discussão neste trabalho, resulta numa conclusão inequívoca para a Educação como um todo e, especialmente para a pesquisa em Ensino de Física: *é necessário investigarmos o ensino-aprendizagem desde um ponto de vista menos fragmentado, considerando que o cérebro é um 'todo' complexo, composto de partes sistemicamente e funcionalmente relacionadas entre si.*

Assim, para transpormos o que Nicolelis chamou de paradigma reducionista (alusão ao paradigma unimodal), temos que levar em consideração que:

- a) O estado dinâmico interno do cérebro no momento do encontro com um novo estímulo, assim como as expectativas internas criadas por ele antes desse encontro;
- b) A história evolutiva e perceptual acumulada que resume os múltiplos encontros prévios do sistema nervoso de toda uma espécie e de cada indivíduo com estímulos semelhantes e distintos;
- c) A habilidade adaptativa do cérebro, que lhe permite modificar suas expectativas internas a partir do encontro com uma nova experiência perceptual;
- d) O valor emocional associado ao estímulo;
- e) A produção de uma série de comportamentos motores, incluindo movimentos oculares, da cabeça e das mãos, que visam produzir uma amostragem ativa do estímulo (NICOLELIS, 2011, p.79).

Esta importantíssima discussão é aprofundada por Nicoletis, e melhor explicada através de um princípio que o autor chamou de “**Princípio de ação multitarefa neuronal**”, que resumidamente assume que qualquer tarefa cognitiva envolve o conjunto do cérebro (e neurônios) como um todo e não apenas este ou aquele grupo de neurônios ou região isoladamente das outras.

Desta maneira, provavelmente possamos nos aproximar mais da resposta sobre como o indivíduo organiza seu pensamento para processos de conceitualização científica, num sentido de uma cognição incorporada. Uma investigação sobre a condição neurocognitiva da pessoa com deficiência visual poderia esclarecer ou, pelo menos, dar algumas pistas para isto, o que faremos a seguir.

3.2 A Neurociência para a deficiência visual: uma abordagem epistemológica

O texto que se segue foi adaptado de artigo redigido pelo mesmo autor desta pesquisa, e publicado em 2011 na Revista Góndola, sob o título “Deficiência visual e educação científica: orientações didáticas com um aporte na neurociência cognitiva e teoria dos campos conceituais”.

Para compreender melhor a fenomenologia do indivíduo com deficiência visual utilizaremos uma interpretação translacional de conceitos e resultados empíricos da Neurociência Cognitiva (CHOI; PAK, 2007; SOCIETY FOR NEUROSCIENCE, 2003). Mas para iniciar o tema, consideramos pertinente mencionar a obra “Fundamentos de la defectologia”, de Vygotsky (1995), especialmente o capítulo “El niño ciego”. A escolha por este texto, frente a tantos outros na literatura sobre o tema, provém do fato que tal obra é considerada clássica para os estudos em educação especial, principalmente face ao importante trabalho que Vygotsky realizou com pessoas deficientes.

A base das ideias que Vygotsky apresenta neste texto se fundamenta na noção de “compensação”, onde a falta de determinado sentido favoreceria o desenvolvimento de outro sentido. Alguns autores consideram que esta interpretação é equivocada, já que em si não ocorre nenhuma alteração no desenvolvimento da função cognitiva em virtude da ausência ou diminuição de outro sentido (REGO-MONTEIRO et al., 2007). Entretanto, Gindis (1995) destaca que são exatamente os processos sócio-cognitivos, como a interação social oportunizada por um contexto escolar inclusivista, que fariam com que houvesse esta “compensação”. Há ainda outras noções apresentadas por Vygotsky: 1) o cego de nascimento não forma imagens mentais visuais; 2) possui concentração e memória mais desenvolvidas do que os videntes; 3) a cegueira impulsiona o indivíduo a criar mecanismos internos de compensação para vencer o obstáculo da ausência da visão; 4) a linguagem falada é o mecanismo por excelência que o cego se utiliza.

Para discutirmos algumas destas ideias, inicialmente definiremos o conceito mais importante e básico da neurociência, que é o conceito de plasticidade cerebral. A plasticidade ocorre em todo indivíduo, e não somente no deficiente visual, e é uma propriedade que permite ao cérebro humano adaptar-se e até regenerar-se frente a possíveis lesões (DAS et al., 2001). A plasticidade cerebral no deficiente visual produz o remapeamento cerebral, estimulando a associação das áreas visuais não ativadas com outras áreas perceptivas (como o tato e a audição).

Esta adaptação leva ao conceito de plasticidade cross-modal (ou intermodal), a partir do momento em que o deficiente visual compila a contribuição de outros sentidos e estratégias cognitivas para procurar efetuar algumas tarefas que pertencem a área exclusiva da visão (THÉORET et al., 2004). Cada deficiente visual pode ter seu próprio padrão de plasticidade intermodal, já que o indivíduo desenvolve estratégias próprias para lidar com a ausência do sentido da visão. Por esta razão dissemos anteriormente que as outras modalidades unimodal e amodal, respectivamente, participam do mecanismo neurocognitivo do indivíduo no sentido de constituir a imagem mental de um objeto ou de determinada situação ou fenômeno.

Interpretado sob o ponto de vista funcional da dinâmica cerebral, a plasticidade intermodal consiste na combinação de um ou de mais estímulos simultaneamente. Nestes casos, existe uma superposição interpretativa pelo cérebro de acordo com o tipo de estímulo ao que o indivíduo é submetido. Em tal situação, quando a atividade envolve as variantes da deficiência visual (baixa visão, visão subnormal, cegos congênitos ou cegos adquiridos, respectivamente) é notável observar como o fenômeno da neuroplasticidade ocorre nestas situações, principalmente quando comparado a indivíduos videntes.

Indivíduos com cegueira congênita apresentam dificuldade na formação mental de imagens (KNAUFF; MAY, 2006). Em indivíduos cegos adquiridos (que enxergaram anteriormente) a capacidade de construir imagens mentais de objetos vai diminuindo drasticamente (HOLLINS, 1985), e isto também é outra maneira de se constatar a neuroplasticidade.

Röder, Rösler, Hennighausen e Näcker (1996) testaram a participação do córtex occipital²⁸ de cegos no processamento de estímulos não-visuais, por exemplo, durante estimulação sonora. Neste caso, para estes pesquisadores, mostrou-se que estímulos auditivos provavelmente não exercem ativação sobre o córtex visual primário, diferentemente do que ocorre com a estimulação tátil.

Em termos dos ritmos cerebrais alpha, beta, gama, delta e theta, que são importantes para se estudar a correlação entre a dinâmica do comportamento elétrico de cada região do cérebro e possíveis correlações com funções cognitivas superiores (como a atenção e a memória, respectivamente), segundo Bonini-Rocha e colaboradores(2008) em indivíduos videntes, o aparecimento de ondas alpha na área sensitiva e motora primária e secundária predispõe a aprendizagem de tarefas motoras (o que não se constitui ainda em atividade motora em si mesmo). Entretanto, segundo Kriegseis, Hennighausen, Rösler e Röder (2006), cegos congênitos apresentam redução da atividade Alpha, provavelmente em função ou do mecanismo da plasticidade intermodal

²⁸ O córtex occipital é a região predominante da interpretação dos estímulos visuais, e localiza-se na parte de trás do cérebro. Na referência dos equipamentos de eletroencefalograma, como a interface cérebro-computador utilizada nesta pesquisa, os eletrodos desta região occipital são indicados pelos códigos O₁ e O₂, respectivamente, dos lados esquerdo e direito do cérebro.

ou da própria dificuldade do cérebro em produzir ondas Alpha. Curiosamente, no levantamento de dados realizados nesta pesquisa, encontramos ondas Alphas em vários tipos de tarefas cognitivas, mesmo em tarefas motoras, como a percepção tátil de objetos tridimensionais e a leitura Braille, o que sugere predisposição para aprendizagem, conforme será mencionado na análise destes tipos de dados.

Contudo, quando uma atividade motora entra em ação, serão as ondas Beta que deverão prevalecer. É o que acontece quando um deficiente visual trabalha a estimulação tátil (KRIEGSEIS et al., 2006). Toda esta dinâmica interpretativa dos ritmos torna-se importante na medida em que tais pesquisas procuram esclarecer mecanismos relacionados com diversos tipos de aprendizagem.

O sentido da visão, diferentemente da audição, é um fenômeno da consciência humana mais que apenas algo físico, óptico biológico ou fisiológico (COLIN, 2004). A visão é interpretada pelo cérebro, pela mente e consciência do indivíduo. É um sentido altamente subjetivo, sintético (não somente analítico, como o tato) e isto traz vantagens, como no caso da substituição sensorial.

Em um experimento envolvendo discriminação vibro-táctil, indivíduos com cegueira congênita ou que perderam a visão há muito tempo, tiveram um desempenho melhor do que cegos mais recentes ou mesmo em relação a indivíduos videntes (WAN, WOOD et al., 2010; WAN, 2010). Em algumas tarefas táteis, resultados semelhantes foram obtidos com indivíduos cegos comparados apenas a indivíduos videntes (ALARY et al., 2009).

Em pessoas videntes, o processo de formação de imagens mentais ativa o córtex visual, e o mesmo ocorre em relação aos deficientes visuais (KOSSLYN et al., 1993; KOSSLYN et al., 1995) quando estimulados por outro sentido, como o tato, ou associado a outros sentidos (audição e até o cheiro²⁹). De fato, alguns estudos apontam que indivíduos cegos congênitos criam imagens mentais (ALEMAN et al., 2001; ARDIT et al., 1988). Em todos os casos, o ganho na aprendizagem envolvendo a exploração de objetos será muito mais eficiente se efetuar-se o reconhecimento utilizando-se a maior quantidade

²⁹ A participação de outros estímulos como o auditivo e o cheiro na estimulação do córtex visual primário não é consenso entre os pesquisadores.

possível de sentidos (como o tato e a visão, no caso da pessoa vidente), do que utilizar apenas um único sentido (NEWELL et al., 2003).

É fundamental que qualquer para qualquer grau da deficiência visual, seja executado procedimentos visando o treino de sua percepção, locomoção e integração ao meio exterior no qual ele está participando. Neste sentido, o trabalho com a '*mental imagery*' (imageria mental ou imagem mental) torna-se de extrema importância, principalmente em crianças (GAUNET; THINUS-BLANC, 1996; KOSSLYN et al., 1995; RAYNARD, 1991). Segundo Grush (2004), a experiência sensorial-perceptiva envolvendo a parte motora contribui para que o cérebro construa mais circuitos neurais que auxiliarão na composição das imagens mentais do indivíduo. Isto formaria algo como uma sequência de quadros de um filme, produzindo significado real na consciência ou na mente do sujeito. Este mesmo tipo de estimulação associa-se às mesmas áreas sensoriais (HWANG; KWON, 2009; NEUPER et al., 2009; NEUPER et al., 2005). Observemos que estamos falando de 'imagem mental' e não 'imagem visual'.

Em outra atividade multissensorial, agora englobando uma estimulação áudio-tátil, associada à percepção espacial-corporal (mãos cruzadas ou descruzadas na linha mediana do corpo). Na posição com as mãos cruzadas, indivíduos videntes mostraram grande dificuldade da *performance* tátil, e um déficit ainda maior para indivíduos que ficaram cegos há muito tempo. Isto é interpretado a partir do processo de remapeamento cerebral tátil e representação espacial proprioceptiva. Já em cegos recentes, na posição com as mãos descruzadas ocorre uma soma não-linear, que não ocorre com as mãos cruzadas. Isto provavelmente é explicado pelo fato de que nestes indivíduos as interações áudios-táteis na postura cruzada produz um sistema de coordenadas (internas) mal alinhadas. Isto demonstra o importante papel que a visão mais antiga representa para o desenvolvimento da percepção multissensorial e da ação de controle no espaço peri-pessoal (COLLIGNON et al., 2009). Por este motivo, é importante que a estimulação deste tipo de percepção multissensorial ocorra numa idade próxima aos 5 anos de idade (PAGEL et al., 2009).

Outra associação entre processos de formação de imagens mentais e correlação com imagens visuais em cegos é encontrada no estudo de sonhos. Contrariando o senso comum, a análise da atividade elétrica do eletroencefalograma (EEG) em cegos inatos durante o sono sugerem a existência de padrões que se assemelham aos mesmos padrões das imagens visuais (BÉRTOLO; PAIVA, 2001). Provavelmente, conforme dito anteriormente, a região do córtex visual primário deverá estar sendo recrutada neste tipo de atividade, indicando uma neuroplasticidade.

A neuroplasticidade em cegos também pode ocorrer sem nenhuma estimulação artificial e sim de acordo com suas aprendizagens próprias e precedentes, dependentes diretamente do histórico de vida do indivíduo (LAMBERT et al., 2004). O psicólogo Richard Held estudou um paciente que mesmo tendo perdido a visão completamente, conseguiu se locomover através de objetos num ambiente com obstáculos, sem, entretanto ter efetuado qualquer treino específico para esta tarefa. O estudo publicado num dos periódicos mais respeitados internacionalmente (*Current Biology*) analisou por neuroimagem que o córtex visual desta pessoa não é ativado em nenhuma situação onde ele receberia algum tipo de estímulo visual. O sujeito analisado (denominado no artigo por TN) perdeu a visão após dois derrames cerebrais, mas preservou células no córtex visual que recebem estímulos da retina, localizados em áreas subcorticais. Os cientistas descartaram ainda uma possível orientação espacial através do sentido da ecolocalização. O que o estudo mostrou foi que estas áreas subcorticais preservadas que são associadas à visão se conectam com a amígdala, que realiza funções relacionadas com a parte emocional. Este fenômeno já era relatado desde os primórdios do Século XX, sendo na época chamado de 'visão residual'. Mas o caso de TN é o primeiro onde foi realizado um estudo científico estudado detalhado com neuroimagens, e atualmente a medicina denomina este fenômeno de 'visão cega' (em inglês *'blindsight'*). O estudo sugere ainda uma possível associação do subconsciente com mecanismos da visão (DE GELDER et al., 2008).

Outro exemplo muito significativo disto é do pintor turco cego Esref Armagan, que é capaz de desenhar objetos ou edifícios em perspectiva (KENNEDY;

JURICEVIC, 2006). O córtex visual de Armagan foi desenvolvido com uma plasticidade intermodal principalmente através da estimulação tátil, e em proporção menor em relação a estimulação sonoro-auditiva da verbalização (descrição falada da cena ou do objeto a ser desenhado ou pintado, realizado por outra pessoa), o que seria mais esperado ocorrer com parte dos cegos (PASCUAL-LEONE et al., 2005).

Mencionando agora as funções cognitivas superiores, há uma correlação positiva entre a supressão da visão e a *performance* mais desenvolvida nas funções cognitivas de atenção e memória, devido ao mecanismo da neuroplasticidade ‘compensatória’ (RAZ et al., 2005; AMEDI et al., 2003).

Segundo Bocianski, Müsseler e Erlhagen (2010), em tarefas visuo-motora em videntes a atenção concentrada otimiza completamente o erro entre a previsão mental e o exato posicionamento na localização de um objeto, quando comparado a situações onde a atenção estava dividida ou distribuída, respectivamente. Esta descoberta pareceria óbvia, mas existe outro aspecto mais importante nesta pesquisa. É confirmado ainda por estudos fisiológicos e de neuroimagem, que esta maior acurácia do mecanismo atencional não é decorrente apenas e tão somente do condicionamento motor, ou do treino visuo-motor, como poderia se esperar, e sim de uma espécie de ‘antecipação mental intencional’ que ocorre na fase chamada de pré-motora. Este mecanismo de ‘antecipação’ que ocorre nesta fase pré-motora poderá ser um indicativo do processo de conceitualização (constituição dos invariantes operatórios, conceitos e teoremas-em-ação, segundo Vergnaud)? Teremos esta resposta através da análise dos dados do Corpus 1 e Corpus 3.

Se o cérebro do deficiente visual desenvolve “naturalmente” a plasticidade cerebral como uma função de auto regulação, por outro lado traz a vantagem de poder ser monitorada e controlada pela própria pessoa (*biofeedback*), por uma interface cérebro-computador ou outros dispositivos de *neurofeedback*, e com isto ter seu funcionamento otimizado no nível neurológico e do comportamento (ROS et al., 2010; ZACKSENHOUSE et al., 2007; PINKERS, 1988). Particularmente isto é significativo, pois a maioria dos deficientes visuais utiliza o atributo verbal/sonoro (na forma de uma modalidade perceptiva do tipo

unimodal ou até amodal) como a principal e mais importante modalidade sensorial para a construção das imagens mentais e dos conceitos sobre os fenômenos.

Contrariando o senso comum e, inclusive nossa própria observação quanto ao desempenho no processo de verbalização ou comunicação nos sujeitos da pesquisa aqui analisada, Nejati e Asadi (2010), encontraram que indivíduos cegos possuem menor *performance* em tarefas semânticas de fluência verbal fonêmica, quando comparados com indivíduos videntes. No entanto, os próprios autores do estudo reconhecem que outros estudos realizados com pessoas cegas onde estas tem que simultaneamente tomar uma decisão quando duas tarefas são realizadas simultaneamente (geralmente uma tarefa auditiva e outra tátil), tais pessoas tem um desempenho maior comparado com videntes. Outra questão é que o teste utilizado no estudo (Teste de Fluência Verbal) não é completamente vinculado ou associado ao processo comunicativo empregado na linguagem corrente, ainda que o teste exija que o indivíduo estabeleça relação semântica entre letras e objetos. Inclusive, os próprios autores afirmam que o teste avalia (tão somente) um tipo de tarefa executiva, que é diferente de uma tarefa verbal ou comunicativa.

Porém, o que está subjacente a este estudo é o importante fato de que a ação semântica de atribuição de significado (relação semiótica) para o cego pode ser parcialmente ou totalmente comprometida comparativamente ao vidente, principalmente quando esta atribuição de significados dependa exclusivamente de modelos visuais, como ocorre frequentemente no Ensino de Física. Ou ainda, quando os significados são indissociáveis de representações visuais, como é o caso do fenômeno da cor.

Além disto, em relação ao Ensino de Física, existe uma sobrevalorização de metáforas e transposições didáticas fundamentadas em estratégias puramente visuais que, na verdade, podem induzir a um erro conceitual não apenas o deficiente visual mas, também, o aluno vidente. Poderíamos citar muitos exemplos, mas fiquemos em apenas em um clássico. No ensino do Eletromagnetismo representa-se uma onda tendo o formato de uma curva senoidal, o que não corresponde à realidade física, pois sabemos que a onda é

esférica. Aqui, a metáfora consiste em associar e igualar o comportamento ondulatório (que é sinusoidal) com sua própria forma.

Esta e outras situações reforçam a hipótese de que é fundamental que o deficiente visual, sempre que possível, principalmente no ambiente escolar, esteja diretamente participando ou envolvido com tarefas (semióticas) de percepção, conceitualização e conseqüente representação da realidade, fundamentalmente em atividades com o uso de estratégias multimodais.³⁰

Neste sentido, também, é importante que seja observado o trabalho de estimulação proporcionado em sala de aula através de estratégias didáticas onde o professor saiba diferenciar e direcionar a aprendizagem do aluno deficiente visual em relação às categorias de significados “indissociáveis de representações visuais”, “indissociáveis de representações não-visuais”, bem como em relação aos significados vinculados, respectivamente, os “significados vinculados à representações visuais” e os “significados vinculados à representações não-visuais” (CAMARGO, 2010), realizando assim as transposições didáticas ou o uso adequado de metáforas e modelos físicos.

Em situações de estimulação multimodal, demonstra-se que os estímulos visuais parecem ser mais rapidamente percebidos pelo indivíduo, isto é fundamentalmente válido quando se leva em consideração um tempo de interferência relativamente pequeno, em relação ao estímulo auditivo. Por outro lado, a perturbação torna-se mais intensa através de estímulos auditivos, principalmente quando estes persistem por mais tempo, em relação a uma possível interferência do tipo visual (BENDIXEN et al., 2010). Transpondo estes resultados para o deficiente visual, é muito mais provável que estas pessoas sejam muito mais afetadas do que o indivíduo vidente, já que aquele indivíduo é muito mais solicitado em seu processo atencional pelo sistema auditivo, já que o sistema visual está subestimado.

Em função disto, o estímulo sonoro proporcionado pela narração, descrição ou explanação verbal falada em relação às características de determinada

³⁰ Em razão disto, por exemplo, no sujeito desta pesquisa, cuja elaboração conceitual era mais comprometida em função de seu processo de escolarização, observava-se que a explicitação conceitual efetuada através da escrita e da leitura Braille tornava a aprendizagem (memorização) mais significativa, conforme veremos no Capítulo 5.

situação didática, fenômeno ou objeto físico (por exemplo, durante uma aula de Física sobre eletromagnetismo ou ótica) representa o principal elemento para a formação perceptiva, elaboração conceitual e as conseqüentes múltiplas possibilidades de expressão do conhecimento para as pessoas com deficiência visual. As orientações didáticas a este respeito serão desenvolvidas oportunamente no próximo tópico.

Segundo (LECLERC, et al., 2005) espera-se que em indivíduos cegos a atividade dos ritmos cerebrais *Theta*, *Alpha* e *Beta* sejam mais proeminentes quando comparados com indivíduos videntes, em tarefas envolvendo a percepção sonoro-auditiva. Neste caso, as regiões tão distantes como a região frontal-central e a occipital estariam mais interligadas para os cegos precoces quando comparado aos videntes. Parte destas pressuposições serão retomadas e analisadas posteriormente no Capítulo 5 quando procedermos a análise dos dados referentes a aquisição dos sinais do eletroencefalograma e dos ritmos cerebrais em atividades que foram aplicadas com o sujeito da pesquisa, utilizando a interface cérebro-computador Emotiv Eloc.

Em indivíduos videntes, espera-se que a memória semântica produza frequências *Alpha*, e as memórias do tipo episódica manifeste mais as frequências *Theta* (KLIMESCH et al., 1994).

Este fenômeno relacionado com a memória semântica também se vincula ao conteúdo emocional e a aprendizagem. A estimulação da amígdala ocorre quando estímulos sensoriais são produzidos no indivíduo, estímulos estes que podem estar associados a um comportamento emocional afetivo (positivo ou negativo). À medida que tais estímulos surgem na história de vida do indivíduo, seu cérebro registra isto associando-os ao conteúdo emocional e afetivo correlacionado. Subseqüentemente, toda vez que algum elemento que contiver semelhança com aqueles estímulos surgirem, o cérebro (sistema nervoso) do indivíduo, reagirá trazendo os mesmos conteúdos emocionais correlacionados. Esta associação, possivelmente, permanecerá quase que permanentemente no cérebro (na forma das redes neurais, ou melhor, das sinapses) daquela pessoa (HAMANN, 2001), mesmo que, como no caso dos deficientes visuais, a

aquisição do repertório de memória não esteja diretamente associada ao fato da pessoa perceber as imagens pela via da visão.

Tanto no caso do deficiente visual, quanto da pessoa vidente, o conteúdo emocional vincula-se diretamente com a memória e com a aprendizagem, como mencionamos anteriormente ao relatar o caso da ‘visão cega’ do sujeito TN (DE GELDER et al., 2008). Poderíamos pensar, então, que determinadas dificuldades de aprendizagem decorrem do fato de que em muitas situações didáticas, consciente ou inconscientemente, o aluno associa conteúdos emocionais ‘negativos’. Este tema sobre a influência das emoções na aprendizagem é um dos mais estudados na área da Inteligência Artificial, tanto que um importante conceito chamado de “valência” (positiva ou negativa, respectivamente) decorre desta interpretação: valência negativa. Através da modulação da valência pode-se desenvolver sistemas inteligentes de processamento de informações utilizados para ambientes de ensino-aprendizagem (THAGARD, 2006).

Isto nos faz pensar sobre os fatores que dentro da sala de aula, tanto aqueles decorrentes da própria didática ou das estratégias utilizadas pelo professor, ou também do meio (outros agentes externos que fazem parte do ambiente da sala de aula, como ruídos, conversa alta, gritos, etc.) podem associar-se de maneira a inibir a aprendizagem, constituindo-se em um grande repertório de ‘dissonância cognitiva’ que interfere nos processos de memorização (memórias de trabalho, curto, médio e longo prazo, respectivamente).

Na aprendizagem escolar cotidiana, normalmente, utiliza-se proeminentemente a memória de trabalho, de curto e médio prazo, sendo que a memória de longo prazo é menos exigida, exceto quanto determinados conteúdos são trabalhados ao longo de mais de 6 meses de duração. De fato, poderíamos esperar que a aprendizagem se dê a partir do momento que os conceitos são incorporados como memória de longo prazo.

A este respeito, a pergunta que Eric Kandel faz é: “como a memória de curto prazo é transformada na memória de longo prazo”? Sobre esta pergunta, fazemos outras: “Como produzir situações didáticas que transformem a memória de curto prazo numa direção de uma aprendizagem efetiva,

caracterizada por uma memória de longo prazo?. Que fatores, variáveis e condições são mais decisivos para o êxito deste processo? Como tal processo pode ser otimizado? Quais parâmetros podem interferir neste mecanismo? Existe maneira de minimizar as interferências? Existem mecanismos compensatórios que estejam relacionados a fatores externos ao indivíduo, que possam contribuir para tal mecanismo?”

Do ponto de vista neuronal e bioquímico a resposta é relativamente simples. O próprio Kandel explica que quando ocorre a memória de curto prazo, não há alterações anatômicas nos neurônios. Por outro lado, diferentemente, quando ocorre a memória de longo prazo, novas conexões sinápticas são formadas. A memória de fatos ou lembranças que permanecem anos na mente são estas relacionadas com a memória de longo prazo. Neste caso, a memória de longo prazo atinge o próprio RNA mensageiro, que é responsável pela informação genética de neurônio para neurônio. Diferentemente, no processo da memória de curto prazo, apenas a sinapse está envolvida, não atingindo alterações genéticas (LEE et al., 2008).

Provavelmente quando trabalhamos dentro de um ‘campo conceitual’ o processo de formação de sinapses será otimizado, exatamente porque nesta condição uma quantidade maior de estímulos será produzida. No entanto, considerando que diversas situações didáticas permeiem o mesmo conceito (ou um conjunto de conceitos), também será necessário que as condições cognitivas de aprendizagem sejam as mais favoráveis possíveis. Isto inclui também a questão da emoção cognitiva, justamente para diminuir o efeito da dissonância cognitiva, fazendo com que o processo da memória de longo prazo seja mais ativado.

Poderíamos aventar uma hipótese a ser investigada num outro trabalho: ***trabalhar situações didáticas dentro de uma abordagem de ‘campos conceituais’ favorece o surgimento da memória de longo prazo*** (cuja componente biológica será justamente a formação de quantidades maiores de sinapses)?

Concluída a revisão sobre algumas características neurocognitivas do deficiente visual, consideramos importante tratar na sequência de explicitar

com mais propriedade o papel preponderante da linguagem no processo de aprendizagem como um todo, especialmente para a educação científica. Isto se justifica na medida que um trabalho mais profundo sobre questões envolvendo conceitualização, tecnologias assistivas, neurociência, ergonomia e aprendizagem científica tenha que se ater provavelmente ao mais significativo fenômeno social da inteligência humana.

Como demonstrado com grande propriedade pelos trabalhos de Camargo (2011), a linguagem é elemento essencial na comunicação dos conceitos e pode, como apresentado por aquele autor, constituir para o deficiente visual uma grande barreira para o ensino e, conseqüentemente, para a aprendizagem dos conceitos da Física:

(...) a comunicação representa a variável central para a ocorrência de inclusão escolar de alunos com deficiência visual. A criação de contextos comunicativos adequados tem o potencial de incluir esse aluno junto a processos intrínsecos de ensino/aprendizagem. Fora desses contextos, alunos com deficiência visual encontrar-se-ão numa condição de exclusão no interior da sala de aula. A partir da construção de um ambiente de comunicação adequado, esses alunos terão condições estruturais básicas de participação efetiva junto aos processos de ensino/aprendizagem de óptica (CAMARGO, 2011, p. 210).

3.2.1 A neurocognição na apreensão dos conceitos e no desenvolvimento da linguagem

A compreensão sobre o funcionamento do mecanismo da linguagem na aprendizagem do Ensino de Ciências (incluindo-se também a Matemática), trará como resultado a conclusão de que este domínio do conhecimento humano é bastante específico, podendo, inclusive, constituir-se na forma de um **“protocolo semiótico para o Ensino de Ciências”** (embora nosso foco seja o Ensino da Física).

A ideia de um protocolo é exatamente fundamentada nos seguintes pressupostos:

- a) Identificar características próprias e singulares no domínio do Ensino de Ciências (e também da Física);
- b) Demarcar, decodificar ou transcrever tais características singulares em termos neurocognitivos para uma abordagem epistemológica, pedagógica e didática, sob a forma de um conjunto de orientações de natureza semiótica (já que a linguagem é nosso pressuposto central de trabalho comunicativo).

Entretanto, para que a proposta de um protocolo semiótico específico para o ensino de Ciências seja viabilizado, é necessário delimitar características, parâmetros e variáveis cognitivas próprias desta área do conhecimento, identificando assim propriedades epistemológicas e neurocognitivas singulares quando comparados a outros domínios ou áreas do conhecimento humano. Para isto, conforme mencionado anteriormente, destacamos neste trabalho o papel central que a linguagem desempenha não somente na aquisição, mas também na compreensão e na representação dos fenômenos e conceitos científicos. Neste sentido, o referencial teórico proporcionado por Camargo (2011) em relação às categorias comunicativas (semióticas), conforme apresentado no Capítulo 2, nos forneceu uma pista didática, fenomenológica e neurocognitiva bastante promissora. A seguir, outras possibilidades serão exploradas.

As questões relacionadas com a gênese, cognição, aquisição e desenvolvimento da linguagem humana foram debatidas por Jean Piaget e Noam Chomsky (e outros grandes nomes da ciência) em 1975, no *'Centre Royamont pour une science de l'homme'* (PIATELLI-PALMARINI, 1983), vinculado ao chamado Grupo de Genebra, importante disseminador de ideias pedagógicas sobre alfabetização, cuja influência acadêmica e social atinge as políticas públicas educacionais internacionais, inclusive as de natureza institucional brasileira.

Estas discussões se centralizaram basicamente sobre duas grandes hipóteses aparentemente opostas. A primeira defende que a aprendizagem é algo inato no indivíduo e que, no caso da linguagem, o indivíduo possuiria como que uma estrutura cognitiva na qual as habilidades da linguagem já acompanhariam a

pessoa até mesmo antes de seu nascimento (através da herança genética)³¹. A abordagem da chamada gramática gerativa ou generativa, de Chomsky foi uma entre tantas teorias que se baseou nesta ideia.

Outra noção era a de que o desenvolvimento cognitivo ocorre na medida em que o indivíduo interage com o meio social. Assim, a linguagem seria algo apreendido pela pessoa, e não algo inato. Parece ser esta a interpretação mais próxima da abordagem desenvolvida por Vygotsky, para quem os desenvolvimentos do pensamento e da linguagem ocorrem de maneira independente (até aproximadamente os 2 anos de idade), para depois manterem uma inter-relação, pois a linguagem se torna racional e o pensamento se manifesta quase que exclusivamente através da linguagem (VYGOTSKY, 1991).

No caso da educação científica tecnológica, uma das formas de expressão da linguagem ocorre exatamente na medida em que esta é veiculada e materializada através das várias formas de “textos” que constituem a linguagem científica, fazendo parte de um todo maior que é a própria linguagem humana. Utilizamos aqui o conceito de “**texto**” conforme definido por um dos expoentes mais significativos do atual Grupo de Genebra, Jean-Pierre Bronckart, ao definir o conceito de texto empírico:

Designa uma unidade concreta de produção de linguagem, que pertence necessariamente a um gênero, composta por vários tipos de discurso, e que também apresenta os traços das decisões tomadas pelo produtor individual em função da sua situação de comunicação particular (BRONCKART, 2009, p. 77).

Sob estas condições, torna-se fácil compreender que diversos gêneros textuais permeiam a sociedade como um todo e, especificamente no contexto escolar predominam o gênero didático-pedagógico, o científico e o literário, embora

³¹ Atualmente, existe uma interpretação que pretende ser mais profunda em relação ao enfoque da herança genética, que é a teoria dos ‘conectomes’. A este respeito, consultar “Connectome: how the brain’s wiring makes us who we are”, de Sebastian Seung.

outros gêneros, como o jornalístico, também estejam presentes (SCHNEUWLY; DOLZ, 2004).

Isto pressupõe que o ensinar não deve se concentrar apenas e tão somente em um único gênero textual, e sim em vários. Tal estratégia possui sua fundamentação científica e empírica, precisamente porque, segundo Bronckart (ibidem), todos os gêneros textuais possuem a seguinte estrutura:

- a- A infra-estrutura geral do texto – tipos de discurso que comporta, modalidades de articulação e sequências que aparecem;
- b- Os mecanismos de textualização - conexão, coesão nominal e coesão verbal;
- c- Os mecanismos enunciativos – as vozes que se expressam no texto e traduzem as diversas avaliações (julgamentos, opiniões, sentimentos).

A este conjunto (tríade semiótica), o autor dá o nome de ‘folhado textual’ (BRONCKART, ibidem, p.119). Com base neste conceito de folhado textual e nas inferências aqui colocadas, como síntese, indicamos quais seriam as orientações relativas à produção textual visando a estimulação multimodal dos processos relacionados ao ensino-aprendizagem diretamente vinculados ao Ensino de Ciências, e que constituem já um indicativo do protocolo semiótico mencionado:

- Valorizar o uso de diversos gêneros textuais: tanto no processo da aquisição conceitual (vídeos, filmes, textos didáticos e paradidáticos, textos históricos, histórias em quadrinhos, etc.), como também na representação (produção de textos, como resenhas, relatórios, sinopses, esquemas, diagramas, mapas conceituais, etc.);
- Explorar com os alunos a diferenciação nas formas discursivas apresentadas nos respectivos tipos de textos: por exemplo, diferenciar o discurso utilizado no texto jornalístico dos textos de divulgação científica;
- Promover o debate entre os alunos através das argumentações desenvolvidas segundo os distintos gêneros textuais. Exemplo: o argumento desenvolvido num texto paradidático sobre a questão dos transgênicos será

idêntico ao utilizado por uma empresa que fabrica produtos com esta tecnologia?

- Destacar para os alunos o papel dos agentes discursivos nos respectivos textos, relacionando-os com seus discursos: por exemplo, quais atores sociais e que tipo de discursos estão presentes numa matéria jornalística que trata dos possíveis efeitos prejudiciais da radiação eletromagnética produzida pelos telefones celulares?
- Observar, destacar e conduzir tanto a interpretação quanto a produção dos diversos tipos textuais, levando-se em consideração as diferenças de gênero humano (masculino e feminino): neste sentido, alunos e alunas pensam e se expressam sob o mesmo tema de uma mesma maneira? Por exemplo, sobre os temas contracepção, aborto e doenças sexualmente transmissíveis, quais seriam as representações sociais de meninos e meninas?

Todas estas estratégias semióticas da linguagem constituem, na verdade, um conjunto multimodal (vários estímulos) ou multissensorial, pois abarca uma matriz diversificada de estímulos na complexa teia das estruturas cognitivas do indivíduo.

Isto posto, devemos ainda destacar que conforme mencionamos nos Capítulos 1 e 2, na Teoria dos Campos Conceituais a representação (terceiridade semiótica) é algo que ocorre de maneira dinâmica e multifacetada. Portanto, quando falamos em expressão através da linguagem e sua materialização por intermédio de textos, devemos imaginar que buscaremos sempre formas textuais dinâmicas e interrelacionadas entre si, que expressem os conceitos e teoremas-em-ação, constituindo um **continuum** articulado dentro de uma estrutura epistêmica complexa, relacional e sistêmica.

Em consonância a isto, a composição das categorias de linguagem desenvolvidas por Camargo (2011) se complementam à interpretação da Teoria dos Campos Conceituais, unificadas pelo aporte teórico semiótico, valorizando estratégias do tipo multimodal, em detrimento de estratégias ou estimulações exclusivamente unimodais, principalmente aquelas que estabelecem uma vinculação e até uma indissociabilidade com o atributo visual

(ou seja, fazer com que a compreensão do conceito e ou do fenômeno esteja dependente de modelos ou representações exclusivamente visuais). A este respeito, Camargo (2011) menciona algumas tendências na linguagem discursiva que favorecem a aprendizagem para o indivíduo deficiente visual:

Predominância de viabilidades relacionadas à estrutura empírica tátil-auditiva interdependente; predominância de viabilidades relacionadas aos significados vinculados às representações não-visuais;...ocorrência de viabilidades relacionadas à estrutura empírica tátil-auditiva interdependente em episódio interativo/dialógico; ...não ocorrência da relação viabilidade/estrutura empírica audiovisual interdependente (CAMARGO, 2011, p.206).

Esta abordagem condiz com a dinamicidade a qual o sistema neurocognitivo humano opera (conceito de neuroplasticidade), e as possíveis consequências diretas que isto implica para a aprendizagem.

Neste sentido, talvez o primeiro grande evento internacional que tratou especificamente sobre aprendizagem científica, linguagem e sua relação com o cérebro humano foi o '*First High Level Forum*' (OECD, 2000), que resultou precisamente numa publicação com várias indicações diretas para compor as políticas e práticas educacionais, algumas das quais serão consideradas a seguir.

Inicialmente, em termos das estruturas cognitivas no indivíduo, o processo interpretativo dos fenômenos e conseqüentemente das leis ou princípios pelas quais são regidos, inicia-se pela articulação (mental ou verbal) da linguagem e pelo mecanismo de interpretação ou leitura das palavras ou dos signos, através dos quais são estruturadas as palavras e os conceitos. Até este ponto, o processo de aquisição da conceitualização científica é muito idêntico ao processo de aquisição dos conceitos em qualquer outra disciplina do conhecimento científico.

Entretanto, em termos neurocognitivos, o processo de leitura e interpretação de símbolos e de conceitos matemáticos (e também da Física) é absolutamente específico dentro da estrutura cerebral, diferenciando-se, por exemplo, das

regiões que são responsáveis pela leitura pura e simples das palavras³². Em ambas as situações, existem determinados *lócus* preferenciais com neurônios específicos para cada uma das funções. (DEHAENE et al. 1999).

No caso da leitura de palavras, Dehaene (ibidem) adota um modelo chamado “Detector de Combinações Locais” (*local combination detectors – LCD*). Neste modelo, o domínio da leitura advém de um complexo percurso de combinações de signos, símbolos e ícones que compõem qualquer tipo de sistema de linguagem (escrita, gráfica, representacional, pictórica).

Algumas imagens na sequência mostram, na verdade, diferentes localizações de acordo com as regiões cerebrais.

Assim, na Figura 6 observa-se que as palavras escritas ocupam uma posição diferente de objetos de tamanhos diferentes, e também em relação a rostos humanos. Este posicionamento diferente para cada tipo de imagem preserva o indivíduo de perder o processamento generalizado de imagens, no caso de uma lesão.

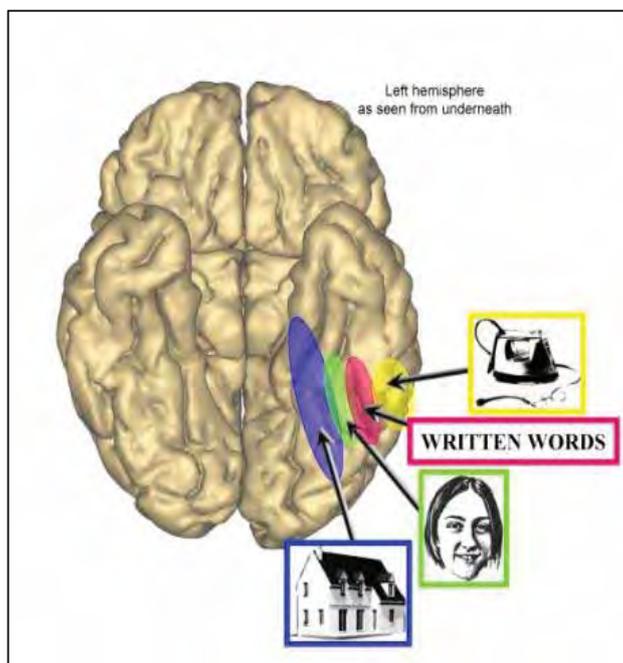


FIGURA 6 – Localização no cérebro das áreas correspondentes a imagens de objetos, rosto humano e palavras (reproduzido de Dehaene, 2007).

³² Esta noção não contraria os três princípios enunciados por Nicoletis, principalmente o ‘Princípio de ação neuronal multitarefa’.

A Figura 7 mostra a atual configuração dos circuitos neuronais que participam do processo de aprender a ler, indicando claramente a interconexão entre as áreas da visão com áreas da linguagem. As regiões nas cores verde e laranja não correspondem diretamente a leitura. Inicialmente, há um processamento da fala e um acesso à compreensão. Por este diagrama esquemático percebe-se que as regiões se relacionam sempre de maneira bidirecional, fazendo com que formem um circuito em seu todo.

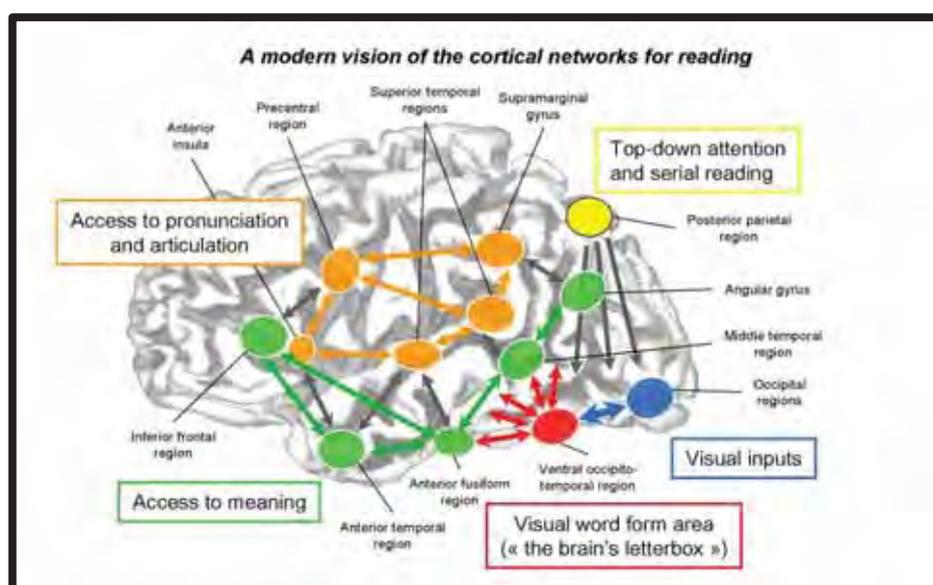


FIGURA 7 – Relação funcional entre regiões cerebrais envolvidas na aprendizagem da leitura (reproduzido de Dehaene, 2007).

Na Figura 8 demonstra-se a ativação neuronal para a linguagem falada e escrita numa sequência temporal. Inicialmente, durante a leitura da palavra (nos primeiros 100 milissegundos) – lado direito da figura, a parte occipital é recrutada. Após 170 milissegundos atinge uma região do cérebro onde ficam armazenadas as palavras, que extrai informação visual da palavra. Em seguida, as regiões temporal e frontal participam (migrando para o lado esquerdo do cérebro), ocorrendo o recrutamento de neurônios da mesma região que compartilha a linguagem falada (mostrado pelas últimas duas imagens do lado esquerdo). É como se a linguagem escrita fosse se mesclando com a linguagem falada.

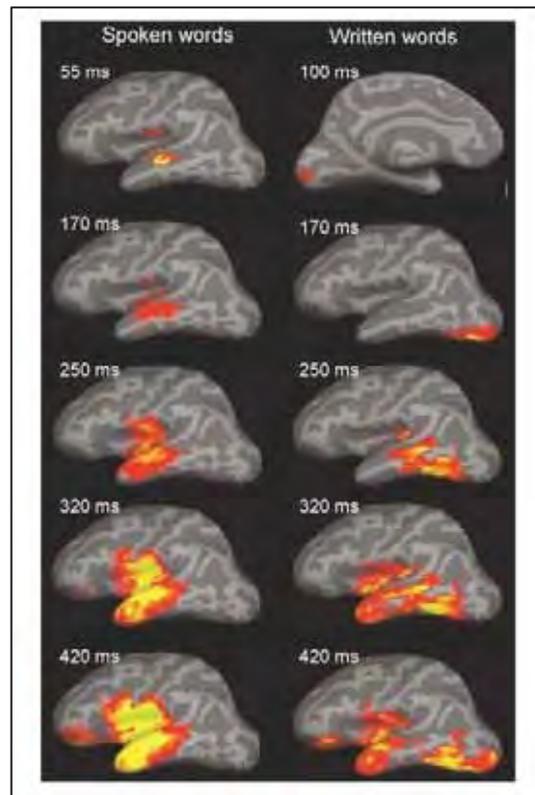


FIGURA 8 –Ativação das regiões cerebrais para o processo da fala e da escrita, respectivamente, mostrando a diferença de regiões cerebrais para estas duas funções. (reproduzido de Dehaene, 2007).

A Figura 9 mostra algo surpreendente, que é o fluxo de recrutamento dos neurônios de acordo com o tipo de tarefa cognitiva. No lado direito a figura mostra o recrutamento do reconhecimento das palavras durante o processo de leitura, na parte inferior da região occipito-temporal do hemisfério esquerdo. Em seguida, ao escutar a palavra, a região temporal superior é disparada (lado esquerdo superior da imagem). Já a pronúncia da palavra vai deflagrar a região pré-central, próxima da área motora (lado esquerdo inferior da imagem). Já a tarefa de associação e compreensão do significado da palavra ativa a região frontal inferior do cérebro (imagem inferior direita).

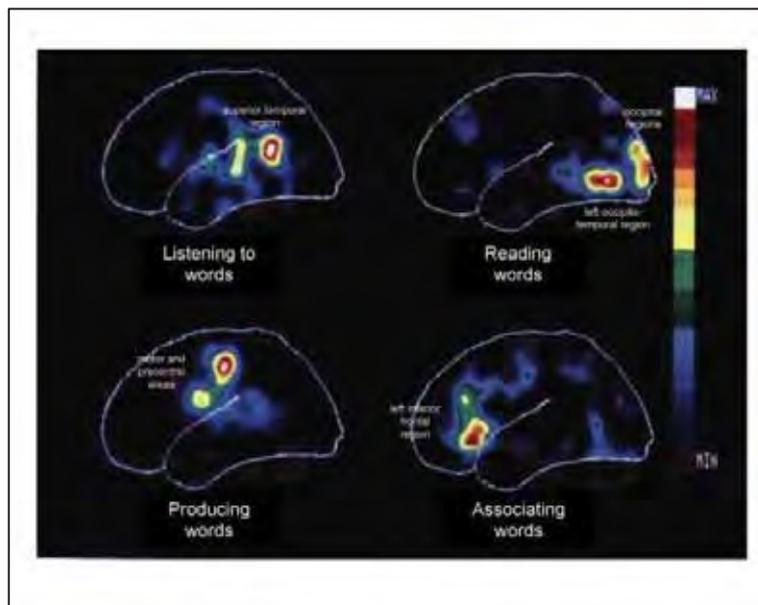


FIGURA 9 – Figura mostrando as diferentes regiões cerebrais de acordo com o tipo de manipulação de palavras: escutando, lendo, produzindo e associando (reproduzido de Dehaene, 2007).

De maneira semelhante, Dehaene e Changeux propuseram um modelo de rede neuronal para o processamento numérico, denominado ‘*numerosity detectors*’ – detector de numerosidade³³ (DEHAENE; CHANGEUX, 1993).

Concomitantemente, como se isto não bastasse, o processo de aquisição e desenvolvimento da habilidade do cálculo matemático também é específico em termos neurocognitivos, associando e combinando a isto o próprio processo da leitura e da fala pelo indivíduo, fazendo com que na aprendizagem conceitual e matemática da Física, os mesmos grupos neurônicos estejam sendo recrutados, mas diferenciando-se de outros grupos neurônicos empregados em habilidades cognitivas diferentes, como por exemplo, a habilidade musical, o reconhecimento de figuras humanas, ou de imagens visuais de paisagens, fazendo parte de um circuito neuronal independente do mecanismo puro e estrito da linguagem (QIAO, 2007; DEHAENE et al. ,2005; DEHAENE, 2001).

Além disto, a atividade neuronal específica da área do raciocínio lógico matemático demonstrou covariância direta com a área cognitiva motora

³³ Preferimos permanecer com o conceito em inglês, porque a palavra ‘numerosity’ – numerosidade – não é de uso corrente na língua portuguesa, e difere, por exemplo, do substantivo ‘numeração’, que se refere ao ato de enumerar. Numerosity refere-se a algo como uma propriedade numérica intrínseca.

(KNOPS et al., 2009), contradizendo a ideia de senso comum de que o desenvolvimento da atividade mental matemática é oposto à ativação do aparelho locomotor do indivíduo. Acrescenta-se a isto, o fato de que quando tais funções cognitivas estão associadas às representações intermodais (incluindo a linguagem falada e as atividades cognitivas psicomotoras) recrutam ou disparam os chamados neurônios espelhos – *mirror neurons* - (ROGERS et al., 2003), característicos em situações onde o indivíduo realiza qualquer atividade de imitação, quer seja imitação mental (imaginação ou imageria mental de alguma atividade real) ou a imitação baseada na observação visual ou em comandos sonoros e ou verbais.

Os neurônios espelho são fortemente disparados em atividades e tarefas cognitivas motoras intermodais (multissensorial) envolvendo o raciocínio lógico, ativando as áreas cerebrais da cognição emocional, da atenção, da memória e do raciocínio lógico (MUTHUKUMARASWAMY; SINGH, 2008). Além disto, demonstra-se que em situações de aprendizagem onde ocorra algum tipo de monitoramento ou *feedback* cognitivo (bio ou *neurofeedback*) isto otimiza a performance de operação destes neurônios espelhos, fazendo com que a aprendizagem seja mais efetiva (PINEDA et al., 2008).

Ainda que o domínio simbólico dos signos da Matemática e da Física, e sua consequente operacionalização sejam específicas e singulares a nível neuronal, o mecanismo de aprendizagem científica obedece ao mesmo padrão de aquisição da linguagem falada, ou seja, mediante determinada exposição do indivíduo a um meio composto por signos, conceitos, argumentações sobre ideias e conceitos, possibilita a incorporação pelo indivíduo deste mecanismo na forma de determinada habilidade linguística que, no caso, se refere a aquisição de determinada linguagem dentro de uma área científica específica (ou até de várias simultaneamente).

Toda esta problemática envolvendo aprendizagem do processo da leitura, assim como também a escrita, tem sido estudada por muitos autores em todo o mundo. Entretanto, no caso da Europa, e mais particularmente em relação ao Grupo de Genebra, podemos mencionar, por exemplo, o importante trabalho de Stanislas Dehaene, que recentemente publicou um livro mais indicado para o

público leigo, mas que também pode ser utilizado por especialistas, professores e pedagogos, intitulado '*Apprendre à lire*', onde Dehaene e colaboradores (DEHAENE et al., 2011) fazem uma síntese com orientações para o processo da leitura.

Anteriormente publicou também uma importante obra que se tornou um marco na pesquisa internacional sobre a relação entre a Matemática e sua associação com a ativação das regiões cerebrais, intitulado '*La Bosse des Maths*', cuja edição foi recentemente atualizada. Na verdade, este livro se iniciou a partir de outra obra importante do mesmo autor, que era ainda mais específico para o estudo da fenomenologia neurocognitiva da manifestação do sentido de número e cálculo matemático em seres humanos e outros animais, intitulado '*The Number Sense*' (DEHAENE, 2010).

Contudo, mesmo com todas as evidências favoráveis demonstrando que a habilidade do cálculo matemático é topograficamente bem específica em várias regiões cerebrais (DEHAENE et al., 1998), provavelmente interligadas através das várias tarefas matemáticas diferentes, o que é mais notável constatar é que o processo interpretativo do número enquanto um elemento da escrita (e não como quantidade abstrata ou como estimativa aproximada de quantidade) está diretamente interligado ao próprio mecanismo neuronal da interpretação das palavras escritas, ou seja, da linguagem cotidiana **e não apenas diretamente ao domínio do número em si mesmo** (DEHAENE et al., 2003; DEHAENE et al., 1999). Em outras palavras, uma região do cérebro interpreta primeiramente o número enquanto uma representação gráfica, tal qual na linguagem escrita, e outra região encarrega-se de interpretá-lo, posteriormente, enquanto uma quantidade.

Este é o achado mais surpreendente em relação à suposição mais comum de que a localização dos neurônios em tarefas relacionadas com a linguagem e com o cálculo, respectivamente, ocupam regiões cerebrais distintas. Na verdade, o fato de que a compreensão sobre o significado do número depende a priori da aprendizagem do código linguístico, evidencia uma vez mais o papel que o ensino-aprendizagem de estratégias de leitura, interpretação e produção

textual representam como um todo para qualquer indivíduo que pretenda também dominar a linguagem da Matemática ou da Física.

Uma das maneiras de se estudar esta complexa relação é analisar o circuito que relaciona o processo de leitura com o cálculo matemático, avaliando-se possíveis lesões cerebrais. O processamento do número no cérebro se dá através de um circuito esquematizado na Figura 2 (reproduzida de DEHAENE et al., 2004). Os números circundados indicam as diversas patologias associadas com possíveis lesões em algumas das partes do processo: em ① teríamos a alexia, que é inabilidade para ler números e multiplicar, subtrair ou comparar; na lesão ② é o caso da dislexia fonológica, que cria a inabilidade para ler números, mas não para multiplicar, subtrair ou comparar. As lesões ③ e ④ estão associadas com a inabilidade na multiplicação e subtração, mas ainda indicado a capacidade de ler os números, e ainda com a presença ou ausência de déficits associados, comparando-se com o processamento simbólico numérico. No caso da lesão ⑤, mostra-se a habilidade residual do cálculo em pessoas que falham ao tentar reproduzir oralmente a solução de problemas aritméticos, mas que podem resolver os mesmos problemas pela via escrita.

Em outras palavras, ainda que o ser humano possua o senso de quantidade numérica biologicamente presente como uma espécie de instinto natural (PINEL et al., 2004; PIAZZA et al., 2004), a habilidade do cálculo matemático é algo adquirido e aprendido culturalmente e que, em primeira e última instância, depende do domínio e aquisição da própria linguagem natural e dos códigos específicos para a Matemática (e também a Física).

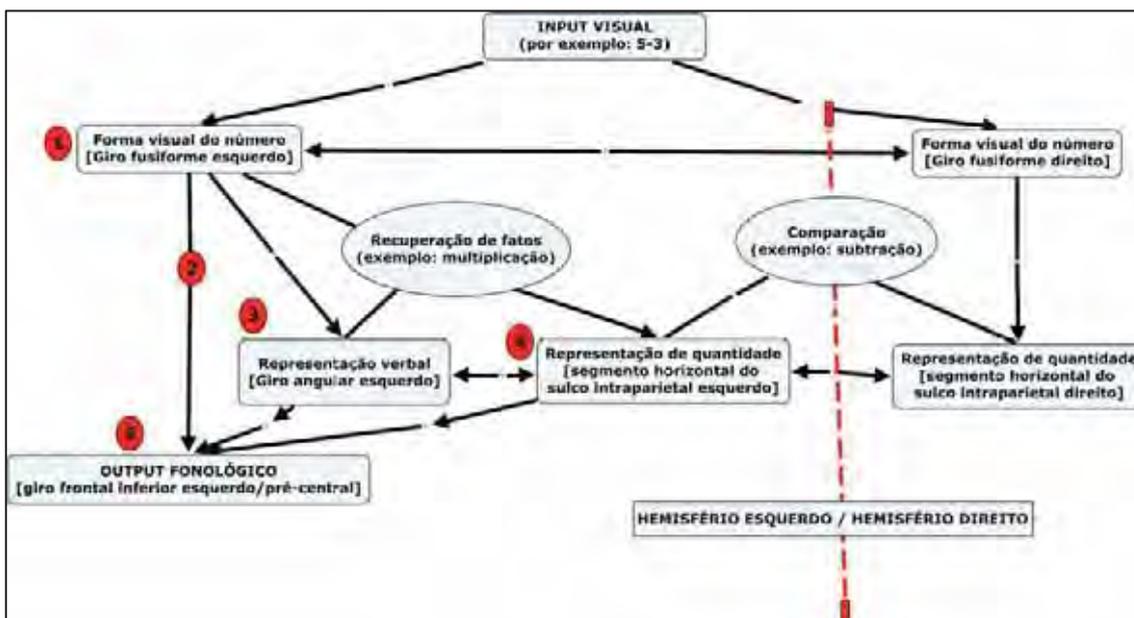


FIGURA 10 - Esquema da representação do número arábico (extraído de Dehaene et al., 2004).

3.3 Orientações didáticas com fundamentação na semiótica da Teoria dos Campos Conceituais

Face ao exposto, apresentamos na sequência orientações didáticas para o Ensino de Ciências, relacionadas aos aspectos neurocognitivos aqui abordados, considerando principalmente as condições neurocognitivas de um indivíduo com deficiência visual.

Para isto, procuramos descrever tais orientações seguindo a estrutura epistemológica semiótica da Teoria dos Campos Conceituais, complementadas ainda por pesquisas na área da educação inclusiva aplicada ao Ensino de Ciências (BECK-WINCHATZ; OSTRO, 2003; CUNNINGHAM, 1997; GARDNER, 1996; GRADY et al., 2003; KUCERA, 1996; KUMAR et AL., 2001; SCHLEPPENBACH, 1996; WEST VIRGINIA UNIVERSITY, 2005).

Para facilitar a apresentação seguinte, adotaremos o critério de usar a frase “Princípio neurocognitivo” no início de um parágrafo, justamente para a partir

de tal explicação prosseguir com considerações de natureza didática, ou seja, aquelas que podem estar relacionadas com o Ensino de Ciências (inclusive a Física).

3.3.1 A. Orientações de natureza perceptiva (nível da primeiridade semiótica)

Princípio Neurocognitivo: O treinamento tátil deve ser realizado o quanto antes para qualquer indivíduo com deficiência visual, com o objetivo de se auxiliar na composição da construção do processo de ‘imagem mental’ (formação de imagens mentais de objetos), assim como o conhecimento mais completo possível sobre as condições do ambiente, e até um treinamento visando a exploração sensório motor do espaço físico. (VIEILLEDENT et al., 2003)

Professores e pais devem buscar todo tipo de auxílio e recurso para fazer com que alunos com deficiência visual participem de todas as atividades escolares como os outros alunos (conceito de *mainstreaming*). O processo comunicativo com este aluno deve incentivar a conversação direta e o diálogo diretamente ao deficiente visual, num tom normal de voz.

No ambiente escolar deve ser trabalhada a estimulação multissensorial, priorizando o uso de recursos auditivos e táteis (e outros); todos os objetos ou recursos didáticos como maquetes, peças de anatomia, materiais de laboratório ou textos, devem ser identificados com o Braille.

Especialmente para o Ensino de Física, a estimulação tátil auxilia na formação de determinado objeto real. A avaliação e exploração tátil, como o exame da superfície de objetos, rugosidade, saliências, relevo, etc., contribui no processo de constituição mental daquele objeto. A observação e análise intermodal (dois ou mais estímulos separadamente ou simultaneamente) auxiliam no processo

de associação fenomenológica para a compreensão de determinada situação da Física (CAMARGO; VIVEIROS, 2009).

Neste sentido, podem ser empregados modelos tridimensionais para simular átomos ou moléculas, nomeando-se os átomos através do Braille, sendo que o professor ou monitor assessora o aluno deficiente visual nesta operação. Da mesma maneira, gráficos, imagens complexas, diagramas e equações químicas podem ser escaneados, convertidos e transformados (impressos) em mapas ou diagramas táteis (matemática ou química).

Por outro lado, o exercício de exploração corporal de determinados espaços físicos é uma importante e necessária tarefa de estimulação sensorial das propriedades e leis da Física. Isto pode ser conseguido fazendo o aluno se locomover para além dos limites que normalmente está condicionado, e com isto ir associando os conceitos físicos (noções/conceitos de distância, tempo, velocidade, aceleração, equilíbrio estático e equilíbrio dinâmico, efeito Doppler - afastamento e aproximação de fontes sonoras). Também podem ser efetuados cálculos mentais aproximativos estimando força, impulso, momento, bem como explorar ambientes naturais, por exemplo, com plantas e animais.

Além disto, o conhecimento sobre o espaço deve incluir a orientação do aluno com deficiência visual em relação às saídas de emergência, produtos químicos, objetos, portas e janelas de vidro, extintor de incêndio. Este tipo de orientação pode ser proporcionado por um colega voluntário da própria turma. É conveniente manter corredores e outros ambientes, como laboratórios, sempre bem iluminados, não deixando as janelas completamente fechadas.³⁴ Os outros alunos devem ser treinados para oferecerem orientação ao aluno com deficiência visual, mesmo que este eventualmente utilize ou não bengala para se locomover.

Deve ser proporcionado amplo espaço para o cão-guia, quando houver, procurando manter os outros alunos sem perturbar o cão.

³⁴ Sempre lembrando que, conforme já mencionado, alguns deficientes visuais possuem um grau de percepção visual como, por exemplo, de luzes, reflexos, 'vultos', etc. Exceção é feita quando o deficiente visual é considerado cego.

Na sala de aula ou em qualquer outro espaço de aprendizagem, posicione o aluno em local estratégico, de modo a permitir que ele participe da aula.

3.3.2 Orientações relacionadas com os processos de desenvolvimento e aquisição de conceitos (conceitualização)

Princípio Neurocognitivo: o treinamento tátil é uma operação neurocognitiva, e a conseqüente aprendizagem decorrente deste treinamento ocorre numa seqüência, envolvendo as memórias de curto, médio e longo prazo. O reconhecimento tátil, sendo um processo analítico, necessita de constante estimulação e mecanismos de *feedback* (oral/verbalização, auditivo e outros) para se consolidar na memória de longo prazo (RAZ et al., 2005; AMEDI et al., 2004; AMEDI et al., 2003).

Em atividades de ensino de Ciências onde há a presença de vários conceitos correlacionados, para uma melhor fixação da aprendizagem é adequado utilizar estratégias de ensino como, por exemplo, abordar um tema considerando um 'Campo Conceitual', ao invés de se privilegiar apenas um único conceito isoladamente, conforme mencionado anteriormente (VERGNAUD, 1990). Também pode ser associado a isto estratégias como o 'ciclo da experiência kellyana', desenvolvido segundo as seguintes etapas: antecipação, investimento e encontro, confirmação ou desconfirmação, revisão (CAMARGO; VIVEIROS, 2009).

Concomitantemente, como estratégia de acompanhamento metacognitivo da interação aluno-professor, sugere-se as categorias desenvolvidas por Camargo (2005): observação, compreensão e mediação.

Como estratégia de mediação pedagógica, solicite a um aluno da turma que oriente o aluno com deficiência visual na realização de procedimentos e atividades durante a aula, principalmente quando o próprio professor não tiver condições de fazê-lo. Tanto no caso de se ter o professor como mediador quanto de um aluno, deve ser dado ao deficiente visual a maior quantidade possível de informações sobre a atividade a ser desenvolvida.

Princípio Neurocognitivo: A neuroplasticidade no deficiente visual é tão eficiente quanto mais estímulos sensoriais estiverem associados (associação intermodal, multimodal ou multissensorial) (MERABET et al., 2007; AMEDI et al., 2005; AMEDI et al., 2001).

No caso do ensino de Física, pode-se utilizar a estratégia didática da **'transposição didática'**. Entretanto, seria de um bom senso observar-se as categorias perceptivas propostas por Camargo (2011). Neste sentido, como estimulação intermodal utilizar materiais pintados com cores fortes ou fosforescentes, ou ainda utilizar lâmpadas coloridas³⁵.

Em alunos com baixa visão empregar o recurso do retroprojetor (ou projetor de *slides*), preferencialmente projetando em fundo ou tela opaca, quando o grau de deficiência visual assim o permitir.

A aprendizagem pode ser melhorada através da estimulação auditiva, como gravar para o aluno deficiente visual trechos mais importantes das aulas, para que o mesmo possa posteriormente estudar através deste material. Este material pode inclusive compor um arquivo com aulas gravadas para esta finalidade específica.

A estimulação intermodal pode ser obtida com a aplicação de *software* de voz para o ensino de matemática (cálculo) e química orgânica (no Brasil dispõe-se dos softwares DOSVOX e VIRTUAL VISION), ou ainda software que converte tanto o texto explicativo de matemática, quanto às equações matemáticas para o Braille e também software de conversão de texto em som: atualmente se dispõe de programas no padrão internacional 'Daisy' (exemplo, o software MECDaisy, no Brasil). Também é possível que equipamentos de laboratórios possam ser adaptados via interface a um computador, e este a uma impressora Braille.

³⁵ Uma vez mais, vale a observação na nota de rodapé da página anterior sobre a acuidade visual de determinados deficientes visuais.

3.3.3 Orientações relacionadas com atividades de expressão

Princípio Neurocognitivo: a neuroplasticidade de determinado indivíduo deficiente visual é única e, portanto, os mecanismos de percepção e expressão cognitivos são também únicos (SADATO et al., 1998, 1996).

É necessário avaliar as habilidades de percepção do aluno deficiente visual, com o objetivo de identificar quais (ou qual) funções perceptivas são mais destacadas (oralidade, audição, tato, sinestesia). A partir disto, o professor deve iniciar um planejamento didático individualizado, pensando-se principalmente nas três fases que compõem qualquer situação didática (VERGNAUD, 1990), que são:

1. O problema físico e sua contextualização, principalmente através de situações concretas e significativas, fazendo uso da estratégia de se trabalhar com um Campo Conceitual, ao invés de utilizar conceitos separadamente;
2. O processo de elaboração argumentativa e interativa, ou seja, a formulação dos conceitos e teoremas-em-ação por parte do aluno (e respectiva estrutura cognitiva);
3. O conseqüente sistema de representações semióticas possíveis de serem utilizadas pelo aluno: oralidade, produção de texto (se o aluno for capaz de utilizar a informática, ou máquina Braille), criação de desenhos, esquemas, de preferência com o recurso de alto relevo, utilização de modelos em escala, utilização de modelos tridimensionais; utilizar tinta de alto-relevo; utilizar a técnica da xilo ou litogravura; utilizar canetas térmicas, que podem ser aplicadas em superfícies sensíveis ao calor, como alguns tipos de papéis termo sensíveis, plásticos e isopor; pode-se ainda produzir estas figuras em alto ou baixo relevo, através de máquinas controladas eletronicamente, através do computador e utilizando software de CAD (*computer aided design*) em superfícies mais duras como acrílico, madeira ou metal.

No processo de ensino-aprendizagem este terceiro aspecto, a representação, talvez seja o momento mais importante, justamente porque possibilita ao professor (como ao próprio aprendiz) avaliar, de alguma maneira, aquilo que foi

aprendido. Neste sentido, os instrumentos que podem ser utilizados para esta representação passam também a ter grande significação pois, por intermédio destes, o indivíduo terá distintos graus de facilitação ou de dificuldade em relação a como se dará a representação do conhecimento.

Cabe aqui, portanto, mencionar o papel que terá as ajudas, na forma de tecnologias assistivas, para qualquer tipo de deficiência, assunto este que será abordado no próximo capítulo.

3.4 Remarque conclusivo

Tendo colocado estas questões é hora de passarmos adiante no trabalho e tratarmos especificamente no próximo capítulo sobre as complexas questões que consideramos importantes para a composição de uma interface cérebro-computador num ambiente educacional considerado inclusivo e, principalmente adaptável, para ser considerada uma tecnologia assistiva.

Somos da opinião que as colocações e discussões apresentadas neste capítulo tenham sido suficientes para fundamentar nossa compreensão de que é preciso empreender um estudo muito aprofundado e detalhado sobre as questões neurocognitivas envolvendo o processo de ensino-aprendizagem, aquisição perceptual e conceitual do indivíduo com necessidades educacionais especiais e, no nosso caso, a pessoa com deficiência visual.

É evidente que a pesquisa científica sobre esta questão está num estágio bastante desenvolvido, principalmente em razão dos marcos teóricos e empíricos atualmente aplicados na pesquisa sobre imageria cerebral. Entretanto, muito mais importante do que isto, é fazer transparecer tais dados empíricos de uma maneira epistemológica, principalmente quando se pensa que tais dados não possuem vida em si mesmo e que, portanto, merecem e carecem de uma abordagem heurística e epistemológica, notadamente se pretendemos utilizá-la em contextos da pesquisa educacional.

A grande dificuldade é, conforme já constatamos na prática, encontrar pesquisadores dispostos a um diálogo inter, multi e transdisciplinar, com o objetivo não de procurar as semelhanças, mas, sobretudo, de vencer os pontos de vista e os paradigmas divergentes entre as ciências. O desafio nos parece ser muito mais em relação à própria organização, veiculação, articulação e negociação entre as áreas científicas, do que propriamente em relação à pesquisa que, isoladamente, cada uma destas áreas consegue realizar.

Contudo, o desafio está lançado. Não é nosso objetivo sermos catalizadores de algum movimento neste sentido, mas, também, é nosso papel lançar o germe desta semente dentro de um *metier* que, até bem pouco tempo, fazia uso do conhecimento desenvolvido em outros campos do saber humano.

CAPÍTULO 4 TECNOLOGIAS ASSISTIVAS COMPUTACIONAIS E ERGONOMIA COGNITIVA: UMA DIREÇÃO RUMO AO USO DE INTERFACES CÉREBRO-COMPUTADOR?

Avant propos

A inserção de uma nova tecnologia em um ambiente educacional na forma de uma tecnologia assistiva pressupõe uma análise profunda que explicita quais parâmetros podem tornar possível a compatibilização desta tecnologia com um enfoque pedagógico que oportunize processos de conceitualização em relação ao Ensino de Física, principalmente considerando a presença de alunos com necessidades educacionais especiais, inclusive as deficiências físicas e notadamente a deficiência visual, respectivamente.

Para isto, os objetivos deste capítulo são:

1. Selecionar alguns conceitos-chave da ergonomia cognitiva que contribuam para uma análise sobre a possibilidade de se utilizar uma interface cérebro-computador (ICC) como uma tecnologia assistiva;
2. Fazer com que o conjunto desta discussão esteja vinculado diretamente ao fato de que se trata de uma pesquisa na área educacional e que, por isto, possamos trazer uma contribuição que considere as possibilidades e necessidades em relação ao tipo de público (alunos) que hoje fazem parte do cenário ou contexto educacional;
3. Em função do foco da pesquisa estar centralizado sobre a conceitualização, a ideia é apresentar uma espécie de modelo ou abordagem que considere o processo semiótico, comunicativo e da linguagem humana;
4. Definir o **corpus de pesquisa**, para proceder no próximo capítulo a apresentação e posterior análise dos dados empíricos coletados, definindo assim os parâmetros e variáveis que serão considerados e avaliados.

Os resultados obtidos através desta pesquisa exploratória mostram claramente que existe uma fundamentação teórica muito consistente nas temáticas ‘ergonomia cognitiva’ e ‘tecnologias assistivas computacionais’ em relação ao referencial teórico da tese (Teoria dos Campos Conceituais), bem como a constituição dos dados empíricos, dados através do corpus de pesquisa. Ao que tudo indica, parece não existir pontos de incongruência entre o referencial teórico e os aspectos técnicos trazidos pelo uso de uma ICC pensando-se em sua utilização num ambiente educacional. Entretanto, como uma proposta inédita e estudo de viabilidade de aplicação para a área da educação científica para o Ensino de Física para deficientes visuais, a pesquisa também mostra uma série de problemas a serem resolvidos para que a tecnologia de ICC possa, efetivamente, constituir-se enquanto uma tecnologia assistiva.

4.1- Tecnologias assistivas

4.1.1 – Preliminares e as tecnologias assistivas num modelo de escola como um sistema aberto e complexo

No Capítulo 1 ficou definido de uma maneira mais abrangente e geral o conceito de educação inclusiva, sua origem, as orientações e diretrizes internacionais e política nacional, bem como a relação entre tais diretrizes e sua aplicação no contexto do Ensino de Física para deficientes visuais, explicitados em seguida no Capítulo 2.

Assim, nossa fundamentação teórica epistemológica foi a Teoria dos Campos Conceituais, já que esta aborda os processos de desenvolvimento da cognição humana baseada no mecanismo da conceitualização em situação, explicitando invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação), organizados através de esquemas elaborados segundo distintas situações didáticas.

Na continuidade, o objetivo deste capítulo é situar o uso da interface homem-máquina (ICC) como uma tecnologia assistiva considerando sua presença

dentro de um contexto epistemológico que possibilite o processo de conceitualização.

Sendo assim, nossa finalidade vai além da ‘simples’ apresentação dos aspectos técnicos envolvidos no problema, e avança adiante sobre a discussão necessária de se apresentar a proposta de um modelo que defende que tal tecnologia seja e esteja conformada segundo um sistema comunicativo e de linguagem humana, já que nosso epicentro epistemológico é o processo de conceitualização.

Para isto, teremos que necessariamente passar por um refinamento metodológico proporcionado pela ergonomia cognitiva, que fornecerá elementos não apenas técnicos, mas também epistemológicos, para sermos capazes de ter uma visão mais crítica ao se pensar em introduzir alguma metodologia, tecnologia ou sistema didático no contexto educacional.

Também será necessário que a configuração geral de uso da interface homem-máquina aqui trabalhada considere o **fator comunicacional**, relativo ao processo intrínseco da conceitualização e, portanto, da **linguagem** (aspecto semiótico). Em outras palavras, partimos do pressuposto básico de que tudo emerge do processo comunicativo humano, do qual participa a linguagem.

A Teoria dos Campos Conceituais, que é uma abordagem científica, faz parte também deste mecanismo ou fenômeno social, que é a comunicação e a linguagem humanas. Nossa constituição de dados empíricos levará em consideração este ponto central (comunicação e a linguagem humanas), dentro do qual aquilo que chamamos genericamente de ‘escola’ está inserido.

Uma pesquisa científica é sempre um recorte muito fragmentado e assíncrono, com respeito à realidade daquilo que pretende descrever. Mas este recorte não pode ser tão restrito a ponto de se perder de vista que uma produção científica é algo que deve trazer uma contribuição num âmbito mais geral e não apenas pontual.

Para uma compreensão mais sistematizada sobre isto, o mapa conceitual apresentado na Figura 11 explicita de maneira esquemática a relação entre a interface homem-máquina, sua concepção segundo uma tecnologia assistiva, e

a necessária configuração dentro do conceito de ergonomia cognitiva, e como tudo isto se relaciona neste trabalho com a constituição dos dados empíricos. Tal constituição dos dados empíricos, base para a análise em relação ao problema de pesquisa, é o que forma o **corpus de pesquisa**.

Este corpus é formado a partir das três principais fontes de dados com os quais trabalhamos, e serão também o material teórico e empírico através do qual construiremos nossa concepção a respeito daquilo que compreendemos como sendo uma tecnologia assistiva. Este **corpus** (PELACHAUD, 2010) se caracteriza por:

Corpus 1: os agentes considerados externos ou internos ao sistema educacional. Inclui-se então, professores (salas comum e de recursos), o próprio conhecimento acadêmico escolar (que é um recorte do conhecimento científico), o mundo exterior fora da sala de aula que o aluno convive. São todos os elementos que provém dos agentes humanos, considerando aqui principalmente a relação professor-aluno desenvolvida durante as atividades. Por isto mesmo, também se relaciona com a metodologia com que foram trabalhadas ou desenvolvidas as atividades didáticas neste trabalho, um enfoque multissensorial.

Corpus 2: considera-se aqui os fatores que configuram o ambiente de aprendizagem, principalmente a interface cérebro-computador, considerando suas características ergonômicas.

Corpus 3: são os agentes que se referem à tudo aquilo que a interface cérebro-computador pode executar no contexto deste trabalho. Basicamente, são duas funções que serão abordadas: controle de dispositivo robótico, de um lado e, de outro, monitoramento de determinadas variáveis neurocognitivas (atenção, cognição emocional, memória de curto, médio e de longo prazo, respectivamente), como também os dados neurocognitivos produzidos pela aquisição da atividade elétrica cerebral, ou seja, eletroencefalograma e ritmos cerebrais (*ondas Alpha, Beta, Gama e Theta*, respectivamente). Estes dados serão interpretados em relação ao processo epistemológico e heurístico vinculado ao processo de ensino-aprendizagem. A Figura 11 é um mapa conceitual evidenciando os três corpus de pesquisa e seus constituintes.

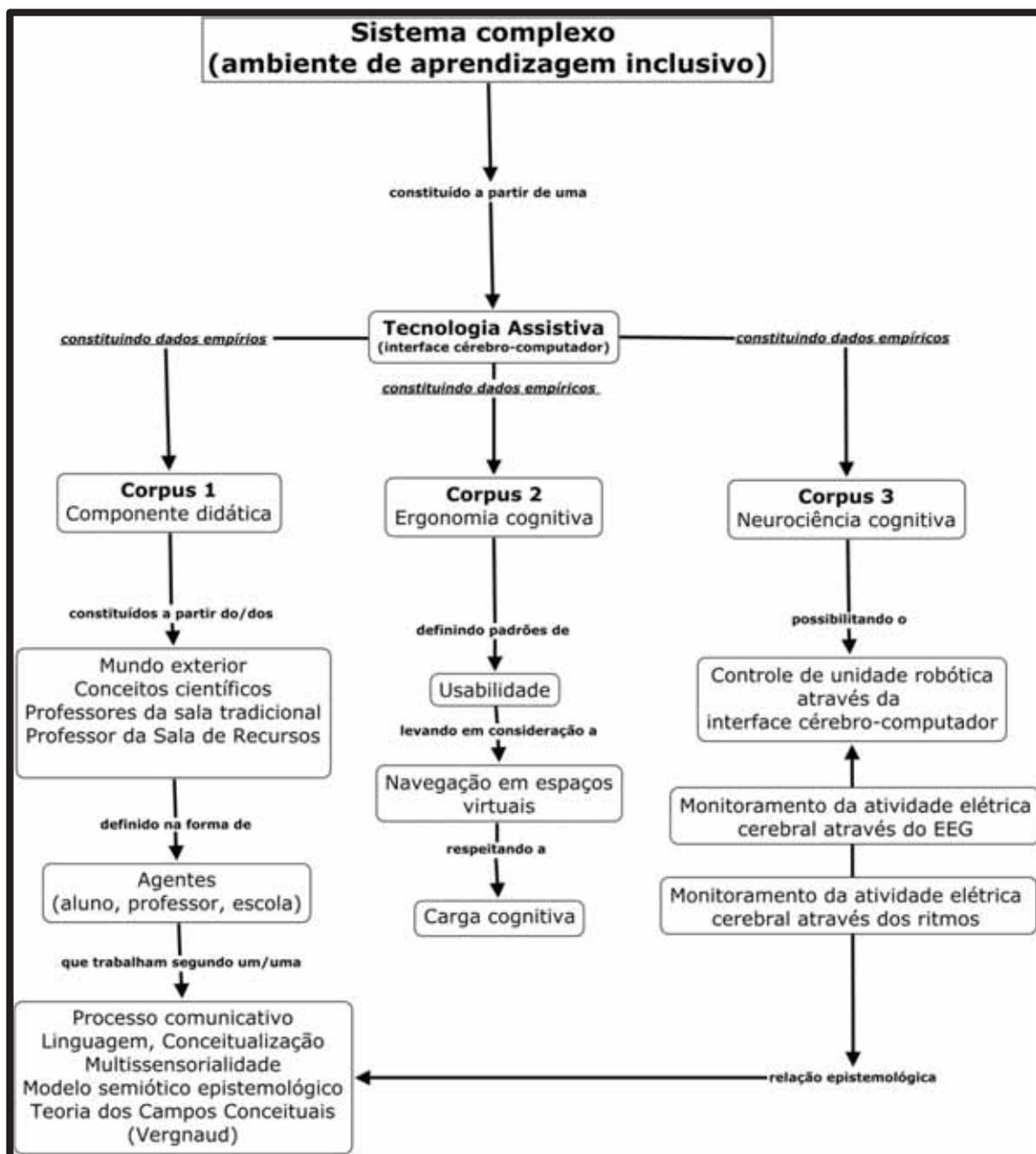


FIGURA 11 – Mapa conceitual mostrando a relação entre os corpora de pesquisa.

[Início da descrição da Figura 11]³⁶

O mapa conceitual inicia com um conceito central, na parte superior, onde se lê. “Sistema complexo (ambiente de aprendizagem inclusivo)”,

³⁶ Para uma questão de acessibilidade, algumas figuras mais complexas terão uma descrição de seus componentes. Esta descrição estará entre colchetes com a frase: Início da descrição da Figura (número da figura). Ao final da descrição, teremos uma frase em colchete onde se lê: Final de descrição da Figura (número da figura).

com a frase de ligação “constituído a partir de uma” que se liga ao conceito “Tecnologia Assistiva”. Este conceito ‘Tecnologia Assistiva’ deriva três outros conceitos, ligados pelas mesmas frases de ligação “constituindo dados empíricos’.

O primeiro conceito, do lado esquerdo, é ‘Corpus 1 – componente didática’, com a frase de ligação ‘constituídos a partir do”, que por diferenciação progressiva produz uma caixa de texto imediatamente abaixo, com o texto “Mundo exterior/Conceitos científicos, Professores da Sala Tradicional, Professor da Sala de Recursos”, ; seguindo ainda por outra caixa de texto, com a frase de ligação “definido na forma de” onde se lê “Agentes – aluno, professor, escola”, e uma terceira caixa de texto escrita “Processo comunicativo – linguagem, conceitualização, multissensorialidade, modelo semiótico-epistemológico, Teoria dos Campos Conceituais (Vergnaud). Esta última caixa de texto recebe duas flechas vindas, respectivamente, dos conceitos ‘Corpus 1’ e ‘Corpus 2’, respectivamente.

O segundo conceito é ‘Corpus 2 – ergonomia cognitiva”, com uma frase de ligação “definindo padrões de”, liga-se a uma caixa de texto imediatamente abaixo, onde se lê o conceito ‘Usabilidade’, que gera a frase de ligação “levando em consideração a” que vai em direção ao conceito de ‘Usabilidade’, que possui a frase de ligação “respeitando a”, ligado ao conceito ‘Carga Cognitiva’.

O terceiro conceito é ‘Corpus 3 – Neurociência cognitiva”, que gera uma frase de ligação escrita “possibilitando o ” indo para o conceito ‘Controle de unidade robótica através de uma interface cérebro-computador’, com um conceito abaixo escrito ‘Monitoramento da atividade elétrica cerebral através do EEG’, com outro conceito abaixo escrito ‘Monitoramento da atividade elétrica cerebral através dos ritmos’, que gera uma seta em direção à ultima caixa de texto do primeiro conceito, que a caixa “Processo comunicativo, etc.”, ligados pela frase de ligação “relação epistemológica”. *[Fim da descrição da Figura 11].*

Este conjunto de dados conforma uma parte de algo muito maior, que é a escola, que é um sistema complexo onde se supõe trabalhar dentro de um ambiente inclusivo.

Tentaremos ser mais restritos e delimitar nosso universo de ação. Para isto, se pensarmos numa condição ideal, onde todos os níveis que estão direta ou indiretamente relacionados com o aluno (tanto os considerados normais quanto aqueles com necessidades educacionais especiais) e a escola estivessem relacionados entre si, formando uma rede de informações sobre esta pessoa, sobre sua condição de saúde física, mental, psicológica, teríamos que necessariamente utilizar um conceito da área da computação e então definir tal sistema (quicá utópico?) como um '**Sistema de Informação Distribuída**' (onde estão associados os conceitos correspondentes de Cognição Distribuída, Inteligência Artificial Distribuída, e também de Sistema Tutorial Inteligente).

Para a Ciência da Computação a ideia de um Sistema de Informação Distribuída pressupõe que exista o compartilhamento da informação em rede, disponibilizada para um usuário a partir de uma dada máquina aparentemente isolada, mas que possui as informações das outras máquinas que compõem esta rede (TANENBAUM, 2007). Se isto fosse possível, seríamos capazes então de alimentar este sistema de informação distribuída com os dados obtidos do corpora acima mencionados.

Neste momento torna-se necessário fazermos uma distinção disto que estamos chamando de Sistema de Informação Distribuída, na área da Ciência da Computação, e daquilo que chamaremos também de Sistema de Informação Distribuída para os propósitos deste trabalho. E iniciaremos esta diferenciação apresentando algumas características próprias e particulares em relação ao sistema escolar considerado enquanto um sistema de informação distribuído.

Vejamos então algumas destas características preliminares:

- a) **Dinamicidade**: sendo a escola um ambiente de aprendizagem, supomos que haja um movimento, uma circulação em relação à maneira como as informações são processadas no ambiente de acordo com os sujeitos que dele participam. A dinamicidade é uma característica de

sistemas que são simultaneamente abertos (BERTALANFFY, 1975) e complexos (MORIN, 2002, 1996, 1991). Sistemas abertos são aqueles que trocam informação com outros sistemas; sistemas complexos são sistemas que possuem um imbricamento nesta troca de informações, remetendo imediatamente ao conceito de interatividade. E complexos porque pressupõem que a relação entre os elementos que o compõe não é apenas linear, ou seja, de um elemento para outro, mas sim considerando uma rede de elementos onde todos se influenciam mutuamente;

- b) **Interatividade:** estes sujeitos (que definiremos mais adiante sob o conceito de **agentes**) interagem direta ou indiretamente entre si e com tal ambiente (alunos, professores, pessoal técnico administrativo, pessoal técnico de outras áreas, etc.). A implicação disto é que tal ambiente de aprendizagem deverá supor que existe toda uma rede de elementos que estão interligados de tal maneira que este conjunto funcione de maneira integrada e complexa. A relação de interatividade inicial neste sistema de informação distribuída deveria ocorrer entre o ensino que é praticado na sala de aula convencional e o ensino que é praticado na sala de recursos. Em outras palavras, a presença de um aluno com qualquer tipo de deficiência deve pressupor um planejamento integrado das aulas, onde deveria participar o professor da sala convencional conjuntamente com o professor da sala de recursos. Conseqüentemente, tudo aquilo que é trabalhado por ambos os professores é compartilhado e sabido por estes profissionais.
- c) **Foco no ser humano:** neste sentido, a ideia que desenvolveremos em relação a proposta de uma tecnologia assistiva utilizando-se de uma ICC num ambiente de aprendizagem, deverá diferenciar-se de outras tecnologias assistivas pela razão inicial de que o propósito de inserção e do uso de tal tecnologia não se centraliza no caráter tecnicista da tecnologia em si mesmo. Normalmente quando se pretende implantar recursos didáticos em ambientes escolares, focalizam-se em demasia os aspectos mais voltados para a técnica em si mesmo em detrimento do aspecto humano. Segundo Ramon (1997) e Almeida (1999) esta depreciação do aspecto humano, colocando a tecnologia em primeiro

plano, é um dos principais motivos pelos quais ocorre um distanciamento e a subutilização de vários meios tecnológicos por parte dos próprios profissionais da educação (principalmente os professores).

- d) ***Feedback e Biofeedback***: na verdade estes dois conceitos poderiam estar inseridos no conceito de interatividade, mas consideramos mais conveniente tratá-los como uma categoria mais específica. A ideia de *feedback* é de oferecer um retorno de informação para o indivíduo sem que necessariamente este indivíduo possa ter um controle sobre o sistema com o qual está interagindo. Já o *biofeedback* pressupõe que a partir do *feedback* o indivíduo seja capaz de exercer uma devolutiva para o sistema com o qual está interagindo.

Um exemplo de uma relação onde não ocorre o *biofeedback* é quando se usa *softwares* de comunicação para deficientes visuais, como o Jaws, VIRTUALVISION, ou o DOSVOX.

Estes programas não fornecem qualquer *biofeedback* ao usuário em termos de alguma ação que pudesse ser realizada em função da identificação por parte do *software* sobre o perfil do usuário/utilizador. Apesar da grande utilidade deste tipo de *software* educativo, limitam-se apenas a oferecer determinada resposta já programada e fixa frente a determinada demanda por parte do usuário. O usuário está navegando por uma tela do editor de texto, e o *software* está informando que elementos estão sendo utilizados, e só. Se este usuário, por exemplo, sempre utiliza as mesmas ferramentas, ou os mesmos documentos, o *software* não é capaz de identificar isto e retornar ao usuário esta informação e, a partir disto, o usuário tomar alguma decisão. Este é um bom exemplo de que o projeto de utilização prática e operacional, por parte de um usuário realmente deficiente, não foi levado em consideração. Quer dizer, nos parece que o projeto não levou em conta um conceito bastante simples em ergonomia chamado de usabilidade.

Portanto, em conclusão, é necessário que quando falamos em tecnologias assistivas em ambientes educacionais, consideremos estes quatro aspectos, *dinamicidade, interatividade, foco no ser humano, feedback/biofeedback*, sem os quais uma aplicação pedagógica pode ser incompleta ou fragmentada.

A partir disto avançaremos a seguir na compreensão sobre as tecnologias assistivas computacionais.

4.2 - Tecnologias assistivas computacionais e Informática na Educação

O objetivo deste tópico não é o de discutir nem analisar com detalhes as tecnologias assistivas existentes (não computacionais ou computacionais). Para esta finalidade existem excelentes trabalhos acadêmicos que tratam especificamente disto. Provavelmente a obra mais completa e um verdadeiro estado da arte neste assunto seja a tese de Teófilo Alves Galvão Filho (GALVÃO FILHO, 2009), onde encontramos um estudo em relação a uma grande quantidade de tecnologias assistivas, desenvolvidas pelo próprio autor ou por outros pesquisadores.

Mas o mesmo autor (GALVÃO FILHO; MIRANDA, 2011) discute algo muito mais complexo e até mais importante do que a tecnologia assistiva em si mesma, que é justamente a necessária mudança de paradigma que tais tecnologias podem trazer para o ambiente escolar, mudança esta que está muitas vezes arraigada na prática docente que ainda guarda traços de segregação, por isto

(...)o paradigma educacional hegemônico em nossas escolas ainda é marcadamente caracterizado pela transmissão, repetição e memorização de informações, que ocorre de forma massiva, padronizada, baseado em padrões e limites de “normalidade” extremamente rígidos e arbitrários. E, exatamente por isso, trata-se de um modelo educacional que não suporta as diferenças (GALVÃO FILHO e MIRANDA, 2011,p.3).

Esta problemática da ‘normalidade’, ou da normalização, discutida no Capítulo 1 e retomada agora, quando trazida para o contexto da prática docente e da conseqüente maneira de se ensinar, principalmente considerando os avanços tecnológicos da sociedade como um todo e, inclusive, alguns destes avanços já fazendo parte da realidade da sala de aula, faz com que o professor deva

repensar sua prática. Assim, a inserção de tecnologias consideradas assistivas traz

A possibilidade de vivenciar a experiência de um paradigma educacional distinto, baseado na valorização da diversidade humana e nas diferenças entre as formas de aprender, construir e produzir conhecimentos, diferenças essas existentes entre todos os alunos e não apenas em relação aos alunos com deficiência, parece que não passa pela cabeça da maioria dos profissionais das escolas estudadas, pois são fortes as sequelas de uma formação baseada na uniformidade e numa padronizada expectativa de resultados (GALVÃO FILHO; MIRANDA, 2011,p.5).

Por esta razão nosso objetivo será sim o de delinear o aspecto epistemológico que subjaz o uso destas tecnologias, independentemente de quais sejam tais tecnologias. Esta demarcação teórica é necessária na medida que é necessário que tanto o profissional da educação (incluindo-se direção escolar, professores, coordenação e pessoal técnico-administrativo, desde o poder central ao regional), bem como comunidade e pais de alunos, compreendam que tais tecnologias (assistivas) por si só não garantem qualquer aprendizagem para estes ou para quaisquer alunos.

De qualquer maneira, convém definir o que são as tecnologias assistivas.

Para o Comitê de Ajudas Técnicas, tecnologia assistiva:

(...)é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (CAT, 2007).

Segundo Santarosa (1997), as chamadas Tecnologias de Informação e Comunicação podem ser utilizadas enquanto tecnologias assistivas, assim classificadas em quatro grandes grupos, a saber:

1. *Sistemas auxiliares ou prótese para a comunicação.*

2. *Para controle do ambiente.*
3. *Como ferramentas ou ambientes de aprendizagem.*
4. *Como meio de inserção no mundo do trabalho profissional.*

Uma classificação mais detalhada sobre as ajudas técnicas ou tecnologias assistivas é encontrada na Norma Internacional ISO 9999, conforme o Quadro 5.

**Quadro 5 - Tecnologias assistivas segundo a norma internacional ISO 9999/2007
(Tradução: Prof. Dr. Antonio Nunes, extraído de UNESCO, 2007, p.30)**

Classe 03	Ajudas para terapia e treinamento
Classe 06	Órteses e próteses
Classe 09	Ajudas para segurança e proteção pessoal
Classe 12	Ajudas para mobilidade pessoal
Classe 15	Ajudas para atividades domésticas
Classe 18	Mobiliário e adaptações para residências e outros móveis
Classe 21	Ajudas para comunicação, informação e sinalização
Classe 24	Ajudas para o manejo de bens e produtos
Classe 27	Ajudas e equipamentos para melhorar o ambiente, maquinaria e ferramentas
Classe 30	Ajudas para o lazer e tempo livre

Além destas classes temos também a Classe 5, onde estão os “Produtos de apoio para treino de competências” e os “Produtos de apoio para treino de comunicação alternativa e aumentativa”, que estão mais próximos de ajudas disponíveis no ambiente escolar:

Incluem-se, p. ex., dispositivos concebidos para melhorar as capacidades físicas, mentais e sociais. Dispositivos cuja função principal não é o treino mas que possam também ser utilizados para treino, deverão ser incluídos na classe que abrange a sua função principal (Portal Nacional de Tecnologia Assistiva³⁷).

Temos assim:

³⁷ Disponível em < <http://www.assistiva.org.br/node/783>> , acesso em 15 de outubro de 2012.

- **Produtos de apoio para treinos de competências (05 03³⁸):** Produtos de apoio para treino de voz e de fala; Materiais para desenvolvimento de competências de leitura; Materiais para desenvolvimento de competências de escrita;
- **Produtos de apoio para treino de comunicação alternativa e aumentativa (05 06):** Produtos de apoio para treino de alfabeto tátil; Produtos de apoio para treino de linguagem de sinais; Produtos de apoio para treino de leitura labial; Equipamento para treino de "cued speech"; Produtos de apoio para treino de Braille; Produtos de apoio para treino de símbolos tácteis excluindo o Braille; Produtos de apoio para treino de símbolos iconográficos; Produtos de apoio para treino de comunicação Bliss; Produtos de apoio para treino de comunicação com imagens e desenhos; Produtos de apoio para treino de comunicação Morse.

Mais especificamente para o deficiente visual, e também o deficiente auditivo, temos a Classe 22, com:

- **Produtos de apoio para ver (22 03):** Óculos, lentes e sistemas de lentes para ampliação; Produtos de apoio para expandir e direccionar o ângulo de visão; Sistemas vídeo de ampliação de imagem;
- **Produtos de apoio para ouvir (22 06):** Ajudas para ouvir usadas no corpo; Óculos com ajudas para ouvir; Ajudas para ouvir intra-auriculares; Ajudas para ouvir retro-auriculares; Ajudas tácteis para ouvir; Ajudas para ouvir associadas aos implantes; Acessório para produtos de apoio para ouvir;
- **Produtos de apoio para produção de voz (22 09):** Geradores de voz; Amplificadores de voz.
- **Produtos de apoio para desenho e escrita (22 12):** Dispositivos para desenho e escrita manual; Pranchas para escrita, esboço e desenho; Réguas de assinatura, chancelas e pautas de escrita; Equipamentos de escrita de Braille de forma manual; Papel/plástico especial para escrita;

³⁸³⁸ Segundo a Norma ISO 9999, cada classe é composta por dois números, sendo que os produtos que compõem cada classe possuem 3 pares de números. Aqui, por questão de simplificação, apresentamos apenas os dois primeiros pares de dígitos.

Blocos de notas portáteis para Braille; Software para processamento de texto; Software para desenhar e pintar;

- **Produtos de apoio para comunicação face-a-face (22 21):** Quadros e conjuntos de letras e/ou símbolos; Unidades de diálogo; Software para comunicação face-a-face;
- **Produtos de apoio para leitura (22 30):** Materiais de leitura falados; Materiais de leitura em caracteres ampliados; Máquinas de leitura por caracteres; Materiais para leitura tátil.

Também estão considerados os produtos relacionados com computação e informática:

- **Computadores e Periféricos (22 33):** computadores portáteis e assistentes pessoais digitais (PDA);
- **Dispositivos de entrada para computadores (22 36):** Teclados; Dispositivos tipo *mouse*; *Joysticks* do computador; Dispositivos alternativos de entrada; *Software* de entrada;
- **Dispositivos de saída para computadores (22 39):** Dispositivos de saída (*displays*); Impressoras; Dispositivos alternativos de saída; *Software* de saída especial.

Especificamente em relação à computação destinada para deficientes visuais, o trabalho de José Oscar Fontanini de Carvalho (CARVALHO, 1994) é uma dissertação tipo estado da arte sobre o tema, trazendo importantes referenciais teóricos para usuários e projetistas de *interfaces* para computadores. Embora o trabalho contenha considerações pertinentes ao nosso tema, seu foco é absolutamente distinto daquilo que estamos considerando aqui, já que estamos interessados na questão das atuais interfaces cérebro-computadores (ICC).

Embora ainda não tenhamos definido, explicado e detalhado o que é uma ICC (o que será desenvolvido no item 4.3), observemos que até este momento não encontramos nos produtos assistivos acima, nenhum dispositivo exatamente igual àquilo que realiza uma interface cérebro-computador. De fato, depois constataremos que uma ICC reúne características e funções que são desenvolvidas por vários dispositivos acima.

Além disto, uma ICC pode ainda apresentar funções conforme os produtos das duas classes de tecnologias assistivas abaixo:

- **Produtos de apoio para assistir e/ou substituir a função do braço e/ou mão e/ou dedos (24 18):** Adaptadores e dispositivos de preensão; Dispositivos para agarrar aplicados no corpo; Dispositivos para manter o objeto numa posição estável; Ponteiros; Ponteiros luminosos; Apoios de antebraços para atividades manuais;
- **Produtos de apoio para alcançar à distância (24 21):** Pinças de preensão manuais; Pinças de preensão elétricas; Dispositivos de extensão sem função de preensão.

Estes dispositivos todos fazem parte de equipamentos direta ou indiretamente relacionados com a informática ou computação, alguns deles fazem parte do ambiente educacional das escolas, principalmente das assim chamadas salas de recursos que, teoricamente, são preparadas para receber o aluno de acordo com algum tipo de deficiência.

Entretanto, existe também a presença mesclada da Informática na Educação, que inicialmente não foi pensada em termos de tecnologias assistivas. E justamente agora que tecnologias como o uso de interfaces cérebro-computador chegam também às escolas, é preciso rever este conceito de Informática na Educação.

Assim, o objetivo de apresentar a importante presença da Informática na Educação é mostrar como as tendências tecnológicas que surgem a partir dos novos paradigmas computacionais alteram o uso dos recursos informáticos, e também como a relação Homem-Máquina pode transformar as possibilidades epistemológicas, didáticas e metodológicas na relação ensino-aprendizagem.

Será que tais possibilidades são independentes da área ou da disciplina do conhecimento, ou será que o Ensino de Física (e Ciências) possui características próprias?

Para compreendermos este cenário é necessário analisar como se deu a evolução história dos dispositivos computacionais, e de paradigmas (implícitos ou explícitos) que nortearam tais criações.

Para isto, construímos o Quadro 6, onde correlacionamos tais dispositivos dentro daquilo que chamamos de 'paradigma computacional'. Convém deixar claro que esta terminologia que estamos utilizando, '*paradigma computacional*', diferencia-se do conceito homônimo utilizado nas Ciências da Computação que, geralmente, refere-se aos modelos computacionais em termos dos algoritmos ou linguagens computacionais utilizados, bem como a arquitetura de computadores, etc.

Quadro 6 - Evolução dos paradigmas computacionais³⁹

Período	Paradigma	Exemplos	Tecnologia médica, educacional e ou assistiva
Invenção do computador (década de 1940) até os dias atuais	<i>Paradigma da máquina mecânica:</i> a máquina auxiliando ou executando tarefas de maneira mais eficiente que o Homem, normalmente explorando mais as funções mecânicas	Máquina criptográfica (Segunda Guerra Mundial); calculadoras mecânicas computadores corporativos; uso industrial: máquinas CNC, sistemas CAD, robótica	Próteses mecânicas (pernas, mãos, braços)
A partir da década de 1960 até os dias atuais	<i>Simulação da realidade:</i> a máquina realiza uma tarefa virtual e o Homem treina esta tarefa através da máquina	Simuladores de vôo; softwares para uso comercial; softwares para uso em engenharia, arquitetura; softwares educacionais; jogos virtuais	Computador como ferramenta: editor de texto, planilha, apresentação multimídia, enciclopédia digital. Sintetizador de voz (usado para deficientes visuais). Invenção do sistema OCR de reconhecimento óptico para deficientes visuais, recurso incorporado aos escaners. Aplicação do conceito de 'design universal'.
Início da década de 1980 até os dias de hoje	<i>Comunicação humana:</i> a máquina é utilizada como meio de facilitação dos processos	Telecomunicações (transmissão via satélite, por computador/ videoconferência ou televisão); telefonia celular móvel; internet	Aplicativos, softwares e hardwares (computadores, telefones celulares, relógios) com

³⁹ Observemos que este quadro não tem a intenção de ser completo, além de que também não estamos enfatizando invenções e descobertas nos campos da Medicina, Biomedicina, Biomecânica, etc.

	comunicativos humanos; o conceito de comunicação interpessoal é ampliado para a ideia de redes sociais.	(redes sociais, comunidades virtuais, comunidades de aprendizagem virtual.) iphone; sistema 3/4/5G;	interface de comunicação. Pesquisas com próteses eletromecânicas.
Início dos anos de 1990 até os dias atuais	Inteligência artificial (máquinas inteligentes): interação homem-máquina-ambiente com os computadores integrando-se ao ser humano e ao ambiente (ou seja, produz-se uma relação de <i>feedback</i> – retroalimentação)	Medicina (marca-passo, sistema de visão através da língua); realidade virtual	Prótese coclear para surdos; substituição sensorial para cegos (utilizando a língua como sensor óptico). Realidade virtual utilizada para treinamento cognitivo (simuladores de voo, softwares para habilidades cognitivas)
Início da década de 2000	Simbiose funcional Homem-máquina: dispositivos robóticos, em várias dimensões (como os nano robôs) integram-se ao corpo humano	Nano robótica	Controle de cadeiras de rodas através de interface cérebro-computador; dispositivos háptico. Vestes com sensores para monitoramento de estados afetivos/emocionais.
	Ecoinformática: integração simultânea computador/Homem/ambiente. Observa-se que neste enfoque as informações do ambiente são levadas em consideração, permitindo maior interatividade	<i>Ambiente intelligence</i> , Computação 'vestível' (<i>wearable computing</i>)	
Dos anos 2005 até 2012	Paradigma da consciência: A emoção é considerada uma 'variável cognitiva', inclusive com modulação de valência (THAGARD, 2006). Entra em cena a computação afetiva ou <i>affective computing</i> (PICARD, 1997). A 'consciência humana' integra-se à concepção das máquinas	Interface cérebro-computador que responde a comandos emocionais/afetivos; computação emocional; computação ubíqua, computação háptica (LÉCUYER, 2009; KINDLEIN JÚNIOR, 2006), realidade expandida, robôs que demonstram sensações e emoções; interface cérebro-computador-cérebro	Micro implantes: cérebro (Mal de Parkinson), retina (retinite pigmentosa, degeneração macular pela idade); interfaces táteis inteligentes, GPS adaptados para cegos, Interfaces cérebro-computador-cérebro

Observando atentamente o quadro fica patente que a evolução tecnológica na informática é precedida por fortes ideias e princípios precursores, que alteram essencialmente a própria concepção sobre o que até então chamávamos de ‘tecnologia’, e também aquilo que há pouco definíamos como sendo ‘humanos’. Parece que, na verdade, ambos os conceitos (aparentemente coisas separadas, embora interligadas) estão cada vez se sobrepondo um ao outro.

Mas observa-se também que o mais notável nesta evolução é a constatação de que a informática foi caminhando inicialmente de atividades que objetivavam ações que envolviam a realização de tarefas que poderiam ser executadas por máquinas, para depois ir em direção à tarefas onde o computador tentava imitar a realidade (simulação), posteriormente o foco recaiu sobre o processo comunicativo e, mais recentemente, a máquina passa a ter um caráter mais inteligente, humano e, inclusive, emocional e afetivo. Devido a relevância do tema computação afetiva, iremos posteriormente tratar este assunto num tópico específico. E recentemente (após o ano 2011), as interfaces cérebro-computador-cérebro possibilitam o feedback do humano para a máquina e desta para o humano.

Outro aspecto que está por detrás desta evolução é o fenômeno batizado pelo nome de ‘Lei dos Retornos Acelerados’ (*Law of Accelerating Returns*), muito bem expressa por Ray Kurzweil no fenomenal *best-seller* “*The age of spiritual machines*” (KURZWEIL, 1999) . Assim, para o século XXI, espera-se uma evolução tecnológica não de 100, mas sim de 20.000 anos. Ou seja, o ritmo das revoluções tecnológicas proporcionado pela evolução na informática vem crescendo exponencialmente. De fato, talvez para os leigos esta passagem da fase do ‘paradigma comunicacional’, para a fase do ‘paradigma da consciência’ em menos de 30 anos, não tenha sido percebida de maneira tão notável, exceto pelo fato de que a capacidade de armazenamento e de processamento dos computadores tenham também crescido muito neste período.

Contudo, considerando o uso da informática no contexto educacional, veremos que, praticamente, ainda permanecemos no mesmo período em que se usava as máquinas de escrever (década de 1950) e, também, conseguimos dar um uso ao computador em tarefas de armazenamento de informação, por exemplo,

através da gigantesca quantidade de sites que disponibilizam informação na web.

Por outro lado, procurando transpor a expectativa de crescimento exponencial da informática para a área educacional, o que poderíamos esperar? De imediato, temos que ser conscientes que a introdução da informática no *metier* educacional nos obriga a uma reflexão mais acurada sobre o papel que esta ciência pode ou deve representar (ou ressignificar) a partir deste fenômeno tecnológico evolutivo exponencial.

Isto poderá não implicar, necessariamente, num avanço paralelo, correspondente, similar ou concomitante no que diz respeito à maneira como esta questão será tratada nos ambientes de aprendizagem ou, melhor dizendo, na escola (entendendo-se a palavra 'escola' num sentido generalizado da educação formal acadêmica).

Portanto, esta discussão tem a ver essencialmente com o papel que se pode dar ao uso da tecnologia no ambiente educacional (e também em outros ambientes cuja presença humana é imbricada à tecnologia), não apenas no sentido de um uso instrumental e mecânico.

Conseqüentemente, quando projetamos isto para as tecnologias assistivas, somente podemos imaginar que esta deveria ser voltada para minimizar as dificuldades e maximizar os ganhos das pessoas com algum tipo de deficiência, em todos os sentidos. Mas isto deveria incluir ajudas que fossem além daquelas com as quais normalmente já estamos habituados, mas que considerassem aquelas diretamente relacionadas à capacidade de raciocinar, de imaginar, de expressar ideias e sentimentos.

Desarrollar recursos de accesibilidad significa también combatir esos prejuicios, pues desde el momento en que se proporcionan a la persona con discapacidad las condiciones para interactuar y aprender, expresando su propio pensamiento, resultará más fácil que se la trate como un "diferente-igual"... Es decir, "diferente" por su condición de persona discapacitada, pero al mismo tiempo "igual", ya que interactúa, se relaciona y compete en su medio con recursos más poderosos proporcionados por las adaptaciones de accesibilidad que tiene a su alcance (GALVÃO FILHO; DAMASCENO, 2008).

Na verdade, vale aqui uma pausa para fazermos um exercício de utopia, ao imaginarmos que o uso das tecnologias assistivas computacionais na escola deveria acompanhar o mesmo ritmo da evolução da informática como um todo.

Em função disto, poderíamos perguntar:

Como a tecnologia (principalmente a computacional) pode ou deve ser inserida nos ambientes educacionais de tal maneira que contribua para a aprendizagem, a autonomia, para a expressão do pensamento, dos sentimentos e das emoções? Para isto, que grau de interatividade, complexidade e teleologia são necessários para atender às necessidades e condições frente à diversidade humana presente no contexto escolar, considerando a presença de indivíduos comprovadamente com vários níveis de comprometimento físico-motor, emocional e intelectual?

O que está em questão aqui é a origem epistemológica, a heurística e a pragmática, em termos do que se pretenda vincular, associar, direcionar e conseqüentemente de atribuir uma aplicação em relação à tecnologia computacional, antecipando determinados paradigmas essencialmente e inerentes à condição e natureza Humana.

Talvez o mais clássico e notável exemplo disto que estamos dizendo foi o debate que ocorreu em 1997 entre ninguém menos do que Paulo Freire e Seymour Papert. Resumidamente, o segundo defendia a extinção da escola nos moldes atuais, por um modelo autodidata de aprendizagem onde a informática (o computador) substituiria o sistema educacional (escola e professor). Por outro lado, Freire, bem situado e realista, vai dizer que apesar de que isto possa ser uma utopia possível de ser realizada em algum futuro, a questão é que temos que lidar **hoje** com a escola que está posta aí. Ou seja, não adianta sonharmos com algo tão distante enquanto temos problemas prementes a serem resolvidos **aqui e agora**.

Esta provocação é interessante, porque Paulo Freire não estava desconsiderando, ignorando ou menosprezando o papel da tecnologia para a aprendizagem. Entretanto, também não coloca e não vincula uma finalidade

como aquela antevista por Papert, talvez exequível para ainda pequena parcela da população, como algo a ser generalizado e aplicável para o mundo inteiro.

Mas sabemos que Papert não estava defendendo nenhum tipo de aplicação mecanicista ou apenas instrumental da informática pela informática, e sim, de que seu acesso deveria ser algo para toda a população.

Contudo, preocupações sobre o uso exclusivamente tecnicista de quaisquer recursos tecnológicos na escola ocorreu também quando a informática foi introduzida na escola.

Em “Informática Educativa”, Ramon de Oliveira (1997) resume parte do verdadeiro drama que foi a introdução da informática educativa no Brasil⁴⁰, principalmente porque houve por parte do professorado uma resistência muito grande. Resistência explicada pelo fato dos professores não terem participado deste processo.

Além disto, segundo aquele autor, uma política de capacitação docente mais eficaz e eficiente deveria ter precedido e acompanhado aquele momento, já que as ações de formação de professores que ocorreram não foram capazes de realmente instrumentalizar o professor.

Pelo que relata o autor, não parece que o problema fosse sobre a natureza epistemológica e o conseqüente uso da ‘ferramenta’ computador, e sim uma questão essencialmente envolvendo o ‘poder’. Mas, de fato, este poder talvez trouxesse como conseqüência a possibilidade de que seus autores (passivos ou ativos) participassem (ou não), interferissem e construíssem decisões sobre o andamento de uma importante história que se desenrolava.

Em meio a esta eclosão de choques de ideias, acompanhamos as diversas incursões do destacado pioneiro e disseminador da Informática Educativa no Brasil, o professor José Armando Valente, da UNICAMP, que ficou muito notório no meio, principalmente pela disseminação da ferramenta educacional LOGO.

⁴⁰ Como não é nosso propósito apresentar o histórico da informática educativa no Brasil, recomendamos a leitura de Moraes (1993).

Através desta ferramenta, Valente demonstrava que a 'informática na educação' ou 'informática educativa' deveria procurar um rumo que não fosse o uso da informática pela informática, ou a chamada informática instrumental (VALENTE, 1996).

Esta mesma preocupação colocou em evidência um dos pontos que mereceu uma reflexão mais apurada, que foi a crítica por parte de alguns pesquisadores e também professores, de que a introdução da informática nas escolas traria como consequência a necessidade dos alunos estudarem as disciplinas técnicas de informática (lógica de programação e linguagens). Era uma discussão sobre o uso tecnicista da computação, o que possuía fundamentação crítica muito pertinente.

De fato, o esforço empreendido pelo professor Valente, assim como por vários pesquisadores e grupos pelo país, resultou numa plêiade de projetos aplicados em escolas, pesquisas educacionais por todo o país, difundindo a linguagem *LOGO* (ou *SLOGO*). A ideia era fazer com que principalmente os professores compreendessem que o uso da informática poderia, de fato, fazer a diferença na aprendizagem do aluno. Sobretudo porque este recurso possibilitava fazer o aluno raciocinar, problematizar, se autoquestionar e não apenas reproduzir o conhecimento.

Como consequência deste embate sobre o uso do computador, que perdura até os dias atuais, algumas abordagens pedagógicas e didáticas eclodiram e se tornaram muito conhecidas justamente por defenderem que o mais importante era fazer com que o computador fosse utilizado para contribuir efetivamente com a chamada 'construção do conhecimento', um termo emprestado da teoria piagetiana, mas que foi logo adaptado por autores como o mesmo Papert mencionado anteriormente, através de sua teoria chamada 'construcionismo'.

Pois bem, no Brasil, procurando o aspecto mais social da questão, numa escala cronológica crescente temporalmente e também em relação a outros recursos tecnológicos (televisão, vídeo e computador) projetos como Salto para o Futuro (1991), TVEscola (1995), e Programa Nacional de Informática na Educação (ProInfo, criado em 1997 pelo Ministério da Educação), procuraram

disseminar uma discussão nacional sobre o papel das tecnologias aplicadas a educação.

Neste sentido, o Governo Federal publicou uma excelente série de 20 livros através do Ministério da Educação, intitulada Coleção "Informática para a Mudança na Educação", material este que chegou a todas as escolas⁴¹ mas que, talvez, não tenha produzido os efeitos esperados, mesmo porque vários estados da federação, como é o caso do Estado de São Paulo, adota desde então políticas próprias, totalmente independentes e até contrárias em relação ao Governo Federal.

Corroborando isto, exemplificamos a política que tentou implantar o uso de softwares livres (sistema GNU, LINUX⁴², etc.) nas escolas públicas onde havia laboratórios de informática. Neste sentido, a Secretaria de Estado da Educação do Estado de São Paulo, desde os anos de 1990 simplesmente não é favorável e até se posiciona de forma totalmente contrária a esta política federal, justamente porque considera ser mais conveniente utilizar o software proprietário como sistema operacional.

Paradoxalmente, embora não se buscasse e não se centralizasse o uso tecnicista da informática e computação no nível das escolas públicas, provavelmente o uso do *software* livre dentro destas escolas poderia ter contribuído para o aprofundamento nos paradigmas computacionais no país, principalmente nesta atual fase do 'paradigma da consciência'.

A disseminação do software livre facilita o acesso à maneira como os programas são construídos, tendo como consequência a formação de uma geração de usuários muito mais conscientes sobre como tais ferramentas operam, haja visto que apesar de que várias linguagens de programação terem sido desenvolvidas dentro dos meios acadêmicos universitários, usuários considerados 'leigos' facilmente acabam tendo acesso a tais sistemas.

⁴¹ Disponíveis no site: <http://escola2000.net/eduardo/paginas/textproinfo.htm>, consulta em 23 de junho de 2012.

⁴² GNU é uma abreviatura da 'General Public License', uma licença internacional que permite que um software seja executado, estudado, adaptado, modificado, aperfeiçoado e redistribuído. Nestas condições, um software com licença GNU não pode ser comercializado (como é o caso dos softwares proprietários). LINUX é um tipo de software livre com licença GNU.

Com isto, um 'simples usuário' se torna um desenvolvedor, ou um programador em potencial. Exemplo disto é o que constatamos em comunidades de usuários das recentes e conhecidas interfaces cérebro-computador OpenVibe (software livre) e Emotiv EPOC (software proprietário), respectivamente.

E neste cenário, a figura do professor como um possível catalisador e formador de opinião de processos sociais, acaba por coloca-lo numa posição de retaguarda em relação ao seu próprio alunado ao qual ele, professor, teria a obrigação moral e técnica de estar adiante, principalmente considerando a Lei dos Retornos Acelerados.

Exemplificando. Uma pesquisa realizada pelo Centro de Estudos da Fundação Victor Civita, IBOPE e o Laboratório de Sistemas Integráveis da Universidade de São Paulo em 400 escolas de 13 capitais brasileiras (Porto Alegre, Curitiba, São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Goiânia, Brasília, Salvador, Recife, Fortaleza, São Luís, Belém, Manaus) mostrou que 89 % dos professores declaram não estarem preparados para trabalhar com a informática na educação (LOPES et al., 2010).

Embora a pesquisa tenha levantado com precisão as modalidades de uso pedagógico da informática, não teve como propósito mostrar a correlação de tal uso em função da aprendizagem, do desempenho ou da influência sobre o perfil cognitivo dos alunos, o que poderia revelar elementos ainda mais preocupantes em relação a este uso.

Pois bem, a pesquisa evidenciou que dos professores que utilizam a informática diretamente com alunos, o recurso mais utilizado é o editor de texto (50%), seguido pelo uso de sites de visualização de mapas (44%), editor de apresentação (43%), enciclopédias (40%). Em contraste, recursos como software de modelagem, apresentaram um uso de apenas 7%, e simuladores 16%. Curioso que o uso de editor de página web representou 21%, contrastando com os 43% de uso de programa de apresentação.

O que estes dados demonstram? Conforme dito anteriormente, fica evidente que o uso da informática na escola ainda está na época do paradigma onde se utilizava a máquina de escrever e, quando muito, mais centrado no uso do

computador enquanto biblioteca ou armazém de informação. Por esta razão, a pequena percentagem de uso de softwares de modelagem e simuladores, que exigem uma elaboração conceitual e domínio mais profundo dos recursos computacionais, quando comparado com softwares de edição de texto. Pelo mesmo motivo, os 21% do uso de elaboração de página web, contrastou com os 44% de uso dos softwares de apresentação multimídia⁴³, muito mais simples de serem utilizados (embora que o próprio editor de texto possa ser empregado para esta finalidade).

Retornando a questão da implantação da Informática na Educação, também na década de 1980, num âmbito um pouco diferente, mas até certo ponto equivalente em relação a esta questão no Brasil, Denning e colaboradores (1989) discutiram e aprofundaram este tema ao proporem dentro da *Association for Computing Machinery*, nos Estados Unidos, um questionamento sobre o que seriam as bases e a atuação da ciência da computação: uma disciplina da engenharia, simplesmente uma tecnologia, uma mera tecnologia, uma invenção ou fornecedora de produtos? Naquele momento tratava-se de se compreender que a computação deveria ter também algum caráter que não fosse apenas e tão somente o aspecto da produção de produtos, invenções, técnicas, procedimentos, processos que não tivessem em sua essência o fato de que é o **'ser humano'** que está por trás de tudo isto no momento de seu uso.

A solução encontrada foi desenvolver uma pedagogia e didática muito bem estruturada e articulada com várias disciplinas, mas procurando envolver diversos aspectos daquilo diretamente relacionado com o ensino-aprendizagem da ciência da computação. Com isto, conseguiu-se uma caracterização bem particularizada de acordo com as necessidades próprias que aquela área e conhecimento exigiam, permitindo que o aluno ao mesmo tempo que dominava tecnicamente ferramentas computacionais, também tivesse um senso crítico no qual a informática era um instrumento do pensamento, e não apenas uma técnica.

⁴³ Um dos mais conhecidos é o editor de texto Microsoft Word e o editor de apresentação multimídia, Microsoft Power Point. Mas também existem editores com licença livre GNU, como o BROffice, cujos correspondentes são os softwares Writer e o Impress, respectivamente.

Booth (1992) apresenta a mesma problemática quando discute a questão do uso da computação para as finalidades mais próximas do ser humano, ideia esta que deu origem a diversas nomenclaturas como '*sistema de interface homem-máquina*', '*interface homem-computador*' entre outras. Para o autor, a discussão pode ser resumida em duas grandes categorias: a primeira considera a utilização da computação em relação a sua funcionalidade, e a segunda perspectiva em relação a sua compreensão.

No primeiro caso o objetivo é analisar as facilidades que são requeridas dentro de um quadro de organização particular. E a segunda situação diz respeito a apresentar as facilidades dentro de um caminho que seja compreensível para o usuário (BOOTH, 1992, p. 69-96).

Normalmente os **experts** possuem um ponto de vista totalmente diferente do usuário, mas os próprios profissionais (engenheiros, técnicos, designers e outros) consideram-se eles mesmos como usuários e, assim, desenvolvem padrões e parâmetros de referência que consideram ser válidos e aplicáveis para o público em geral, ou simplesmente as pessoas 'leigas' (ALTY; COOMBS, 1980; EASON, 1976).

Aparentemente isto pode ser visto como algo sem muita importância, quando não consideramos que a negligência ou a subestimação a respeito das características e necessidades do usuário podem passar despercebidas pelo especialista. Com isto, determinadas funções essenciais dentro de um sistema de informação (incluindo-se principalmente os computacionais) podem comprometer seriamente algum parâmetro ou elemento diretamente relacionado com a cognição, com a saúde, com a psicologia cognitiva e comportamental daquele usuário em particular.

A título de exemplo, e não objetivando entrar no mérito da complexidade da discussão, há uma grande controvérsia e polêmica em relação a questão de se utilizar o treinamento de 'habilidades cognitivo-motoras' através de softwares e transpor ou estender esta 'aprendizagem virtual' para situações concretas onde são requeridas as mesmas habilidades, principalmente quando se fala em *softwares* do tipo simuladores.

A este respeito, um extenso estudo desenvolvido pelo neurocientista Adrian Owen com aproximadamente 11.000 pessoas utilizando um treino virtual das habilidades de raciocínio, memória, planejamento, habilidades de atenção e visuo-espacial mostrou que não existe diferença significativa na aquisição da suposta transferência de habilidades (OWEN et al., 2010).

O mesmo autor, Adrian Owen, entretanto, desenvolveu uma aplicação utilizando uma interface cérebro-computador com a finalidade de possibilitar que uma pessoa em estado vegetativo estabelecesse uma comunicação com outra pessoa e, com isto, permitir que tal comunicação resultasse na compreensão sobre alguma atividade (por exemplo, na composição de uma palavra ou de uma frase).

O experimento que o cientista fez consistia na pessoa imaginar a ação motora de jogar tênis, ou caminhar pela casa. E após um treino da imaginação desta ação motora, o cientista fazia com que a pessoa associasse a lembrança desta ação com a resposta de 'sim' ou 'não'. Depois, com auxílio de equipamento de leitura e interpretação de imagéria cerebral, era possível identificar as respostas da pessoa de acordo com a área do cérebro que havia sido ativada durante as respostas que foram dadas.

Para nós, o que o experimento traz como analogia é que embora uma tarefa cognitiva possa deflagrar toda rede neuronal, segundo o **“Princípio de ação multitarefa neuronal”** (NICOLELIS, 2011), uma tarefa bem específica como aquela da pessoa se imaginar jogando tênis, ou caminhando pela casa, produzirá o recrutamento de neurônios em regiões 'geográficas' absolutamente específicas no cérebro.

Agora, se imaginarmos que, por exemplo, uma ação pretensamente educacional e pedagógica de fazer um aluno utilizar determinado *software* educacional trará como consequência a garantia inequívoca de transferência da aprendizagem a nível virtual para o nível 'concreto', é algo bastante questionável e passível de uma investigação muito criteriosa.

Em geral, para os defensores do uso das Tecnologias de Informação e Comunicação, há sempre vantagens no uso destes recursos enquanto maneira

de melhorar a *performance* ou o desempenho escolar. A este respeito, o Quadro 7 parece corroborar o que dissemos. Vejamos.

Quadro 7 - Comparação aprendizagem tradicional versus aprendizagem com TICs - National Educational Technology Standards for Teachers, ISTE/ Tradução : FERREIRA, G.C. (2002), extraído de ITS/Microsoft Educacional, 2008, p.22

Aprendizagem tradicional	Aprendizagem com as TICs
Instrução centrada no professor/Estimulação	Aprendizagem centrada no aluno
Uni sensorial	Estimulação multissensorial
Progressão unidirecional	Progressão multidirecional
Única mídia	Multimídia
Trabalho isolado	Trabalho colaborativo
Informação fornecida	Troca de informação
Aprendizagem passiva	Aprendizagem ativa/exploratória/inquisitiva
Aprendizagem por aquisição de informações	Pensamento crítico/tomada de decisões
Reação de responsividade	Ação planejada, integrativa, por iniciativa

O quadro induz uma interpretação onde se infere que sempre existem vantagens no uso da tecnologia, o que sabemos não corresponder exatamente à realidade. De fato, para os propósitos deste trabalho, o que nos interessou foi termos focado na questão de que a informática ainda é subutilizada no contexto escolar, empregando ainda ferramentas e recursos bastante modestos quando comparado àquilo que já está disponível na sociedade como, por exemplo, as interfaces cérebro-computador que estão sendo utilizadas em jogos eletrônicos.

Assim, é absolutamente pertinente imaginar que a tecnologia das interfaces cérebro-computador possa ser adaptada para o contexto escolar, em suas mais diversas aplicações, mas talvez não sem considerável resistência. Portanto, toda argumentação precedente que foi desenvolvida teve como objetivo mostrar que a coerência deste propósito está precisamente em dizer que estamos apenas seguindo o curso (talvez nem tanto natural) de uma tecnologia que já ganha senão os 'bancos escolares', mas a 'cabeça' dos jovens.

Concomitantemente e num lado diametralmente oposto, convivemos com a dificuldade com que o aparato humano representado por parte do professorado

ainda demonstra em relação ao uso mais elaborado da informática no contexto escolar.

No nosso caso, uma interface cérebro-computador pode oferecer diversos tipos de usos além do controle de dispositivos eletro-eletrônicos. Por exemplo, ser utilizada como *feedback* cognitivo e fonte de informações para uma equipe profissional. Isto inclui, como exemplo, o monitoramento da atividade elétrica através do eletroencefalograma e dos ritmos cerebrais, informações estas que podem dizer muito sobre os estados cognitivos, afetivos e, portanto, de aprendizagem dos indivíduos.

Estas informações por si só não tem nenhum valor se não forem interpretadas por profissionais gabaritados e trabalhando numa perspectiva transdisciplinar ou, no mínimo, interdisciplinar. Mencionemos tais profissionais, a título de exemplo: pedagogo, psicopedagogo, professor da sala tradicional, professor especialista da sala de recursos, psicólogo, médico, etc.

Trata-se então, de fazer com que aquilo que estamos chamando de 'informações', de 'dados' neurocognitivos da interface cérebro-computador sejam não apenas interpretadas e processadas, mas sim que passem por um processo comunicativo que envolverá diversas pessoas. Além disto, o uso das interfaces cérebro-computador destaca a possibilidade de uma grande imersão no paradigma da consciência, pois, além de procurar a relação entre cognição e consciência humana, busca também a relação entre cognição e emoção.

Isto faz com que tenhamos que propor uma solução que caminhe em direção a um modelo comunicativo, de natureza comunicativa, muito mais do que apenas um modelo considerado 'informacional', ou computacional, já que emoção neste contexto coloca em evidência a necessidade humana de trocas comunicacionais. E estas trocas, também, incluem as relações afetivo-cognitivas que se desenvolvem no ambiente educacional, considerando-se também os respectivos espaços e ferramentas de ensino-aprendizagem.

4.2.1 – Computação afetiva: quando as máquinas começam a se humanizar

Como dissemos, há um novo paradigma (talvez não tão novo assim, porque isto já possui algumas décadas) que cada vez vem ganhando não apenas mais adeptos, mas que também tem sido cada vez mais estudado e aperfeiçoado, e que muitos pesquisadores de áreas da ciência básica (como a própria área educacional) são totalmente avessos a tal concepção. Trata-se da chamada computação afetiva (máquinas emocionais, informática emocional, mediação afetiva, etc.).

É necessário esclarecer que especificamente na área do *design* de produtos, muitos profissionais que trabalham com o aspecto técnico da ergonomia, utilizam o conceito de design emocional, que é um conceito completamente distinto da computação afetiva, embora possua algumas relações. A título de exemplo, autores como Bonnardel (2006) e Norman (2008) que ao enfocarem a questão do papel da *criatividade* na ergonomia, parecem estar assim relevando e até modalizando a componente criatividade como algo essencialmente voltado, dirigido e preocupado com o aspecto humano, inclusive buscando aportes nas ciências cognitivas. Mas é preciso esclarecer que esta linha metodológica do chamado *design emocional* objetiva mais o produto em si mesmo, embora aparentemente denote que o foco seja provocar, sensibilizar ou afetar o Homem.

As temáticas emoções, sentimentos e afetividade sempre estiveram direta ou indiretamente presente na pesquisa educacional, principalmente quando a área da Educação possuía um vínculo maior com a área da Psicologia.

Ainda hoje, na pesquisa educacional brasileira, por exemplo, o GT 20 da ANPED (Associação Nacional de Pós-Graduação em Pesquisa em Educação), Psicologia da Educação, em 2011 trouxe um trabalho intitulado 'A afetividade nas produções do GT 20 – Psicologia da Educação – da ANPED'. Segundo a autora, dos 144 trabalhos deste grupo, 11 trataram absolutamente a questão da afetividade (envolvendo diretamente as emoções), sendo que o artigo

analisa sete trabalhos (seis eram textos completos e um era pôster). Segundo a autora:

As temáticas abordadas nos textos são: conceito de afetividade; sentimentos e emoções na prática docente do ensino superior; sentimentos e emoções do professor coordenador em início de carreira; influência da afetividade na relação professor-aluno e no processo de ensino e aprendizagem da linguagem escrita, e relação afetividade e cognição no processo de ensino e aprendizagem (CACHEFFO, 2011).

Parece-nos que a análise pretendida generaliza demais conceitos como 'emoção', 'sentimentos' e 'paixão', carecendo de uma maior precisão, talvez um sistema de categorização mais detalhado e preciso a respeito destes e de outros conceitos tratados no texto. Neste sentido, a análise realizada parece também não ter se preocupado em proceder este detalhamento nos próprios trabalhos objetos do estudo.

Uma atitude semelhante é encontrada, por exemplo, em Archangelo, Peres, Cunha e Amon (2008) num trabalho intitulado 'Os aspectos afetivos no processo de aprendizagem da Matemática e da Física', que malgrado a conclusão de que *'como se pode notar, o aprendizado da Matemática e da Física é perpassado, em todos os casos, pelas possibilidades e impossibilidades que os vínculos afetivos entre professores e alunos oferecem'*, permanece numa total imprecisão ou uma generalização sobre o que são exatamente tais vínculos afetivos.

A explicitação das sutilezas, das gradações, das nuances precisas sobre quais são exatamente estes vínculos afetivos, estes sentimentos, estas emoções, não é absolutamente clara. Ainda percebe-se na forma de apresentação do trabalho uma preocupação excessivamente com o aspecto descritivo, em detrimento de um esclarecimento de base conceitual e epistemológica, necessária para o crescimento na área. Talvez aqueles autores não considerassem a necessidade de um detalhamento numa perspectiva mais quali-quantitativa, ou uma modulação mais rigorosa dos conceitos.

Entretanto, ao tratarmos da temática afetividade aplicada à área computacional e das tecnologias assistivas computacionais, exige-se que os conceitos sejam bem delimitados, parametrizados e relacionados com variáveis qualitativas ou quantitativas e, em muitos casos na pesquisa educacional, até utilizarem-se técnicas de psicometria.

Por isto, para compreendermos como tal assunto se relaciona com as interfaces cérebro-computador, e como as mesmas trabalham a questão da decodificação das emoções humanas em sinais elétricos, explicaremos um pouco o histórico sobre as teorias que fundamentaram o entendimento sobre a constituição neurocognitiva e sua associação com as emoções humanas. A partir disto poderemos compreender melhor como algumas interfaces são construídas em termos técnicos, já que estas arquiteturas dependem dos parâmetros e variáveis de referência.

Provavelmente os primeiros trabalhos considerados numa perspectiva mais científica em relação ao papel das emoções sejam atribuídos a James (1884) e Lange (1885) que ficou conhecido como 'Teoria da ação periférica', onde se assume que são os nervos periféricos responsáveis pela percepção dos estímulos. Tivemos depois o enfoque da 'ação central', onde é o sistema nervoso central que deriva as emoções periféricas, segundo, Cannon (1927) e Bard (1928).

Chegamos até mesmo a Charles Darwin (1872) que propõe uma interpretação das emoções humanas com base no comportamento animal e depois, mais recentemente, uma interpretação proposta por Willian James que nos remete a um conceito muito semelhante ao que atualmente é chamado de *biofeedback*. Neste, o ser humano modificaria suas ações em função da experiência que adquire com as emoções. É um ponto de vista mais aprimorado da Teoria da Ação periférica.

Até aquele momento, tais modelos possuíam um enfoque do ponto de vista da fisiologia funcional. No entanto, a partir dos estudos de James Papez a abordagem ganha uma conotação mais neurocitológica, com as 'geografias neurofuncionais' associadas a interpretações das regiões cerebrais e suas funções (tendo em Broca e Brodman os principais proponentes), propondo um

modelo de circuito neuronal. Entretanto, numa nova proposição devida a MacLean (1949), um modelo mais complexo a partir do qual a evolução funcional das emoções será constituída a partir do que se conhece como amígdala, formando três fases ou tipos de cérebros (reptiliano, o límbico e o cortical) (PELACHAUD, 2010, p.65-93).

E são estes estudos que procuram ligar o aspecto da emoção com a aprendizagem, da emoção com a consciência, entretanto, a dimensão e complexidade técnica deste assunto é muito grande, o que seria tema para vários trabalhos e publicações científicas somente para descrever o estado da arte na área.

Somente para nos situarmos sobre a importância que o tema possui, face a possíveis dúvidas, incertezas e descrédito de parte da própria comunidade científica quando o tema é a associação das emoções com o aspecto psicológico do indivíduo, e a possível transposição disto para a área da computação e, no nosso caso, a utilização de tal concepção com finalidades educacionais, citaremos apenas dois trabalhos importantes realizados no sentido de tentar formar protocolos para fundamentar a criação de banco de dados, conforme explicados a seguir.

O primeiro é devido a Batliner et al. (2006) que forma um protocolo utilizado por uma organização científica internacional que reúne pesquisadores na área, denominada '*Humaine emotion-research.net*⁴⁴', cuja construção do referido protocolo se deu a partir da pesquisa mencionada e outras realizadas internacionalmente (PELACHAUD, 2010), mas na qual os resultados se referiam a interfaces do tipo homem-homem. A base construída considerou as seguintes emoções: alegria, surpresa, ênfase, desamparo, sensibilidade, irritação, raiva, tédio, repreensão, 'fala do bebê' (fala do tipo utilizada pelo adulto para conversar com o bebê).

Dentro da perspectiva deste importante grupo internacional, o problema consistia em encontrar ou constituir uma espécie de parametrização quando o tema fosse os conceitos que normalmente os pesquisadores utilizam em suas

⁴⁴ Site da entidade [http:// http://emotion-research.net/association](http://http://emotion-research.net/association)

diversas pesquisas, direta ou indiretamente. Portanto, pretendia-se desenvolver e aprofundar bases para uma conceituação, a partir de conceitos e ideias básicas que pudessem ser comuns a comunidade científica. Isto poderia se constituir (como já ocorre atualmente) em uma espécie de '*thesaurus*' de terminologia ou de conceitos na área da computação afetiva.

No caso do *Humaine emotion-research.net*, as bases epistemológicas escolhidas para constituição deste protocolo foram assentadas nas seguintes concepções:

- Emoção em cognição incorporada;
- Emoção em cognição refletida e em ação;
- Estabelecendo a relação entre emoção incorporada e cognição refletida e ação;
- Emoção em cognição social e interação

A partir disto, destes polos epistemológicos e pragmáticos, constituiu-se diversos grupos de trabalhos científicos, sendo que cada um dos quais trabalha desenvolvendo suas metodologias e abordagens de acordo com o conceito mestre.

Por exemplo, no grupo que envolve 'Emoção em cognição incorporada', numa subtarefa envolvendo 'modulação emocional e percepção-ação incorporada', temos uma linha de pesquisa que trabalha exatamente com a mesma perspectiva que estamos abordando nesta tese, que se constitui de experimentos iniciais sobre modulação de **exterocepção** e **interocepção** (percepção externa ou interna ao próprio corpo), utilizando robôs LEGO. Trabalhos acadêmicos nesta temática relacionam Neurociência e Psicologia (exatamente como estamos fazendo nesta pesquisa, mas aqui acrescentando a área educacional).

Na temática 'Emoção em cognição refletida e em ação' temos, dentre os vários subtemas, um trabalho que aborda o conceito de 'dissonância cognitiva'. A este respeito, ver, por exemplo, os trabalhos de Carofiglio e de Rosis (2005), Carofiglio et al. (2006), e Ochs et al. (2005).

O conceito de dissonância cognitiva talvez seja um dos conceitos que mais se relacionou ao conceito de 'mudança conceitual', conceito este que marcou toda uma geração de pesquisadores na área da pesquisa em Ensino de Ciências desde os primórdios dos anos de 1980 até os dias atuais.

Este conceito de 'dissonância cognitiva' foi originalmente cunhado por Leon Festinger (FESTINGER, 1957), um psicólogo social norte-americano, que também teve sua formação acadêmica em Ciência. O fato é que o conceito de dissonância cognitiva (bem como a teoria do mesmo nome) esteve em uso durante determinado período na história da educação, mas depois praticamente desapareceu. Entretanto, curiosamente, com as recentes técnicas de imagiografia cerebral, aquele conceito tem sido retomado ou reinterpretado.

Contudo, vale a pena mencionar que vários autores na área da pesquisa em Ensino de Ciências utilizaram o conceito de dissonância cognitiva. Citemos, por exemplo, vários trabalhos publicados por Rea-Ramirez e Clement⁴⁵, que trabalharam com este conceito e o conceito de mudança conceitual. Na verdade, na época, o conceito e a teoria sobre mudança conceitual estava bastante 'em moda' no *metier* da pesquisa internacional em Educação Científica. Ocorre que muitas publicações tratavam deste conceito, bem como os conceitos piagetianos de 'equilibração' e 'desequilibração', e outros como 'conflito', 'concepção alternativa', relacionados ou até pretendendo significar a mesma coisa que dissonância cognitiva, sendo que, na verdade, são coisas diferentes. Não vamos aqui entrar no mérito nem nos detalhes desta discussão, pois os trabalhos de Rea-Ramirez e Clement (1998) são muito esclarecedores sobre isto.

Entretanto, o que esta discussão nos interessa é que ela abre exatamente um precedente em relação a tratarmos da questão neurocognitiva e sua relação direta com a aprendizagem conceitual, especialmente para o Ensino de Ciências, e a correlação com os aspectos afetivo-emocionais desta aprendizagem.

⁴⁵ No site pessoal de John J. Clement <http://people.umass.edu/~clement/index2.html> encontra-se uma série de trabalhos sobre o tema.

A “**computação afetiva**”, da qual Rosalind Picard (do *Massachusetts Institute of Technology*) é talvez a maior expoente, principalmente por causa de seu *best-seller* “*Affective Computing*” (PICARD, 1997), conduz a duas linhas de pesquisa paralelas. Uma é o estudo da emoção humana para aplicação na inteligência artificial, e a outra linha é exatamente o contrário, que seria uma espécie de categorização da emoção humana segundo os critérios da inteligência artificial.

Em linhas gerais, o trabalho de Picard, assim como de pesquisadores com abordagens similares, tem trazido contribuições para as áreas como a Educação, a partir da identificação de variáveis e parâmetros afetivos-emocionais e sua relação com os mecanismos de cognição e aprendizagem (KORT et al., 2001), inclusive considerando as diferenças emocionais e cognitivas em relação ao gênero (BURLESON; PICARD, 2007). Mais ainda, há uma forte linha investigativa que trabalha no desenvolvimento de sistemas tutoriais inteligentes baseados em conteúdos emocionais (D’MELLO et al., 2007; GRAESSER et al., 2005).

Por outro lado, na área clínica, tais estudos contribuem para facilitar e trabalhar a estimulação de pessoas com síndrome do espectro autista (SANO et al., 2012, PICARD, 2009).

Estas e outras abordagens estão direta ou indiretamente relacionadas com a ergonomia de maneira geral ou mais especificamente com a ergonomia cognitiva (anglo-saxônica ou francesa). Percebe-se que nesta área da computação afetiva, busca-se, além de explorar a influência dos conteúdos afetivos e emocionais e sua correlação direta ou indireta com a cognição, interfaces que identificam, reconhecem, proporcionam um *feedback* e ainda efetuam uma tomada de decisão a partir destes estados emocionais.

Em outras palavras, temos um meio inteligente que interage com o ser humano. Inclui-se aqui pesquisas em computação vestível, computação pervasiva, computação do ambiente, computação tátil, (*wearable computing, body-borne computing, ubiquitous computing, pervasive computing, ambiente intelligence, everywhere, physical computing, internet of things, haptic computing, things that think*).

Alguns destes conceitos serão tratados aqui quando formos estudar o tema interface cérebro-computador, o que será realizado na próxima seção.

Como síntese e conclusão desta discussão que fizemos sobre a presença da computação na educação é que, apesar de um relativo primitivismo e amadorismo em relação ao uso da Informática na Educação, não devemos e não podemos simplesmente nos render a isto e desconsiderar avanços notáveis que a área tem trazido, em todos os âmbitos sociais.

Ainda que, eventualmente, no contexto educacional de hoje (início do ano de 2013), alunos deficientes visuais da Rede Pública do Estado de São Paulo tenham (em tese) recebido um *notebook* para ser utilizado em sua aprendizagem, isto não significa necessariamente que recursos tão simples como um *software* leitor vocal de telas, como Jaws, Virtual Vision e até o DOSVOX, ou mesmo algum *software* de escaneamento do tipo OCR, sejam efetivamente empregados por tais alunos.

E, pior ainda, é imaginar que plataformas que se pretendam democráticas, como o brilhante projeto BROFFICE, comporte *softwares* como o editor de texto Writer, que não permite ser configurado com um *feedback* auditivo, o que ocorre, também, com a grande maioria dos web sites.

Entretanto, não podemos e não devemos nos render a este aparente paradoxo, já que, o mais importante de tudo, é fazer com que a pesquisa científica provenha meios, subsidie conhecimentos, estruture metodologias, analise sistemas tecnológicos e que, a partir disto, discuta, critique e proponha soluções, soluções estas que, nem sempre, estão ou estarão disponíveis exatamente de maneira sincrônica temporalmente dentro dos ambientes educacionais atuais.

4.3 – Interface cérebro-computador

4.3.1 – Conceitos e definições

Genericamente existe um conjunto de tecnologias chamadas ‘interface homem-máquina’ (*brain-machine interface*), que abrange desde dispositivos não computacionais até dispositivos computacionais. Entretanto, nem todos estes dispositivos podem ser considerados ‘assistivos’, conforme já definido e tratado anteriormente neste capítulo.

Para este trabalho utilizaremos sempre a nomenclatura ‘interface cérebro-computador’ (sigla ICC), ao invés de ‘interface homem-máquina’, embora em nosso caso temos não apenas um computador conectado a interface, mas também a unidade robótica, ou ainda simplesmente servomotores. A referência à palavra ‘cérebro’ obviamente pressupõe não apenas o órgão cérebro isoladamente, mas o corpo como um todo.

Contudo, para o caso do modelo da interface que utilizaremos, esta também faz a leitura miográfica, ou seja, da resposta elétrica muscular facial, e não apenas a aquisição da atividade elétrica cerebral através dos eletrodos no escalpo.

Uma ICC, resumidamente, consta de uma técnica que parte da leitura da atividade elétrica cerebral, através do eletroencefalograma (sigla EEG), onde a atividade cerebral é adquirida, registrada e armazenada graças aos potenciais de corrente elétrica distribuídos pela superfície do escalpo. Eletrodos são posicionados estrategicamente e são medidas as voltagens e correntes, filtradas e amplificadas, podendo ser emuladas e interpretadas através de um software (OCHOA, 2002). Por intermédio desta técnica, potenciais de ação elétrica são amplificados e decodificados por técnicas matemáticas e computacionais, convertendo-se em padrões de leitura sobre o funcionamento das respectivas áreas cerebrais associadas a realização de diferentes tarefas cognitivas.

Através da leitura e amplificação destes sinais elétricos, e utilizando uma interface eletrônica ligada a um computador, é possível acionar e controlar equipamentos eletro-eletrônicos, mecânicos e hidráulicos.

Na Figura 12 é mostrado um mapa conceitual de uma interface homem-máquina pode ser projetada para funcionar a partir da informação (fisiológica) cortical ou não-cortical e, em ambos os casos, a aquisição de dados pode utilizar técnicas invasivas ou não-invasivas.

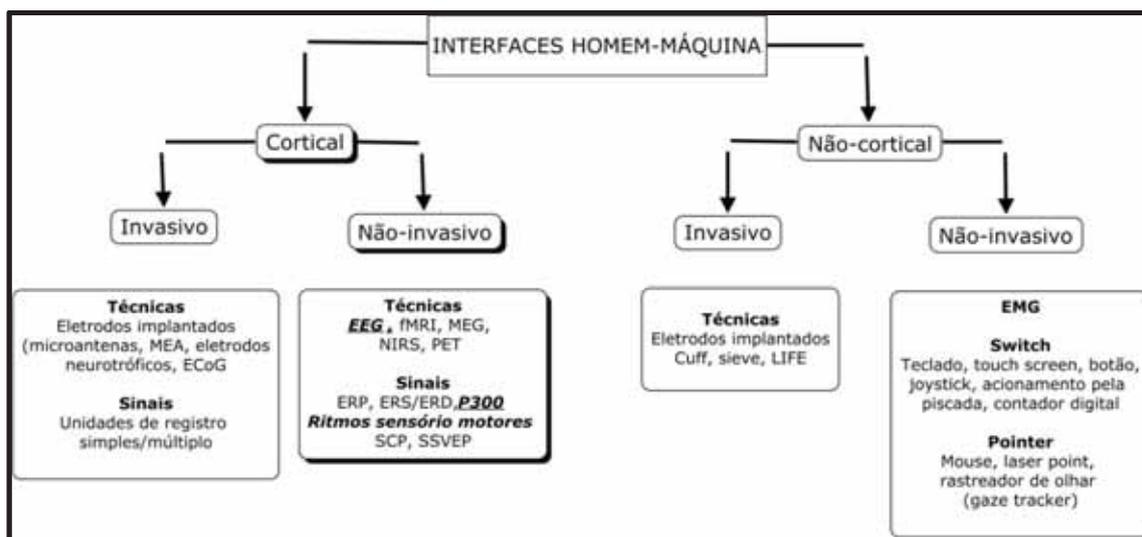


FIGURA 12 - Modelo de aquisição de dados por interface homem-máquina

[Início da descrição da Figura 12]

O mapa conceitual inicia-se na parte superior com o conceito principal de “Interfaces homem-máquina”. Deste conceito deriva-se dois outros conceitos.

Do lado esquerdo temos o conceito “Cortical”, que é subdividido em “Invasivo” e “Não-invasivo”, respectivamente. Em “Invasivo” temos como técnicas: eletrodos implantados, microantenas, MEA, eletrodos neurotróficos, ECoG, e como sinais: unidades de registro simples/múltiplo. Como sistemas “Não-invasivo” temos nas técnicas: EEG, fMRI, MEG, NIRS, PET. E como sinais: ERP, ERS/ERD, P300, ritmos sensório-motores, SCP, SSVEP.

No conceito do lado direito do mapa conceitual, derivado do conceito principal, temos o conceito “Não-cortical”, que também se subdivide em “Invasivo” e “Não-invasivo”. Na componente “Invasivo” temos como técnicas: eletrodos implantados, Cuff, Sieve, Life. Na componente “Não-invasivo” temos duas técnicas: a primeira é a EMG (teclado, touchscrean, botão, joystick, acionamento pela piscada, contador digital) e a segunda é a técnica chamada Pointer (mouse, laser point, rastreador de olhar ou gaze tracker).

[Fim da descrição da Figura 12]

Utilizando-se uma ICC é possível termos (até o presente momento da pesquisa internacional), pelo menos três tipos de interações, conforme mostrado na Figura 13 .

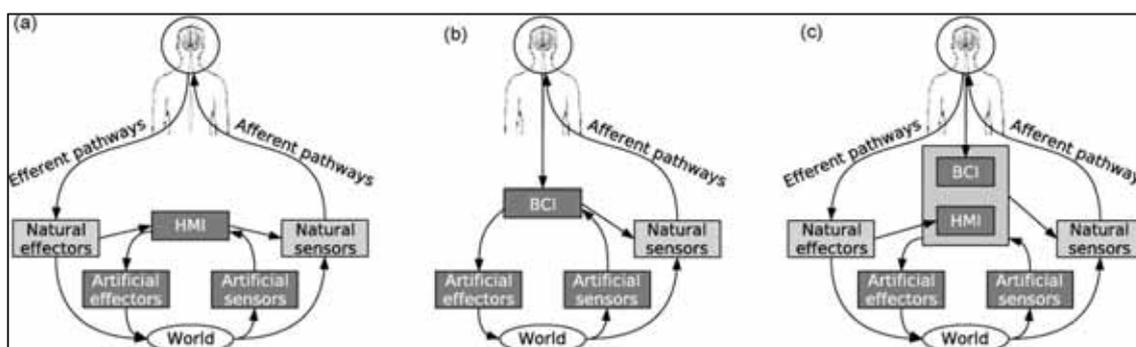


FIGURA 13 - Esquema de interação homem-máquina (a) interação natural; (b) interação homem-máquina; (c) interação aumentada (reproduzido de Tonet et al., 2008).

Através da Figura 13 vemos que um sinal elétrico pode ser sempre conectado ou por uma via aferente (parte do exterior para o homem) ou por uma via eferente (parte do homem para o exterior), através de sensores naturais, e isto interligado a uma interface homem-máquina (Figura 13a). Outra possibilidade é quando utilizamos uma interface cérebro-computador (BCI – *brain-computer interface*) e através da via aferente, ou seja, de um sinal que sai da máquina, passa pelo cérebro humano e retorna novamente para a máquina (Figura 13b). No terceiro e mais complexo caso é quando há um retorno em ambas as vias (aferente e eferente), possibilitando, assim, que a informação elétrica que sai do equipamento chegue até o cérebro, então é lida, depois retorna ao

equipamento (interface) onde é interpretada, e algum processamento é executado a partir do processamento que foi decodificado pelo cérebro humano e que foi amplificado pelo equipamento (Figura 13 c).

A pesquisa e aplicação da tecnologia de ICC para deficientes visuais está em estágio relativamente embrionário quando comparando sua aplicação em outras áreas, destacando mais seu uso quando associado a dispositivos tecnológicos táteis (LÉCUYER, 2009). Porém, em outras aplicações, tal tecnologia tem se mostrado muito promissora, como por exemplo, (WOLPAW et al., 2000):

- a) Aplicações de bioengenharia: dispositivos de auxílio direto para pessoas deficientes, principalmente na deficiência física para controlar cadeira de rodas, membros biônicos (hemiplegia e quadriplegia) ou deficiências múltiplas;
- b) Métodos em tempo real para monitorar, analisar e correlacionar comportamentos e estados mentais observáveis através do registro de sinais neurais, com objetivos que podem variar desde a expressão e manifestação até o controle de estados cognitivos e emocionais (*biofeedback* e *neurofeedback*, respectivamente);
- c) Monitoramento humano: para se estudar desordens do sono, enfermidades neurológicas, atenção;
- d) Interação homem-máquina: dispositivos de interface entre homens e computadores para controle de mecanismos eletromecânicos e eletro-hidráulicos (motores, máquinas, ferramentas, etc.) (LEBEDEV; NICOLELIS, 2006);
- e) Treinamento cognitivo educacional: controle de games, aperfeiçoamento, treinamento ou aquisição de habilidades através de ambientes virtuais (simuladores);
- f) Entretenimento: controle de games.

Curiosamente, atualmente, as aplicações educacionais, médicas e psicológicas não são as áreas de maior uso das ICCs, e sim a área do entretenimento, como jogos eletrônicos para crianças e adolescentes. Um dos motivos é que

esta técnica é completamente inócua e não invasiva, possui relativa facilidade de treinamento para seu uso, e ainda pode ser adquirida a um custo razoavelmente baixo.

4.3.2 – Paradigmas neurocognitivos necessários para a arquitetura de uma interface cérebro-computador

Embora tenhamos explicado que uma ICC basicamente registra a atividade elétrica cerebral através de eletrodos que são estrategicamente posicionados nas respectivas regiões cerebrais, a coisa não é absolutamente tão trivial assim. De fato, existe por detrás do desenvolvimento científico e tecnológico desta técnica uma complexidade muito grande envolvendo a questão de um paradigma da neurociência cognitiva (antiga), devido a uma herança fisiologista de se fragmentar a compreensão do cérebro dividindo-o em áreas e associando a estas áreas funções específicas e únicas. Assim, segundo esta interpretação, a área de Broca envolve o processamento da linguagem, a articulação e compreensão da fala. Já a área de Wernicke se relaciona com o conhecimento, interpretação e associação de informações.

E finalmente o modelo proposto por Brodmann é o mais utilizado e aceito até os dias atuais, divide o cérebro em 52 regiões (NICOLELIS, 2011).

O grande problema de se construir uma ICC baseada neste paradigma dos 'feudos cerebrais' (uma expressão cunhada por Miguel Nicolelis em entrevista a Folha de São Paulo) é que para realizar a leitura dos neurônios é necessário que sejam utilizados eletrodos (extra ou intra cranianos, respectivamente). Nesta condição, a pergunta essencial é: *quantos neurônios são necessários para que tenhamos uma melhor aproximação de que este conjunto de neurônios trará as informações precisas sobre aquela determinada função cerebral, e de que região deverão ser tomados tais neurônios?*

A segunda questão envolve o paradigma dos feudos cerebrais, e chega até ser mais complexa do que a resposta para a primeira. O problema parece simples se desconhecêssemos o fato de que o cérebro possui cerca de 86 milhões de neurônios (HERCULANO-HOUZEL, 2009).

Para se ter uma ideia da complexidade e da dimensão disto, o projeto internacional “**BlueBrain Project**” objetiva simular uma coluna neocortical de ratos com 10.000 neurônios, ou seja, aproximadamente 100 vezes menor do que a quantidade de neurônios humanos.

Ocorre que se fossemos esperar a evolução da computação em termos de hardware para ser capaz de ler esta quantidade tão grande de neurônios, talvez levasse muito tempo até que conseguíssemos ter esta leitura completa.

A solução que Miguel Nicolelis e equipe encontraram foi alterar o paradigma de Brodmann da subdivisão do cérebro em partes. Ao invés disto, fizeram as seguintes considerações:

- O cérebro trabalha estatisticamente: ou seja, para se ter uma leitura do funcionamento dos neurônios é necessário proceder a leitura de um conjunto estatisticamente (matematicamente) mínimo para ter a fiabilidade e acurácia da informação neuronal que represente uma população de neurônios, ao invés de um único neurônio isolado;
- Ter um modelo matemático e computacional adequado: foi necessário desenvolver algoritmos específicos para este tipo de leitura e interpretação dos dados elétricos. No caso de técnicas consideradas não-invasivas, ou seja, sem a utilização de eletrodos intra-cranianos, emprega-se a técnica chamada P-300 de potenciais evocados (sinais elétricos são gerados dentro de determinados algoritmos);
- Para a leitura mais precisa de populações neuronais compreendendo habilidades cognitivas associadas a tarefas motoras finas (como movimento dos dedos das mãos e outros), Nicolelis desenvolveu uma nova tecnologia de eletrodos intracranianos, utilizados a partir da década de 1990, possibilitando hoje em dia o desenvolvimento de próteses robóticas controladas por uma interface homem-máquina (O'DOHERTY et al., 2011).

Outras técnicas, procedimentos, paradigmas e metodologias não serão aqui mencionados devido a complexidade do tema. Pelo momento, tais considerações já são suficientes para desenvolvermos nossas considerações.

4.3.3 - Características da interface Emotiv Eloc

Para esta pesquisa, optamos utilizar a interface cérebro-computador da marca Emotiv Eloc (Figuras de 1 a 5), na versão “**Research**” (MIGUEL, 2010).

O equipamento foi desenvolvido por uma equipe científica multidisciplinar internacional, dentre os quais constam nomes como os de Allan Snyder (Diretor do ‘Center for the Mind’, da Universidade de Sydney, *fellow* da Royal Society of London, ganhador do Prêmio Internacional Marconi) e Neil Weste, renomado inventor na área de computação (desenvolveu projetos no Bells Labs, Cisco Systems, além de prestigiadas universidades, como a Duke University, University of South Australia, University of Adelaide e outras, além de ter sido um dos autores mais célebres sobre o sistema CMOS). Colaboraram ainda com a pesquisa o CNRS \Centre National de la Recherche Scientifique”, o Institut de Recherche en Communications et Cybernetique de Nantes” (IRCCyN), ambos franceses, além da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo.

Este equipamento possui as seguintes características operacionais:

- Trabalha com a técnica não invasiva (NICOLELIS, 2002, 2003; NICOLELIS; CHAPIN, 2002), sendo que o contato elétrico dos eletrodos com o escalpo é facilmente e confortavelmente realizado através de um *headset*, com comunicação com o *software* via tecnologia *wireless* (Figura 14);
- Utiliza o eletroencefalógrafo como interface: o baixo custo do equipamento, a facilidade de uso e vasto conhecimento protocolar sobre tal técnica. O uso do EEG, neste caso, é mais recomendável

(COVOLAN et al., 2004). Opera com potenciais elétricos evocados P300, que determina a distribuição espacial dos eletrodos no escalpo humano em pontos de otimização dos potenciais elétricos respectivos às regiões estudadas.

- Computação afetiva: Na Figura 16 vemos a operação pelo modo *'Expressive Suite'*, que possibilita o controle através de expressões faciais (movimento dos olhos, sobrancelha e boca, tornando-o assim um equipamento de eletromiografia). Observando a Figura 17, vemos o mapa do EEG no Painel de Controle, pelo modo *'Affective Suite'*, indicando estados afetivos e cognitivos durante determinada tarefa cognitiva. A utilização deste recurso da interface Emotiv Epoc foi abordada de maneira qualitativa, intuitiva e artística através do trabalho pioneiro de Tania Fraga, intitulado **Caracolomobile** (FRAGA, 2012, 2010), onde o controle de um caracol acionado por um dispositivo mecatrônico (atuadores hidráulico-mecânicos) é efetuado por um usuário treinado com a interface Emotiv Epoc⁴⁶. Este uso da interface não foi considerado até o momento dentro desta pesquisa. Pichiliani, Hirata e Fraga (2012) desenvolveram uma aplicação utilizando a "Affective Suite" da interface Emotiv Epoc para avaliar as emoções dos usuários. Uma aplicação semelhante, que envolve o aspecto da emoção, foi desenvolvida por Campbell e colaboradores (2010), integrando-se a interface Emotiv Epoc com um telefone celular. Neste caso, diversas aplicações poderiam ser adaptadas para pessoas com deficiência, inclusive a visual como, por exemplo, a leitura de estados emocionais e a conseqüente execução do acionamento de um equipamento externo. Para explorar esta mesma "Affective Suite", também contamos com a colaboração neste trabalho de Renato Peterman (2010), que nos ofereceu toda orientação (inclusive os códigos fonte em linguagem JAVA) para que pudéssemos efetuar o controle da interface Emotiv Epoc utilizando as expressões faciais.

⁴⁶ Os resultados específicos sobre os dados neurocognitivos adquiridos durante este trabalho não foram ainda publicados, e constou da aquisição realizada com 10 pessoas para o treinamento de uso da interface Emotiv Epoc com o objetivo de controlar o dispositivo Caracolomobile. A este respeito, consultar <http://taniafraga.wordpress.com/>, <http://taniafraga.art.br/2011/09/19/caracolomobile/>

Entretanto, por questões de natureza técnica preferimos não fazer uso deste recurso por este momento.

- Interface gráfica amigável para treinamento cognitivo dos movimentos espaciais: permite o treinamento de movimentos espaciais (para cima, para baixo, direita, esquerda, rotações e desaparecer imagem). Estes respectivos movimentos podem ser associados com movimentos de dispositivos elétricos-eletrônicos conectados a ICC. Na Figura 18 vemos o Painel de Controle neste modo de operação (chamado de ‘Cognitive Suite’);
- Operação no modo *neurofeedback*: oferece um mapeamento das respectivas frequências cerebrais Alpha, Beta, Gama e Theta, possibilitando um monitoramento e consequente ação sobre o controle dos estados mentais, cognitivos e emocionais correlacionados (Figuras 16, 17 e 18);
- Opera no modo de realidade virtual: o *software* permite a interação e manipulação direta por intermédio da atividade elétrica cerebral com imagens (mentais e ou visuais) num cenário de realidade virtual. Diferentemente de outros dispositivos, a ICC foi projetada considerando fortemente a aplicação em realidade virtual, principalmente para a área lúdica (conforme dissemos anteriormente). Na Figura 20 vemos uma aplicação em realidade virtual, onde o usuário controla os movimentos de uma pessoa por um cenário, e ainda movimenta ou faz desaparecer uma rocha;
- A interface é amigável com outros dispositivos computacionais, principalmente via conexões *wireless* e *bluetooth*, permitindo no nosso caso que os comandos da ICC sejam diretamente executados no console do *software*, e transmitidos para a unidade de processamento central do robô LEGO Mindstorms. Nas Figuras 21 e 22, vemos a utilização desta ICC no controle de uma cadeira de rodas e de um automóvel, respectivamente.



FIGURA 14 - Headset da Interface cérebro-computador Emotiv Epoc®

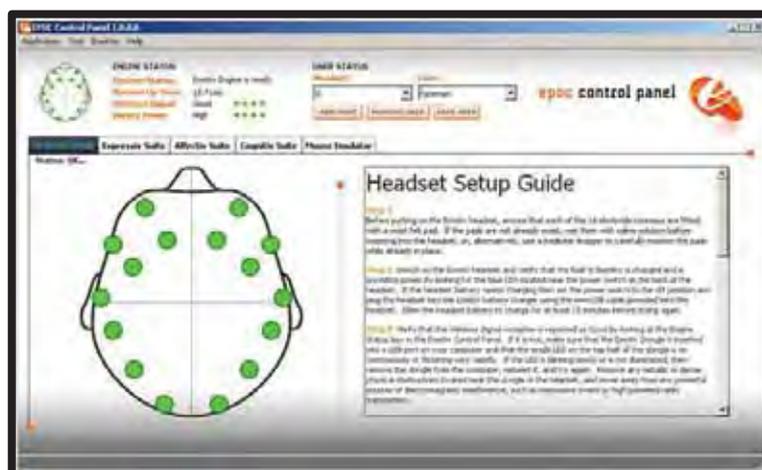


FIGURA 15 - Software mostrando o Painel de Controle da ICC – e respectivos sensores

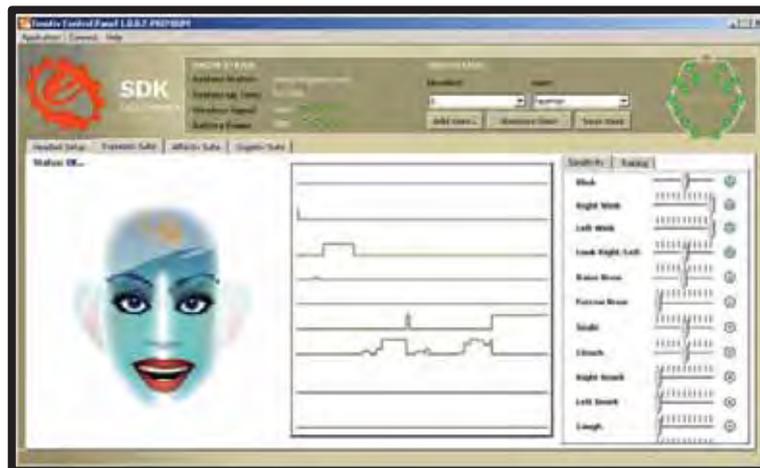


FIGURA 16 - Painel de Controle indicando o modo 'Expressive Suite' (expressões faciais)



FIGURA 17 - Painel de Controle indicado o modo 'Affective Suite' (estados afetivos e emocionais)



FIGURA 18 - Painel de Controle indicando o modo 'Cognitive Suite' (controle de movimentos espaciais)

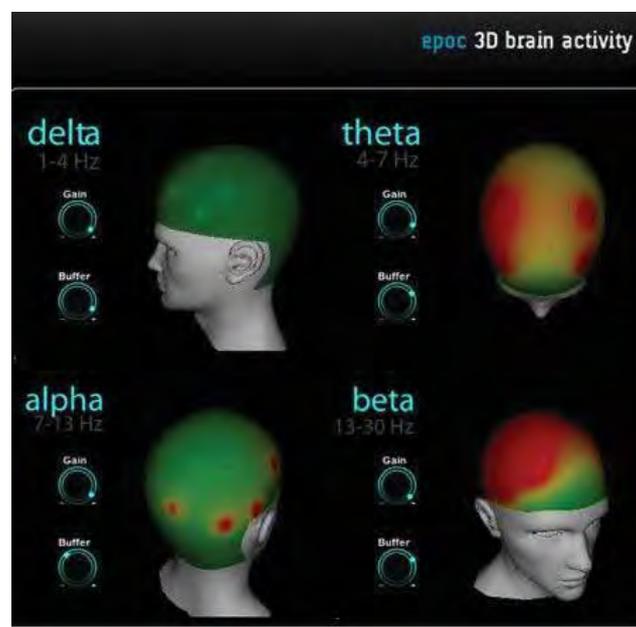


FIGURA 19 - Monitoramento da atividade da frequência cerebral (ondas alpha, beta, delta e theta, respectivamente).



FIGURA 20 - Usuário controlando uma rocha num cenário virtual de um game.



FIGURA 21 - Controle dos movimentos de uma cadeira de rodas através da ICC Emotiv Eporc.



FIGURA 22 - Controle dos movimentos de um automóvel através da ICC Emotiv Epos

Neste equipamento, através de um planejamento de treino é possível fazer com que o indivíduo execute diversos tipos de movimentos (no modo 'Cognitive Suite', conforme Figura 18: lados direito e esquerdo, para cima, para baixo, rotações no sentido horário e anti-horário, para direita ou para esquerda e ainda um comando para fazer desaparecer o objeto) de um cubo virtual do *software*.

Este treinamento é individualizado, o equipamento reconhece o padrão particular de cada pessoa e, assim, o *software* registra as respectivas atividades elétricas na forma de uma 'assinatura elétrica'. Posteriormente, estas 'assinaturas elétricas' (ou comandos virtuais que foram previamente treinados) podem ser associados a equipamentos conectados externamente, através de algum dispositivo eletro-eletrônico, como a unidade robótica Lego Mindstorms NXT 2.0, que mostraremos na sequência.

Na verdade, qualquer dispositivo ou equipamento elétrico-eletrônico pode ser acionado e controlado por uma ICC, como a utilizada nesta pesquisa (como as aplicações mostradas nas Figuras 21 e 22).

Outra aplicação é efetuar o controle do *mouse* do computador, apenas através da ICC, possibilitando por exemplo o processo da escrita, mediante um *ecrã* onde as letras são dispostas.

Nestas condições, na medida em que a ICC esteja devidamente acoplada e funcionalmente operante, podemos dizer que estamos diante de uma tecnologia assistiva.

4.3.4 - Viabilidade e fiabilidade técnica da interface Emotiv Epoc

Quando optamos pelo uso da interface Emotiv Epoc, além obviamente do fator custo do equipamento, o que mais pesou na decisão foi conhecer os parâmetros de operação do equipamento em termos de uma confiabilidade e fiabilidade para a aquisição dos dados neurocognitivos, já que a função de controle de dispositivos externos pela interface não era o ponto tão problemático.

Estudos bem recentes como o de Duvinage, Castermans e Dutoit (2012), compara o Emotiv Epoc com um equipamento profissional de aquisição de dados neurocognitivos, mostraram claramente que a ICC Emotiv Epoc é um equipamento tecnicamente confiável, principalmente no que diz respeito ao grau de acurácia (sensibilidade nas medidas). A síntese desta pesquisa encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Comparativo das interfaces cérebro-computador “ANT” e “Emotiv Epoc”.

Parâmetro	ANT – Advanced Neuro Technology, Enschede, The Netherlands)	Emotiv Epoc
Técnica de aquisição de sinais	P300	P300
Eletrodos	128 eletrodos de <i>Ag/AgCl</i>	14 eletrodos de <i>Au</i>
Taxa de amostragem	2048 Hz	128 Hz
Controle de ruídos	Sim	Não
Ajuste dos eletrodos no escalpo	Três níveis de ajuste, personalizado de acordo com o usuário	Os eletrodos são fixos por barras que se ajustam ao escalpo, mas que não permite ajuste fino e personalizado
Impedância	20 k Ω por cada canal durante toda a utilização com o gel condutor	A impedância vai diminuindo conforme o uso

Um dos estudos mais recentes e rigorosos de avaliação da acurácia da interface Emotiv Epoc foi realizado por Lievesley, Wosencroft e Ewins (2011) para o controle de dispositivos computacionais na forma de uma tecnologia assistiva (*assistive technology devices*), mostrou uma alta confiabilidade neste equipamento:

- a. É um equipamento com acurácia confiável para aquisição dos sinais do EEG, dos ritmos cerebrais e miográficos;
- b. Entretanto, em relação ao uso para reabilitação motora e controle de prótese (por exemplo, controle de uma mão robótica) o equipamento mostra uma relação sinal/ruído mais crítica quando comparado a um equipamento profissional.

Portanto, para os propósitos desta pesquisa, a ICC mostra completa confiabilidade técnica em relação aos parâmetros técnicos de medida dos sinais elétricos cerebrais, que são mensuráveis através do Eletroencefalograma e dos ritmos cerebrais, quando comparado à equipamentos profissionais.

Entretanto, em relação ao item *b)* da pesquisa de Lievesley, Wosencroft e Ewins (2011), encontramos problema semelhante nesta pesquisa, mas com relação ao acionamento contínuo do robô LEGO MINDSTORMS NXT 2.0, quando dois movimentos sequenciais são executados, por exemplo, quando pretendia-se acionar o movimento para o lado direito e, imediatamente, para o lado esquerdo, ou para frente, ou para trás. Estes resultados serão analisados e comentados na análise dos dados.

4.3.5 - Demandas técnicas exigidas por uma interface cérebro-computador

A utilização de uma interface cérebro-computador (ICC) para as diversas finalidades exige que uma série de parâmetros e variáveis sejam perfeitamente

sincronizadas, de modo a que o resultado final seja satisfatório para os objetivos definidos.

Assim sendo, do conjunto das referências bibliográficas consultadas, construímos uma síntese (Quadro 8) que sintetiza os tipos de demandas técnicas necessárias de acordo com o tipo da exigência em relação a uma provável deficiência. Contudo, nos concentraremos na deficiência visual.

Quadro 8 – Relação entre o tipo de deficiência e necessidades operacionais de uma interface cérebro-computador.

Tipo de deficiência	Tipo de situação	Exigência/necessidade
Deficiência física	Prótese – mão biônica	Controle fino sobre os movimentos dos dedos
	Prótese – perna biônica	Controle fino sobre os movimentos da perna
	Cadeira de rodas	Controle da velocidade, controle de frenagem
	Manuseio do mouse do computador (por exemplo, para um editor de texto, planilha ou internet)	Movimentação da seta do mouse Acionamento do click *Observação: para esta aplicação já existe um software chamado Autoclicker
Deficiência visual	Deficiência visual – controle de dispositivos eletro-eletrônicos, robóticos, mecânicos, hidráulicos, etc.	Treinamento neurocognitivo/motor Controle fino Resposta rápida do software da interface Emotiv Epoc e consequente resposta para o dispositivo externo Feedback háptico e ou sonoro
	Controle do mouse para navegação em softwares (editor de texto, planilha eletrônica, etc.) e internet.	Feedback háptico e ou sonoro
	Estimulação do córtex visual primário para emulação/decodificação de um sinal elétrico em uma imagem visual; Interpretação do sinal elétrico do córtex visual primário em imagem visual	Precisão no registro dos sinais e no feedback, necessidade de interfaces computacionais sofisticadas (por exemplo, por dispositivos do tipo ressonância funcional magnética/fMRI)

Da mesma maneira, o conhecimento sobre estas demandas definirão as condições para estipulação de escolhas de parâmetros e variáveis para se trabalhar com os aspectos ergonômicos diretamente relacionados com o funcionamento e operação da interface cérebro-computador em ambientes educacionais. Algumas destas demandas e, principalmente suas configurações, estão descritas no Protocolo Ecolig (MIGUEL, 2010).

4.4– Ergonomia e Ergonomia cognitiva

4.4.1 – Conceitos básicos e escolas ergonômicas

O propósito de tratar da temática ergonomia e ergonomia cognitiva terá seu lugar de ser exatamente pelo fato de que compreendemos que qualquer equipamento, sistema tecnológico, interfaces, etc. que componham um ambiente de aprendizagem, devem, necessariamente, estar e ser arbitrado e configurado dentro de parâmetros ergonômicos.

Segundo a “*International Ergonomics Association*”, ergonomia é:

Ergonomia (ou Fatores Humanos) é a disciplina científica que trata da compreensão das interações entre os seres humanos e outros elementos de um sistema, e a profissão que aplica teorias, princípios, dados e métodos, a projetos que visam otimizar o bem-estar humano e a performance global dos sistemas (IEA, 2012).

A ergonomia é dividida em ergonomia física, cognitiva e organizacional, embora estas três muitas vezes mesclam-se entre si.

Para os propósitos deste trabalho, focalizaremos as considerações em relação a **ergonomia cognitiva**, que é assim definida pela mesma associação:

Ergonomia Cognitiva - no que concerne aos processos mentais, tais como percepção, memória, raciocínio, e resposta motora, conforme afetam interações entre seres humanos e outros

elementos de um sistema. Os tópicos relevantes incluem carga mental de trabalho, tomada de decisão, performance especializada, interação homem-computador, stress e treinamento conforme estes se relacionam aos projetos envolvendo seres humanos e sistemas (IEA, 2012).

Em nível internacional existem duas grandes escolas de ergonomia. A primeira é a chamada escola anglo saxônica (que inclui também a escola norte-americana), e a segunda é a escola francesa, e há que se fazer uma distinção e conseqüentemente uma escolha sob qual destas duas grandes escolas filosóficas iremos desenvolver nossas ideias.

A escola anglo saxônica possui características mais pragmáticas em relação a concepção dos dispositivos técnicos. Para isto, utiliza-se de diferentes ciências (anatomia, fisiologia e psicologia, principalmente) para apoiar a fundamentação técnica para o desenvolvimento de equipamentos onde a tônica dominante é o *design* (PREECE, 2005; MONTMOLLIN, 1986). Portanto, seu objetivo essencial é a adaptação dos dispositivos técnicos às características e limites do Homem.

Num outro polo aparentemente oposto (mas que na verdade é considerado como complementar para alguns autores), a ergonomia francesa, também chamada de '***ergonomia da atividade***', apesar de ser quantitativamente menos numerosa em termos de sua visibilidade internacional (inclusive nas próprias publicações e eventos científicos), se notabiliza não apenas na França, mas também na Bélgica onde é predominante.

Trabalha com a noção de que a ergonomia deve valorizar os processos, as atividades, suas características e limites, dentro daquilo que se chama o '***terroir***' (MONTMOLLIN, 1986). A palavra francesa '*terroir*' normalmente é utilizada para designar as qualidades da terra, incluindo também as características climáticas, que se incorporam à uva e, conseqüentemente, constituiriam os parâmetros do vinho, como o sabor, cor, textura, acidez, etc. Aqui, portanto, '*terroir*' é utilizado de maneira metafórica, como sendo as características próprias e intrínsecas de tudo aquilo que está relacionado com a ergonomia.

Analisando-se trabalhos como os apresentados em Leplat e colaboradores (1993) em '*L'analyse du travail en psychologie ergonomique*', constata-se que a despeito da preocupação em relação ao aspecto tecnicista voltado apenas ao estudo sobre o melhoramento da adequação das máquinas, instrumentos e equipamentos tecnológicos para o uso humano adotado pela escola anglo-saxônica, vemos na linha francesa um enfoque totalmente dirigido na direção de se compreender detalhadamente a posição do ser humano *em situação*, dentro das atividades de trabalho sob o ponto de vista de suas condições de conforto, segurança, esforço e *stress* mental e físico, carga cognitiva, estruturação da aprendizagem, controle dos processos, bem como os aspectos ergonômicos relacionados com atividades de trabalho coletivo e de comunicação (LEPLAT et al., 1993).

No que se refere diretamente a área educacional, pesquisadores como Jacques Leplat (considerado como o principal expoente na área da ergonomia cognitiva francesa) está diretamente ligado às concepções sistêmicas, antropológicas e cognitivas representados respectivamente por Guy Brousseau (que cunhou os conceitos de '*situação didática*' e '*contrato didático*'), Yves Chevallard (que desenvolveu o conceito de '*transposição didática*') e Gérard Vergnaud (autor da Teoria dos Campos Conceituais e que trabalha com a didática da matemática, e que criou conceitos como '*conceitualização, invariantes operatórios – conceitos e teoremas-em-ação*')⁴⁷. Estes três pesquisadores, Brousseau, Chevallard e Vergnaud são considerados atualmente os três pilares da Didática das Ciências na França.

Por outro lado, mas numa mesma direção, na chamada 'Didática Profissional', cujo nome central é o de Pierre Pastré (PASTRÉ et al., 2006). Tal concepção utiliza-se ao mesmo tempo da Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud para construir uma interpretação sobre o processo de conceitualização nas situações humanas relacionadas ao trabalho (inclusive o próprio trabalho docente) e aplicar isto para a ergonomia cognitiva.

⁴⁷ Convém mencionar que a Teoria dos Campos Conceituais tem se estendido nos domínios da Didática da Química, da Física e das Artes.

Outros pesquisadores e grupos francófonos mereceriam ser abordados aqui, entretanto, por uma questão de espaço e objetivos mencionaremos apenas aqueles que consideramos essenciais para os propósitos deste trabalho.

Neste sentido, citemos, por exemplo, o trabalho desenvolvido pelo grupo ligado ao “*CÉDRIC – Centre d’Étude et de Recherche en Informatique et Communications*”, que trabalha com Computação, Matemática Aplicada e Eletrônica, voltados também para a área da ergonomia cognitiva. Neste grupo citamos, por exemplo, o pesquisador Jérôme Dupire, que trabalha com computação afetiva aplicada a ergonomia para deficientes, tecnologias assistivas, interface homem-máquina, realidade virtual e temas correlatos (DUPIRE et al., 2012).

Destacamos do trabalho deste pesquisador e de outros do mesmo grupo ligado ao pesquisador, a concepção de ajudas técnicas (tecnologias assistivas) e a interface homem-máquina, uma forte utilização da chamada computação afetiva, conceito este que já explicado neste trabalho, e que é hoje talvez um dos grandes novos paradigmas que terá um reflexo muito significativo para a área das tecnologias assistivas.

4.4.2 – A ergonomia no contexto da pesquisa educacional brasileira

Como dissemos antes, seria uma atitude no mínimo amadora pensar que a proposta, ideia ou intenção, e mais ainda, o projeto de uso de uma tecnologia assistiva não devesse se estruturar dentro de bases ergonômicas cognitivas, ainda que, de início, isto pudesse fugir ou se deslocar do foco da pesquisa educacional.

Muito pelo contrário, como vimos anteriormente, as tecnologias assistivas, quaisquer que sejam estas, necessitam de um conhecimento bastante profundo e especializado sobre o tipo de deficiência a qual estará vinculado tal projeto. Neste sentido, como vimos, a ergonomia cognitiva terá a resposta necessária.

Porém, antes de continuarmos é necessária uma reflexão. A maioria das pesquisas em educação que possuem um caráter aplicado tendo como produto final algum tipo de equipamento ou tecnologia que possa ser utilizado imediatamente pelo aluno, geralmente não se aprofunda nas questões relacionadas aos aspectos da ergonomia dos ambientes de aprendizagem (tanto a ergonomia convencional quanto a ergonomia cognitiva). Isto ocorre provavelmente por desconhecem esta área, ou talvez porque tais pesquisadores considerem que a incursão nesta área pudesse ser considerada um viés um tanto quanto ousado demais para ser realizado. Ou ainda porque também tais pesquisadores possam achar que adentrar-se no campo da ergonomia é se desviar da área da educação, já que a maioria dos programas de pós-graduação no Brasil não possuem áreas, subáreas ou linhas de pesquisa relacionando a ergonomia com a educação e aspectos cognitivos.

Uma busca no diretório do CNPq, com as palavras-chave 'ergonomia educação', retorna um total de 45 grupos.

Entretanto, se a busca é realizada apenas com a palavra-chave 'ergonomia', são retornados 243 grupos.

Neste breve levantamento desconsideramos os grupos pertencentes às engenharias (Transportes, Produção, Elétrica, Mecânica, Ciência da Computação, Recursos Florestais e Engenharia Florestal, Agronomia), Desenho Industrial, Design, Arquitetura e Urbanismo, Artes, Enfermagem, Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Saúde Coletiva, Odontologia, Administração, Fisiologia, Geografia, História, Economia Doméstica, pela razão de que o enfoque nestes grupos era simplesmente a ergonomia ou design não direcionados para a aplicação da ergonomia do ponto de vista cognitivo.

Mas tanto no primeiro quanto no segundo grupos, não existe diretamente o enfoque sobre o aspecto da educação, ergonomia e cognição.

Analisando o texto fornecido pelo portal, chama a atenção que vários grupos cuja temática ergonomia está presente pertencerem a Educação Física, alguns destes trabalhando com deficientes físicos, reabilitação, adaptações para a prática esportiva.

Um grupo bastante particular é o 'Biomecânica Ocupacional', vinculado ao Instituto de Física da Universidade de São Paulo, que realiza pesquisa em relação à biomecânica de trabalhadores do setor de cana-de-açúcar.

De uma maneira muito *sui generis*, analisando e considerando a questão ergonômica em relação ao docente, e não ao aluno, dentro do Grupo Saber e Prática Social do Educador, destaca-se a linha de pesquisa 'Ergonomia do trabalho docente: e saber docente contextualizado', desenvolvida pelo pesquisador Jaques Therrien, pesquisador sênior do CNPq, que trabalha precisamente com a ergonomia do trabalho docente sob o enfoque cognitivo, também denominado de '**ergonomia situada**', que é um conceito sinônimo de '**ergonomia cognitiva**'. Compreende-se assim que a perspectiva da ergonomia cognitiva vai permitir que

A análise e compreensão do curso da ação do professor em situação, ou seja, no trabalho, tem igualmente na abordagem da ergonomia outro olhar investigativo propício a descoberta dos elementos epistemológicos presentes 'hic et nunc' na prática pedagógica situada. Os estudos sobre a ação/cognição situada vêm proporcionando importantes ferramentas de observação, análise e compreensão do trabalho pedagógico enquanto fenômeno ao qual se agregam dimensões centrais dos processos de educação, sejam curriculares, didáticas, organizacionais, administrativas, materiais, políticas, entre outras, que afetam as relações de ensino/aprendizagem. (TERRIEN e CARVALHO, 2009, p.145).

Esta perspectiva sobre a qual este e outros pesquisadores na área da ergonomia cognitiva trabalham, irá se aproximar da análise etnográfica e da etnometodologia, relevando e posicionando, portanto, no enfoque ergonômico o aspecto humano comparativamente ao aspecto das técnicas, tecnologias, instrumentos e ferramentas.

Esta concepção de ergonomia aplicada ao trabalho docente não deverá diferir da concepção que estamos desenvolvendo nesta tese, já que

O trabalho docente é concebido como prática situada, contextualizada e fruto da multiplicidade de saberes oriundos da formação, das disciplinas, do currículo, da experiência, da prática social (...)o saber docente está sempre ligado a uma situação de trabalho com os outros (alunos, colegas, pais),

ancorado numa tarefa complexa (ensinar), situado num espaço de trabalho (a sala de aula) e enraizado numa instituição e numa sociedade. O saber do professor se estabelece, então, na dinâmica entre o que ele é, sua personalidade e experiência e o que ele faz, considerando as condições concretas em que realiza seu trabalho (PEREZ e MAIA, 2011, p.3461).

Não é difícil transpor e aplicar estas mesmas condições para o alunado, ainda mais quando pensamos que neste corpo de alunado estão presentes alunos com necessidades educacionais especiais que, portanto, mereceriam um tratamento diferenciado em termos das condições de igualdade em relação aos alunos considerados normais.

Neste sentido, Bormio e Silva (2011) desenvolvem um trabalho em ergonomia aplicada ao contexto educacional, partindo da premissa que uma adequada distribuição e funcionalidade do ambiente é também fator determinante para o ensino-aprendizagem:

(...) todo ambiente exerce influências sobre o indivíduo que o ocupa, sendo tal fato ressaltado ao se falar em ambiente escolar, pois considera-se que os primeiros anos de vida de uma pessoa são decisivos, sendo nesse período que ocorre um processo intenso do desenvolvimento natural da criança (maturação e crescimento) em seus aspectos físicos, afetivos, cognitivos e sociais... Entre os diversos espaços que compõem o ambiente escolar, a sala de aula apresenta um papel de destaque, pois é onde o aluno permanece a maior parte do tempo em que se encontra nessa instituição, por essa configurar-se como seu posto de trabalho. (BORMIO e SILVA, 2011, p. 67-68).

Posteriormente, ainda neste capítulo, retomaremos este ponto apresentando os parâmetros (e variáveis) que serão considerados para a construção da análise ergonômica que realizaremos e que surgirá na constituição dos dados da pesquisa.

4.4.3 - Modelos em ergonomia cognitiva aplicados a interfaces homem-máquina

Agora que já falamos sobre computação, computação na educação, computação afetiva, tecnologias assistivas, tecnologias assistivas computacionais, interface cérebro-computador e, finalmente, ergonomia e ergonomia cognitiva, convém aprofundar um pouco sobre interface homem-máquina, desde um ponto de vista da ergonomia. Isto é necessário para que completemos nosso quadro teórico de análise que fundamentará, posteriormente, a fase de constituição dos corpus de pesquisa.

Em relação a modelos de abordagem sobre a ergonomia envolvida com interfaces homem-máquina, Kovács, Gaunet e Briffault (2004, p.21-39) propõem basicamente três modelos: em cascata, em V, e em espiral.

Independentemente do modelo considerado, duas variáveis são comuns:

- Usabilidade (*utilisabilité*): facilidade de aprendizagem e de utilização, eficácia de utilização, facilidade de memorização, utilização sem erros, documentação, satisfação;
- Utilidade (*utilité*): com relação a alcançar os objetivos.

Sobre estas duas variáveis, os autores vão então definir uma série de técnicas de aquisição de dados (instrumentos metodológicos) para que o cientista (e também o profissional da área) colem os dados necessários para atender àquelas variáveis (Quadro 9). É interessante constatar que justamente tais técnicas se situam todas no campo comunicativo, perpassando sempre a questão da linguagem (não-verbal, verbal, escrita, pictórica e outras).

Quadro 9 - Técnicas segundo o tipo de prática e os objetivos associados (Extraído e traduzido de Kovács et al., 2004, p.222-223).

Fases	Técnica	Prática	Objetivos
Observações e técnicas complementares	Observação	Observação	Informações, raciocínios e procedimentos e usos - dados objetivos -

	Questionário	Conjunto estruturado de questões	Idem – dados +- subjetivos
	Entrevista	Troca verbal mais estruturação	Idem – dados +- subjetivos
	Verbalização	Verbalização durante a atividade	Procedimentos, usos – dados +- subjetivos
	Incidentes críticos	Coleta de incidentes/acidentes	Pontos falhos e exigências críticas sobre informações, raciocínios e procedimentos, usos – dados +- subjetivos
	Informação de acordo com a demanda	Demanda de informação por parte do utilizador (usuário)	Informações e procedimentos – dados objetivos
Avaliação	Lembrança retrospectiva. Improvisação	Verbalização depois de interrupção pontual da atividade	Informações memorizadas e utilizadas – dados +- subjetivos
	Cenário	Avaliação pela utilização segundo cenários de um instrumento ou recurso que foi implementado	Informações, raciocínios e procedimentos funcionais e disfuncionais – dados +- subjetivos
	Experimentação	Avaliação de condições precisas sobre as performances e preferências	Seleção de soluções – dados objetivos
Concepção	Julgamento de proximidade	Categorização de informações	Informações de referência – dados +- subjetivos
	Mágico de Oz	Simulação de uma ferramenta parcialmente implementada	Informações, raciocínios e procedimentos funcionais e disfuncionais – dados +- objetivos
	Cartões de triagem	Classificação de informações	Raciocínios – dados +- subjetivos
	Concepção participativa	Combinação de técnicas (observação,	Informações, raciocínios e procedimentos

		entrevista, enquete, brainstorming, experimentação, etc.)	funcionais e disfuncionais – dados +- subjetivos
--	--	---	---

Outros autores como Baccino, Bellino e Colombi (2005, p.103) definem distintas possibilidades de coleta de dados, como: caminho cognitivo, grupo focal, *think aloud method* (verbalizar em voz alta o pensamento), avaliação heurística, evocação, *datalog* e movimentos oculares. Mas também fazem uma diferenciação sobre os tipos de participantes destas técnicas (desenvolvedor, ergonomista e usuário), sobre o objeto (percepção ou compreensão), sobre o tempo (real ou atrasado), e custo (baixo, médio, alto).

Tipos de interface homem-máquina

Baccino, Bellino e Colombi (2005, p.16-18) definem os seguintes tipos de interface homem-computador:

- Interfaces linguísticas: são interfaces que permitem a comunicação do usuário com o computador, quer seja através de forma escrita ou mesmo na forma oral (interfaces vocais);
- Interfaces diretas: designadas pela sigla anglo-saxônica WIMP (*Windows, icons, menus and pointers*), são interfaces onde a manipulação é realizada através de ícones, botões, imagens, animações, etc. cuja significação é metafórica;
- Interfaces adaptativas: são interfaces configuradas para se adaptarem ao usuário, que pode ocorrer através do próprio teclado, ou pelo *mouse*, pela percepção linguística automática (detectando padrões de fala ou de frases, elipses, metáforas, frase agramaticais, pressuposições falsas, antecipações de questões). Neste tipo está incluindo a tecnologia de realidade aumentada. E também técnicas como rastreamento do olhar (*eye-tracking*), controle do cursor do mouse através dos potenciais elétricos cerebrais – ou PUI, *perceptive user interface* .

Para estes autores, a usabilidade ou utilizabilidade, é definida por quatro fatores, como mostrado no Quadro 10.

Quadro 10 - Medidas de usabilidade – segundo a norma ISO 9241 (Extraído e traduzido de Baccino et al., 2005, p.36).

	Medidas de utilizabilidade		
	Eficácia	Eficiência	Satisfação
Adequação a tarefa	% de objetivos alcançados	Tempo para realizar a tarefa	Escala de satisfação de julgamento
Apropriação pelo usuário treinado	Número de funções importantes utilizadas	Eficácia relativa comparada a um expert	Escala de satisfação de julgamento
Capacidade de aprendizagem	% de funções aprendidas	Tempo de aprendizagem	Escala de satisfação de julgamento
Tolerância ao erro	% de erros corrigidos	Tempo gasto para efetuar as correções	Escala de satisfação de julgamento

Tipos de usuários

Segundo Dix, Finlay, Abowd e Beale (1997), os usuários podem ser classificados segundo:

- Os modelos de tarefa visando simular a estrutura hierárquica das operações a serem realizadas para conseguir o objetivo. Um modelo de tarefa realizada na forma de um organograma detalhado sobre o procedimento (quer dizer, a sequência temporal) e as etapas intermediárias (sub etapas);
- Os modelos linguísticos que analisam as interações verbais entre a interface e o utilizador, e ainda a maneira pela qual este a compreende;
- Os modelos físicos ou materiais que tratam dos aspectos motores ou visuais induzidos pela interface.

Há ainda o modelo GOMS (***goals, operators, methods, selection***). Os ***goals*** são os objetivos, os ***operators*** dizem respeito aos operadores, às ações que o operador executa sobre o sistema, os ***methods*** tratam dos métodos pelos quais os objetivos são alcançados, e finalmente ***selection*** indica a maneira de selecionar a cada momento de utilização do sistema, aquele objetivo que fará com que a tarefa seja executada (CARD et al., 1983).

Em resumo, tudo isto que faz com que nossa escolha seja fortemente justificada em função da proximidade não apenas teórica, mas também de sua aplicabilidade pragmática entre referenciais teóricos da área da Didática das Ciências e também em relação a referenciais teóricos da área da Ergonomia Cognitiva.

4.4.4 – A definição do corpus de pesquisa a partir da ergonomia cognitiva

Depois de analisarmos esta polifonia tão complexa de tecnologias e abordagens sobre a questão da emoção e tecnologias computacionais, e a necessidade de se configurar tais abordagens dentro de uma perspectiva da ergonomia cognitiva, o que destacamos e que se relaciona diretamente ao nosso problema de pesquisa é saber como constituir um ‘corpus’ de dados suficientemente adequado para nos trazer as informações que necessitamos para o trabalho como um todo.

Ou seja, temos um conjunto relativamente grande de abordagens, cada qual trazendo concepções, conceitos, parametrizações, esquematizações, metodologias, processos e sistemas muitas vezes totalmente diferenciados. E necessitamos, a partir disto, selecionar na forma de um corpus de pesquisa, algumas referências que serão mais adequadas aos nossos propósitos para delimitarmos o campo da pesquisa para a aplicação com a interface homem-máquina, que é objeto de nosso estudo.

Assim, nesta mesma direção e de uma maneira mais sintética, em recente publicação Pelachaud (2010) identifica na comunidade internacional de pesquisadores, três grandes tendências de **corpus**⁴⁸:

1. Os **corpus** agindo fora do contexto (com os seus verdadeiros atores ou não), e os corpus agindo no contexto da ficção (filme, teatro, etc.);

⁴⁸ Este conceito de ‘corpus’ será retomado quando abordarmos as características da interface cérebro-computador Emotiv Epos.

2. Os **corpus** emergindo de interfaces artificiais, permitindo incluir emoções: interação com um sistema simulado por um humano;
3. O **corpus 'real life'**: interações homem-homem, interações com sistemas de diálogo homem-máquina.

Adaptamos esta interpretação para nossa situação, e a partir disto vamos definir quais serão os parâmetros de análise técnica que realizaremos em relação a estes **corpora**, considerando basicamente o seguinte: para o uso da interface cérebro-computador, teremos os seguintes tipos de usuários:

1. **Usuário técnico operador**: aquela pessoa que controlaria o uso da interface com o aluno, e que necessariamente não seria a mesma pessoa que interpretaria os dados produzidos pela interface;
2. **Usuário técnico interpretador**: um profissional da área de saúde, psicologia, medicina, ou uma equipe multidisciplinar, que fosse(m) capaz(es) de interpretar os dados neurocognitivos para a situação escolar, levando-se em consideração os conhecimentos a respeito da pessoa que utilizou a interface (o aluno com ou sem deficiência visual);
3. **Usuário aluno**: que é aquela pessoa que simplesmente utilizará a interface para as finalidades didático-pedagógicas.

Com isto posto, definimos quais são os parâmetros de análise que serão posteriormente utilizados no Capítulo 5 (Materiais e Métodos) para avaliação da interface cérebro-computador, considerando-a como uma tecnologia assistiva.

Estes parâmetros são: **usabilidade, comunicação e navegabilidade em espaços virtuais, carga cognitiva**.

Gostaríamos de destacar aqui que trabalhos importantes na área das tecnologias assistivas que tem estreita relação com estes e outros aspectos da ergonomia (inclusive a ergonomia cognitiva) podem não utilizar estes mesmos critérios de análise como, por exemplo, o extenso trabalho desenvolvido por Galvão Filho (2009, 2005). Entretanto, convém ressaltar que para os propósitos deste trabalho consideramos absolutamente necessário delimitar tais critérios ergonômicos, exatamente em função da limitada literatura internacional

específica sobre a questão do uso de interface cérebro-computador para deficientes visuais.

Entretanto, para a constituição dos dados de pesquisa que serão apresentados no Capítulo 5 (Materiais e Métodos), relacionados com os parâmetros usabilidade, navegabilidade em espaços virtuais e carga cognitiva, utilizaremos adaptações das normas técnicas ISO 9241 e ABNT NBR 9241-11. Estes parâmetros são explicados a seguir.

Parâmetro 1 - Usabilidade

É preciso dizer ainda que dentro da própria escola ergonômica considerada tradicional (a anglo-saxônica), as considerações a respeito de tudo aquilo que esteja relacionado ao conforto humano possui um capítulo especial, principalmente através do conceito de '*usabilidade*':

Um sistema é considerado como 'utilizável' quando permite ao usuário de realizar sua tarefa com eficácia, eficiência e satisfação dentro de um contexto de utilização específico - conforme a norma ISO 9241-. (BONNARDEL, 2006, p.99).

Seguindo esta mesma ideia, Scapin e Bastien (1997) estabeleceram uma série de critérios que se tornaram referência internacional para explicitar as chamadas condições de restrição, como: ***orientação, carga de trabalho, adaptabilidade, homogeneidade, compatibilidade***, etc.

Segundo o Centro de Design Universal da Universidade Estadual da Carolina do Norte (Estados Unidos), os seguintes critérios devem ser observado em relação a um projeto de usabilidade e acessibilidade:

- **Uso equitativo:** o projeto deve atender a pessoas com diferentes habilidades.
- **Flexibilidade no uso:** o projeto atende a uma gama de indivíduos com diferentes preferências e habilidades.
- **Uso simples e intuitivo:** uso fácil e inteligível, independentemente de experiência, conhecimento, forma de comunicação ou nível de entendimento dos usuários.
- **Informação perceptível:** o projeto deve transmitir informações de forma efetiva ao usuário,

independentemente das condições ambientais ou das habilidades sensoriais dos usuários.

- **Tolerância ao erro:** o projeto deve minimizar erros e as consequências adversas de ações acidentais.
- **Baixo esforço físico:** o projeto deve ser utilizado com eficiência, conforto e fadiga mínima.
- **Tamanho e espaço adequados para acesso e uso:** o projeto deve apresentar tamanho e espaços adequados para acesso, uso e manipulação de objetos, independentemente da antropometria, postura ou mobilidade do indivíduo (PASCHOARELLI; MENEZES, 2009, p.14).

Parâmetro 2 - Comunicação e navegabilidade em espaços virtuais: a questão dos deficientes visuais

Quando temos interfaces ou sistemas informatizados cuja operação depende de um domínio sobre este 'espaço virtual' (por exemplo, a navegação num site da internet, a navegação pela tela de um *software*), que é composto por ícones que são associados a ferramentas, etc., tem-se um grande problema de conceitualização colocado, que tem relação direta com o aspecto ergonômico.

Para o deficiente visual, por exemplo, a tarefa de utilizar um *tablet* ou um computador para encontrar um lugar através de um mapa pode ser uma operação extremamente complicada. Um estudo realizado na França através da enquete intitulada '*Handicaps- Incapacités-Dépendance*' (ORIS, 2005) entre 1998 e 1999, mostrou que 86% das pessoas não videntes não se arriscam a se locomoverem através de lugares que elas desconhecem.

Em verdade, passar da percepção tátil (percepção de algumas propriedades táteis do objeto, que mesmo feita num objeto tridimensional, é realizada bidimensionalmente) para a construção mental de um espaço totalmente tridimensional, não é algo trivial e direto. E pior ainda é passar da percepção proprioceptiva (aquela que a pessoa faz através da interação de seu corpo com o meio, procurando perceber ou ter sensações físicas sobre o meio ambiente), sem a presença do tato, para a elaboração ou construção mental da conceitualização, é ainda mais difícil.

A questão que colocamos é a seguinte: se para o indivíduo vidente este domínio de espaço de navegação (virtual) pode não parecer algo assim tão

intuitivo e tranquilo, como isto deverá se passar para o não vidente? A questão toda se passa no nível de como o indivíduo constrói seus modelos para conseguir esta navegação virtual e de como a linguagem participa neste processo. Quando falamos linguagem estamos nos referindo num sentido complexo, que envolve não apenas o domínio da linguagem falada e escrita, mas também os gestos, os sons do ambiente, outros estímulos do meio, a percepção física mesmo do espaço físico, dos objetos, etc. O conjunto destas percepções, relacionado aos objetos e à maneira como o indivíduo constrói esta 'epistemologia da linguagem' é algo que perpassa o domínio puro da semiótica, conforme muito bem coloca Lúcia Santaella em "*Matrizes da Linguagem e Pensamento*" (SANTAELLA, 2001) ao apresentar exatamente o mesmo ponto que estamos colocando aqui, que é a constituição daquilo que a autora chama por 'linguagem', como sendo algo que perpassa não apenas o domínio da linguagem falada, mas aqueles outros elementos que já mencionamos. Portanto, fica claro mais uma vez que estaremos falando aqui sobre a questão da construção (ou de sua concepção) por parte do sujeito do mundo, e qual o papel da linguagem nisto.

A este respeito, num estudo muito instigante, Jennings e Benyon (1991) e Benhyon (2006) introduzem a relação entre a linguagem humana e a movimentação ou a navegação que as pessoas (videntes) realizam dentro de um determinado espaço virtual, e como isto se relaciona aos sistemas tecnológicos que estão neste espaço e dos quais as pessoas fazem uso.

Para os autores os diferentes tipos de usuários que participam e compartilham os mesmos softwares, equipamentos e tecnologias, poderão fazer um uso diferenciado em relação a estes objetos e, assim, estabelecerem relações comunicativas diferenciadas. E isto será algo que terá mais a ver com o sistema de linguagem da pessoa do que com outro fator.

A pergunta que os autores fazem é: sob estas condições, como um sistema (do ponto de vista ergonômico, e da ergonomia cognitiva) deve ser capaz de se adaptar ou de ser flexível o suficiente para atender as demandas singulares dos indivíduos/usuários?

A partir desta pergunta descrevem algumas condições que consideram essenciais para que determinada tecnologia ou sistema possa ser devidamente adaptada ou acomodada de acordo às necessidades humanas num cenário de navegação virtual. A análise do estudo começa a partir de três critérios básicos, que são 'a tarefa a ser realizada', 'as interfaces' e 'as características dos usuários'. Com isto definem as variáveis 'habilidade espacial', 'habilidade verbal', 'campo de independência' (em relação a maneira como a pessoa consegue se movimentar no espaço virtual com autonomia), 'memória de curto-termo' e 'raciocínio/percepção'.

Após estes critérios definidos, o estudo realizado com cinco tipos diferentes de interfaces virtuais com distintos estilos, constatou que a variável 'habilidade espacial' era a mais significativa e correlacionada com o domínio da linguagem utilizada (associada a 'habilidade verbal') pela interface, mas curiosamente, parece não haver uma relação direta com a aprendizagem anterior que a pessoa possuía em relação a utilização de outros espaços virtuais semelhantes (entretanto, estudos como o de Jennings (1991) não confirmam este achado). Nem mesmo as variáveis 'memória de curto-termo' e 'raciocínio/percepção' tiveram significativa influência na performance do usuário.

Mas o estudo mostrou também que tanto a habilidade espacial quanto a habilidade verbal são influenciados pelo tipo de interface, ou o estilo da interface (*interface styles*) e não pela tarefa em si mesmo (desde que as tarefas fossem equivalentes em cada caso) (JENNINGS; BENYON, 1991, p.243-256).

Isto então sugere que é o estilo que se relaciona com a linguagem do usuário, ou seja, que aquilo que é subjacente ao indivíduo, em termos do que se constitui como formando todo o sistema complexo de significados (dados de maneira semiótica), e que demos o nome genérico de 'linguagem', é então a variável que se correlaciona com mais causalidade à forma, ou ao estilo comunicativo do sistema.

Por esta razão, fica justificado que, possivelmente, para o deficiente visual, este mesmo tipo de fenômeno da percepção-conceitualização-representação (quicá apenas mental no início e depois operacional) vá também ocorrer. Em função disto, podemos supor que a definição das características da interface,

em termos de todo o conjunto, de todo o complexo que efetivamente é transposto ou transformado em linguagem (no sentido semiótico e depois no sentido pragmático, da ação) é algo decisivo para o sucesso do sistema enquanto elemento comunicativo.

Toda esta discussão nos remete às considerações desenvolvidas nos Capítulos 1 e 2, quando tratamos da questão do mecanismo ou do processo de conceitualização (VERGNAUD, 1990), sua relação com a constituição das imagens mentais (BRUNO et al., 2007), e sua correlação com o aspecto semiótico das categorias perceptivas para o Ensino de Física para deficientes visuais (CAMARGO, 2011, 2008).

Focando na questão do deficiente visual, é precisamente nesta linha de trabalho que Catherine Gouédard desenvolveu uma estimulante pesquisa ao analisar como deficientes visuais construíram sistemas conceituais para expressarem seu deslocamento através do ato de percorrer determinado trajeto utilizando um telefone celular para se comunicarem. Uma das ideias implícitas na aquisição desta habilidade, segundo Gouédard, é noção de 'competência incorporada', segundo Jacques Leplat, que seria uma espécie de competência que o indivíduo adquire e que se incorpora a sua ação motora e que a pessoa a executa sem que para isto tenha que necessariamente recorrer a um raciocínio, no sentido de um raciocínio formalizado, estruturado (GOUÉDARD, 2006, p.67).

Portanto, este é um ótimo exemplo no qual a ergonomia cognitiva é explicitamente voltada para a ação do indivíduo em relação ao ambiente, utilizando-se de algum equipamento, mas não sendo em si o equipamento o foco da análise.

Parâmetro 3 - Carga cognitiva

Outra característica importante na abordagem da ergonomia cognitiva francesa é uma especificidade ou uma particularidade sobre o conceito de carga mental de trabalho, conceito este amplamente difundido e utilizado também pela linha anglo-saxônica da ergonomia.

No nosso caso, necessário que se esclareça, estamos neste momento tornando equivalente uma atividade de trabalho (tal qual a ergonomia faz na ergonomia clássica) à uma atividade escolar, no caso, a realização de determinada tarefa cognitiva por um aluno no ambiente ou no contexto escolar.

Pois bem, Montimollin (1986) será bem claro em distinguir (filosoficamente e pragmaticamente) ambas as escolas ergonômicas ao tratar o conceito de carga mental, afirmando que na linha francesa esta carga é relacionada diretamente com a variável 'carga nervosa' (*charge nerveuse*), tendo-se em conta as 'operações mentais' e o 'nível de atenção'⁴⁹. As operações mentais exigem uma decisão refletida (pensada) da pessoa e isto implica que toda ação não rotineira aumenta a carga mental, fazendo com que o índice correspondente (um fator de mensuração da taxa ou carga mental) também aumente, trazendo como consequência a diminuição no rendimento. Por outro lado, isto vai estar em contraposição direta em relação a outro conceito, que é o conceito de 'conteúdo de trabalho', onde 'o interesse pelo trabalho' vai baixar aquele mesmo índice (MONTIMOLLIN, 1986, p. 118-119).

E a pergunta que fazemos é: transpondo esta ideia de carga mental para o ambiente escolar, como seria isto em relação ao aluno com uma deficiência visual (e quiçá também para os alunos considerados normais)? Como se dá a nível cognitivo uma carga física, emocional, cognitiva em função da depleção da visão? Que sobrecarga de natureza cognitiva é imposta a um aluno num ambiente de aprendizagem onde ele está submetido a uma série de restrições (acessibilidade na locomoção, acessibilidade e equiparação quanto ao uso das ferramentas e dos recursos que o meio oferece, etc.)?

E ainda para o deficiente visual, em que medida os sistemas de avaliações institucionais (nível da educação básica/municipal, estadual, federal e internacional, a saber, SAEB, SARESP, ENEM e PISA) consideram como importantes para uma leitura da aprendizagem deste alunado, os comportamentos não-verbais espontâneos e provocados, como gestos,

⁴⁹ Estas duas variáveis, operações mentais e nível de atenção, serão posteriormente consideradas na análise dos dados desta pesquisa, através do processo da coleta de dados que envolveu a interface cérebro-computador, adquirido pela técnica do eletroencefalograma (EEG) e da atividade dos ritmos cerebrais *alpha*, *beta*, *gamma* e *theta*, respectivamente.

posturas, as ações de movimentação espacial, de postura física, etc. Como estes comportamentos são ligados com a conceitualização que uma pessoa deficiente visual desenvolve? Ou seja, como e quanto das ações não-verbais vão sendo incorporadas pelo indivíduo a ponto de se organizarem na forma de (futuros) esquemas, de (futuros) invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação)?

Se para os indivíduos videntes a atividade do 'olhar' é fundamental para a reestruturação no espaço físico, para o deficiente visual todos os demais sentidos formam a base epistemológica e fenomenológica para a construção da realidade. (MONTIMOLLI, 1986, p.95). A este respeito, a revista *Travail Humain* dedicou um número especial intitulado *L'exploration visuelle dans le travail*, 1983, dedicada especialmente a questão do papel do olhar na construção e na manipulação do indivíduo pelos instrumentos e objetos de trabalho.

4.4.5 Explicitando os agentes

Nesta última parte sobre ergonomia cognitiva apresentaremos de maneira mais clara os agentes que compõem o sistema escolar que, em primeira e última instância, configuram o ambiente de aprendizagem chamado escola.

Chamamos aqui de 'agentes' todas as entidades, sábias ou não, que desempenham um papel dentro de um 'Sistema de Informação': indivíduos, sistemas informáticos e seus acessórios (ferramentas de processamento de informação, ferramentas de telecomunicação, etc.) (PRINCE, 1996, p.10).

Na verdade, para o presente momento dentro deste trabalho, estamos nos detendo ao elemento 'agente' mas, conforme Leplat (2000), as considerações ou o foco em relação à análise de um sistema de informação (ou mais precisamente, a um sistema ergonômico, que definiremos a seguir), também

pode ser realizado pela via da tarefa cognitiva. Mas por hora nos fixaremos apenas nos agentes.

Dentro deste contexto, é necessário que os diferentes 'agentes' que participam de um 'Sistema de Informação' (na forma de uma tecnologia assistiva), façam parte de uma 'comunidade epistêmica' (PRINCE, 1996; BEYSSADE, 1998):

Tudo se passa como se os agentes compartilhassem o mesmo modelo semântico, quer dizer, tudo aquilo que se refere as modalidades tais como 'acreditar', 'saber', 'pensar' que se relacionam aos mesmos objetos" (PRINCE, 1996, p.96).

A comunidade epistêmica neste caso pode ter determinado grau de interatividade que chamamos aqui de explícita ou implícita, para nos referirmos se sua participação é direta ou indireta em relação ao Sistema de Informação considerado. Esta distinção aqui é necessária por este momento por uma razão didática. Entretanto, seu distanciamento deverá diminuir a medida que chegarmos a compreender que um dos objetivos do modelo que desenvolveremos é exatamente fazer com que ambas categorias de agentes se aproximem no que diz respeito ao processo semiótico-comunicacional.

De fato, considerando o contexto da educação inclusiva, é necessário considerar as chamadas diferenças entre os agentes que participam do contexto escolar, sem o qual a própria prática docente ficaria inviabilizada e enveredaria pelo viés da segregação dos alunos com qualquer tipo de deficiência:

(...)as dificuldades de interação, geralmente intrínsecas à deficiência, juntamente com uma carência de estímulos, muitas vezes presente em realidades de muitas carências sociais, propiciam uma postura de passividade diante da realidade. Mas essa apropriação nem sempre ocorre sem problemas, também por barreiras culturais, institucionais, ou por preconceitos. Na escola tradicional, por exemplo, muitas vezes ocorrem dificuldades, em função da aplicação de paradigmas ultrapassados que não respondem às reais necessidades e interesses dos alunos (GALVÃO FILHO, 2005, p.57).

No nosso caso, os agentes que fazem parte do ‘Sistema de Informação’ são mostrados no Quadro 11.

Quadro 11 - Agentes do Sistema de Informação 'sala de recursos'

Agentes explícitos do Sistema de Informação (sala convencional/sala de recursos)	Agentes implícitos do Sistema de Informação (sala de recursos)
Aluno (sem ou com alguma deficiência ou necessidade educacional especial) Professor da sala de aula regular Professor da sala de recursos (especialista) Coordenação pedagógica da escola Coordenação pedagógica da Diretoria de Ensino Direção escolar Tecnologias assistivas computacionais Tecnologias assistivas não-computacionais	Psicopedagogo Psicólogo Fonoaudiólogo Médico (psiquiatra, neurologista, clínico geral, outros) Terapeuta ocupacional Fisioterapeuta Tecnologias e metodologias assistivas (propedêuticas, terapêuticas)

Prince (1996) vai acrescentar também os ‘modos de organização’ dos agentes, referindo-se à maneira como os agentes articulam seus conhecimentos em relação à determinada concepção. Uma referência mais específica à maneira como agentes naturais (seres humanos) se relacionam inter ou extra concepções cognitivas pode ser encontrada, por exemplo, em abordagens do tipo modelos mentais, como em Johnson-Laird (1983), Ehrlich, Tardieu e Cavazza (1992) .

No nosso caso, o que interessa é fazer com que estes agentes (aparentemente distintos) se integrem para atender à uma única finalidade, que é justamente direcionar-se ao alunado em geral, notadamente o indivíduo com necessidades educacionais especiais.

CAPÍTULO 5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Referencial teórico e *corpora* de pesquisa

Esta investigação se caracteriza como uma pesquisa quali-quantitativa, na modalidade ‘estudo de caso’ (LÜDKE; ANDRÉ, 1986; BAPTISTA, 2007; SAMPIERI, 2006).

Conforme dissemos anteriormente, os *corpora* de pesquisa serão constituídos pela componente didática (*Corpus 1*), componente ergonômica (*Corpus 2*) e, finalmente, o *Corpus 3* que se refere a parte neurocognitiva da pesquisa.

Para que haja coerência entre a organização das diferentes técnicas de materiais e métodos utilizados em cada um dos *corpora*, partimos da premissa que o resultado final da interpretação dos dados (advindos da aplicação precedente destas respectivas técnicas) deverá convergir para um processo de ‘**natureza comunicacional**’. Assim, utilizaremos o referencial teórico denominado ‘**Análise de Conteúdo**’, segundo Laurence Bardin (1977).

Embora todo o *Corpora* seja igualmente significativo no conjunto do trabalho, o *Corpus 1* possui papel central em função de que sua natureza é exclusiva da área foco deste trabalho, ou seja, Educação (Educação para a Ciência, Ensino de Física). Por esta razão, utilizaremos também neste *Corpus 1*, concomitantemente, a técnica denominada ‘análise microgenética’, que será explicada posteriormente.

Em relação a *Análise de Conteúdo*, tal técnica abrange grande multiplicidade de fontes, que compreendem um ‘**conjunto de técnicas de análise de comunicação**’ definida dentro de um âmbito geral denominado de ‘**campo**’ e refere-se ao aspecto da comunicação (BARDIN, 1977, p.35).

Como abrange a comunicação, a **Análise de Conteúdo** é de natureza semiótica, englobando as várias formas icônicas, a linguagem falada e escrita, e também a comunicação não linguística (utilizando a tradução literal em

francês, que poderia ser interpretada para o português como ‘comunicação não-verbal como, por exemplo, as expressões emocionais).

Sobre este ponto, que é a comunicação não-verbal (não linguística), que as vezes é um possível aspecto de conflito para alguns, convém esclarecer que:

Ou, quais que sejam as dificuldades de aplicação ou de transposição das técnicas de análise de conteúdo às comunicações não linguísticas e os exageros aos quais são conduzidos por vezes a recente moda da semiologia, parece difícil refutar ao enorme campo de comunicações não linguísticas (ao qual aplicamos por comodidade os termos de campo semiológico ou semiótico) os benefícios da análise de conteúdo (ibidem, p.37).

Estamos fazendo referência ao aspecto não-verbal porque justamente este tipo de ocorrência deverá aparecer quando formos analisar a constituição conceitual de gestos utilizados pelos sujeitos da pesquisa durante as situações didáticas, onde foi empregada a estratégia multissensorial.

Então, está claro que metodologia utilizada emparelha-se com a semiótica e, mais especificamente, a uma semiótica comunicacional voltada para a linguagem.

Segundo a autora, a organização da técnica da análise do conteúdo é realizada de acordo com suas **práticas**, seus **métodos** e suas **técnicas**.

Dentro das **práticas** está aquilo que conhecemos como os meios de coleta de dados: aplicação de testes, questionários, entrevistas, etc.

O **método** vai consistir de como proceder a análise metodológica dos materiais utilizados na prática, que pode ser das seguintes maneiras:

- Organização da análise: pré-análise, exploração do material, tratamento dos resultados obtidos e interpretação;
- A codificação: unidades de registro e de contexto, regras de enumeração, análise quantitativa e qualitativa;
- A categorização;
- A inferência: polos de análise, processos e variáveis de inferência;

- Informatização da análise: menciona várias metodologias.

Finalmente, em relação às **técnicas** temos:

- Análise categorial;
- Análise de avaliação: também chamada de ‘análise de asserção avaliativa’ (do francês ‘*analyse d’assertion évaluative*’ utilizado pela autora, mas transcrito do inglês ‘*elavuitive assertion analysis*’, segundo ⁵⁰Osgood (1959).
- Análise da enunciação: o discurso como palavra em ação, condições e organização de uma análise de enunciação, concepção linguística (a interpretação daquilo que está implícito);
- Análise proposicional do discurso;
- Análise da expressão;
- Análise das relações: análise de co-ocorrências; análise estrutural;
- Análise da história (no sentido da narrativa do que ocorreu); análise do discurso.

Análise microgenética

A análise microgenética tem sido mais comumente utilizada quando se utiliza a abordagem da teoria de Vygotsky como referencial teórico. Entretanto, convém mencionar pela primeira vez neste trabalho, que a Teoria dos Campos Conceituais encontra-se também apoiada sobre algumas concepções vygotskyanas, embora que grande parte dela esteja fundada nas ideias de Jean Piaget. Entretanto, mesmo que fosse este o caso, ou seja, de que tivéssemos utilizando um referencial teórico exclusivamente piagetiano, ainda assim seria admissível empregar a análise microgenética, porque procedimentos semelhante foram utilizados por Piaget em seu método clínico de análise.

Aliás, muito mais do que isto, segundo Góes (2000), o próprio Vygotsky modificou a técnica analítica detalhada que Piaget utilizava até chegar-se na

⁵⁰ C.E.Osgood. The representational model and relevant research methods, in I. de S. Pool (ed.), Trends i content analysis, Urbana, University of Illinois Press, 1959.

versão que posteriormente foi interpretada pelos discípulos do pensador soviético com a denominação de análise microgenética.

Para Góes (2000, p. 11) nesta análise “se busca compreender os passos do desenrolar das ações dos sujeitos e explicar suas construções e transformações cognitivas” a partir de pequenos eventos (daí a denominação ‘micro’).

Assim, nesta técnica serão apreciados como foco os seguintes aspectos:

- a) O acompanhamento detalhado, minucioso que se relaciona com o desenvolvimento e a formação de um processo, envolvendo as ações dos sujeitos que participam de determinado evento num curto espaço de tempo. O período ‘curto’ de tempo de que estamos falando, no caso das aulas (situações didáticas) que foram estudadas nesta pesquisa ocorreram em função da necessidade didática imposta pelo próprio contexto que foi encontrado, principalmente no tocante às condições de aprendizagem do sujeito de pesquisa que será o foco desta análise (sujeito de pesquisa denominado ‘Mariana’), que possuía um repertório conceitual bastante limitado, razão pela qual optamos por não estender temporalmente a abordagem sobre determinado conceito durante períodos relativamente longos de tempo, considerando que o tempo médio de cada situação didática foi em torno de 50 a 60 minutos.
- b) Nesta análise, o aspecto intersubjetivo relacionado àquilo que ocorre com determinado indivíduo (principalmente em relação a determinado sujeito de pesquisa) é transformado, alterado ou convertido para aspectos intra-subjetivos.
- c) Na análise microgenética leva-se em consideração a interação social. Como veremos na apresentação e análise dos dados do Corpus 1, sempre estaremos fazendo referência ao processo de intervenção que ocorria entre o pesquisador (na condição de professor) e o sujeito de pesquisa (na condição de aluno). Contudo, nesta interação social o foco de análise será apenas o sujeito de pesquisa (o aluno) e não o pesquisador (o professor), embora aquilo

que tenha sido mediado pelo pesquisador/professor obviamente teve seu reflexo direto sobre o sujeito de pesquisa. Da mesma maneira, falando da influência do aspecto que estamos chamado de 'social', também inserimos por vezes na apresentação e discussão dos dados aspectos sobre a influência direta ou indireta da professora da Sala de Recursos, bem como da progenitora da aluna tomada como sujeito de pesquisa (Mariana). E ainda um terceiro elemento da componente social também está sendo considerado, embora não seja detalhadamente analisado, é precisamente toda herança cultural trazida pelo sujeito, e a conseqüente relação que isto teve em seu percurso e histórico de vida acadêmico-escolar.

- d) Tal técnica é bastante adequada em pesquisas do tipo 'estudo de caso'. Como nossa análise do Corpus 1 – Didática, será realizada em apenas um dos três sujeitos de pesquisa (Mariana), consideramos pertinente enquadrar a pesquisa nesta modalidade estudo de caso. Da mesma maneira, também para o Corpus 3 – Dados Neurocognitivos, a modalidade 'estudo de caso' é igualmente válida, principalmente em função não apenas do valor numérico da amostra dos sujeitos, que será de 3 pois consideramos mais conveniente para efeitos comparativos, mas também porque permite uma análise mais aprofundada sobre as características específicas deste grupo.
- e) A análise microgenética está fortemente vinculada ao aspecto semiótico, e isto estará bastante evidente principalmente na apresentação dos dados e análise do Corpus 1, onde a linguagem evidenciará os elementos da relação **objeto, significante/significado e representação** (correspondendo à **primeiridade, secundidade e terceiridade** semiótica). E esta mesma abordagem condiz com os principais referenciais de Vergnaud (1990) e Camargo (2011), respectivamente abordados nos subtítulos 1.6 e 2.1.

Para o conjunto dos *corpora* de pesquisa, o processo de coleta de dados foi realizado após autorização concedida pelo Comitê de Ética e Pesquisa da

Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, de Bauru.

Todos os três sujeitos da pesquisa foram visitados e consultados previamente sobre as finalidades do trabalho, sendo que foi obtido o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (anexo) para os mesmos.

Nos casos dos sujeitos Mariana e Patrícia, os diretores das respectivas escolas (escolas estaduais da rede pública de ensino do Estado de São Paulo) autorizaram a permanência do pesquisador nas instituições, o mesmo ocorrendo com o sujeito Paulo, cuja autorização da instituição foi fornecida pela diretora e assistente social da entidade.

Assim sendo, apresentaremos na sequência os *corpus* e seus respectivos materiais e métodos utilizados.

5.1.1 Corpus 1 – Métodos didáticos

Situações didáticas (aulas de Física com enfoque multissensorial)

Materiais

- Kit de robótica LEGO Mindstorms NXT 2.0

Métodos

- Registro digital em vídeo e áudio, respectivamente, das situações didáticas (aulas de Física).
- Diário de campo: relato escrito realizado pelo pesquisador de aspectos, eventos e situações que possam contribuir significativamente para a constituição dos dados.
- Análise de Conteúdo e Análise microgenética.

5.1.2 Corpus 2 – Métodos da Ergonomia Cognitiva

Materiais

- Adaptação da Norma técnica ISO 9241.
- Adaptação da Norma técnica ABNT NBR 9241-11.

Métodos

Registro em áudio e vídeo de todos os eventos.

- Planilha com script de registro de parâmetros ‘usabilidade’, ‘navegação em espaços virtuais’ e ‘carga cognitiva’, respectivamente, com base nas normas acima mencionadas.
- Aplicação da técnica da “amostragem proposital” (*purposive sampling*) através de observação de eventos significativos de registro.

5.1.3 Corpus 3 – Métodos Neurocognitivos

Materiais

- Gravação em áudio e vídeo dos eventos: treino cognitivo com a interface “Emotiv Epoc”, utilização da interface para delineamento experimental (quase-experimento).
- Interface cérebro-computador “Emotiv Epoc”, modelo “SDK Research”, com 14 eletrodos posicionados sobre o escalpo nos pontos AF3/AF4, F3/F4/, F7/F8, FC5/FC6, T7/T8, P7/P8, O1/O2.
- Uso da solução “Renu Bausch & Lomb Plus” (solução isotônica estéril contendo Ácido Bórico, edeato dissódico, Borato de Sódio e Cloreto de Sódio; polaxamina e DYMED), para otimizar contato elétrico (aumento de condutividade elétrica) dos eletrodos com o escalpo (aproximadamente 8 gotas por sensor).

- Registro da atividade elétrica cerebral através do software “Emo3D BrainMap Premium”.
- Registro da atividade elétrica cerebral através do software “Testbench”.
- Utilização de software “Emokey”, para comunicação “software/hardware” (Painel de Controle/ Control Panel e robô LEGO Mindstorms).
- Software “NXT MindControl, versão 1.0”, para checagem e visualização da direção dos movimentos do robô LEGO Mindstorms.
- Kit de robótica “LEGO Mindstorms NXT versão 2.0”.

Métodos

Para o ajuste e operação da interface cérebro-computador:

- a) Utilização da técnica P300 de interpretação de dados elétricos cerebrais para ajuste e calibração da interface cérebro-computador Emotiv Epoc;
- b) Uso do Protocolo ECOLIG (MIGUEL, 2010⁵¹) e do protocolo contido em Chapman, Almeida e Reis (2006) sobre sinais de eletroencefalograma.

Para uso da interface cérebro-computador com os sujeitos da pesquisa

Para utilização do controle do robô LEGO Mindstorms NXT 2.0 através da interface cérebro-computador Emotiv Epoc, contamos com a inestimável colaboração de Felipe Sousa do Nascimento, que forneceu não apenas os softwares e bibliotecas de dados que o mesmo desenvolveu para isto (utilizando principalmente linguagem JAVA), bem como orientações fornecidas via email e também pessoalmente. Sem esta parceria esta parte do projeto não poderia ser viabilizada.

Pois bem, descrevemos detalhadamente aspectos técnicos da interface utilizados na pesquisa.

⁵¹ Na verdade, foi utilizado todo o texto desta referência bibliográfica. Entretanto, especificamente para a parte que trata da configuração dos parâmetros de ajuste, calibragem e operação da interface Emotiv Epoc, foram empregadas as orientações que estão descritas no texto a partir da página 187 até a página 258.

- Delineamento experimental nas modalidades “*estudo de caso*” e “*quase-experimento*”, utilizando a técnica P300 de potenciais evocados:
 - a) Registro da atividade elétrica cerebral através do eletroencefalograma (EEG)
 - b) Registro da dinâmica cerebral através dos ritmos elétricos (alpha, beta, delta, theta)
- Metodologia de treino cognitivo com a interface “Emotiv Epoc”. Para isto utilizamos as diretrizes do “Protocolo ECOLIG” e procedimentos de controle da interface cérebro-computador segundo O’Doherty et al. (2009).
- Análise estatística da atividade do EEG e dos ritmos cerebrais, respectivamente.

5.2 Sujeitos de Pesquisa

A escolha dos sujeitos partiu de dois critérios: ‘grau de deficiência visual’ e inserção no sistema regular de ensino. Na verdade, o sujeito que consideramos ideal para esta pesquisa seria o cego de nascimento, ou seja, o indivíduo que tivesse perdido a visão prematuramente (acuidade visual abaixo de 5%, ou 0,05). A razão disto se justifica pelo motivo de que pretendíamos testar a hipótese de que uma pessoa cega pode (ou não) formar imagens mentais com correspondência visual, necessária para manusear ou acionar o controle de um objeto virtual (um cubo) presente no software da interface cérebro-computador.

O critério de que o sujeito da pesquisa deveria estar frequentando ou, pelo menos, ter frequentado a escola regular, ou seja, o Ensino Fundamental (6º ao 9º ano) e ou Ensino Médio é porque presumimos que tal sujeito tivesse passado ou ainda estivesse tendo a experiência de frequentar um espaço formal de ensino-aprendizagem e, que desta maneira, tivesse sido exposto ao ensino regular acadêmico, principalmente considerando as condições da chamada Sala de Recursos, que é o espaço pedagógico utilizado pelas escolas da rede pública estadual para alunos com deficiências. Nisto estava presumido

que tal aluno pudesse ter vivenciado a utilização de recursos da Sala de Recursos, bem como, tivesse recebido a devida orientação (metodologia e didática) por parte do professor especialista, concomitantemente (ou não) às orientações didáticas e pedagógicas do professor da sala regular.

Destacamos uma vez mais que para apresentação dos dados do Corpus 1 focaremos apenas em um dos sujeitos (Mariana), e para o Corpus 2 e 3 consideraremos os dados provenientes dos três sujeitos de pesquisa, que definiremos a seguir.

- **Sujeito Paulo** - Homem com idade de 22 anos, com cegueira adquirida (acuidade menor que 5%), sem visão nenhuma, nem residual, vultos ou luz residual. Este sujeito concluiu o Ensino Médio em escola Rede Pública do Estado de São Paulo no ano de 2010. Atualmente reside numa instituição para cegos da cidade. Possui grande mobilidade física, inclusive pratica atletismo. No momento prepara-se para concursos e vestibular, domina a leitura e escrita Braille (embora não utilize), preferindo o uso do editor de texto do computador. Pelo fato de ter concluído o Ensino Médio e não estar mais frequentando a escola, a coleta de dados com este sujeito de pesquisa foi realizada na instituição para cegos onde reside.
- **Sujeito Patrícia** - Uma mulher com 25 anos, com cegueira adquirida aos 18 anos, decorrente de um acidente vascular cerebral. É considerada cega (acuidade abaixo de 0,05), mas percebe luminosidade e enxerga vultos a certa distância. Apesar da causa da cegueira ter sido o AVC, não existe comprovação laboratorial na forma de exames desta condição. Também esta pessoa teve o comprometimento dos movimentos das pernas (é cadeirante) e também das mãos após este acidente vascular cerebral. Inclusive, em função disto, não possui boa sensibilidade tátil, razão pela qual não utiliza a leitura Braille. Entretanto, consegue digitar no computador com muita dificuldade. Seu enquadramento no CID seria categoria I64, que é “Acidente vascular cerebral, não especificado como hemorrágico ou isquêmico” (CID, 1998, p.103), acompanhado ainda de uma “Paraplegia não especificada-

G.82.2” (ibidem, p.84), e também a “Visão subnormal de ambos os olhos- H54.2” (ibidem, p.98).

Entretanto, conforme assinalamos no Capítulo 2, se utilizarmos a “**Classificação Internacional da Funcionalidade**”, esta pessoa estaria na seguinte condição:

Funções do corpo: comprometimento da “Função tátil” (b265) onde inclui as “funções sensoriais que permitem sentir superfícies e sua textura ou qualidade. Inclui: funções tácteis, sensação tátil; deficiências, tais como, entorpecimento, anestesia, formigueliro, parestesia e hiperestesia (ibidem, p.65).” “Funções da Visão” (b210), “Funções da acuidade visual” (b2100), que se refere a “funções visuais que permitem sentir a forma e o contorno, tanto binocular como monocular, para a visão ao longe e ao perto” (ibidem, p.61), e outras condições como as “Funções do campo visual” (b2101) e as “Qualidade da visão” (b2102).

Estruturas do corpo: Estrutura do globo ocular (s220); Estruturas relacionadas com a voz e a fala, especificadas (s398); Estrutura da mão, outra especificada (s7308); Estruturas relacionadas com o movimento, outras especificadas (s798);

- **Fatores ambientais:** uma limitação em relação a “Utilização de movimentos finos da mão” (código d440), que inclui Pegar (código d4400), Agarrar (d4401), Manipular (d4402) e soltar (d4403); comprometimento grave em “Escrever mensagens (d345); dificuldade moderada na “Conversação (d350); em relação a item Mobilidade, aquela pessoa possui uma dificuldade grave em “Mudar a posição básica do corpo (d410)”, que é “adotar e sair de uma posição corporal e mover-se de um local para outro, como por exemplo, levantar-se de uma cadeira para se deitar na cama, e adoptar e sair de posições de ajoelhado ou agachado” (OMS, 2004, p.124).

Uma característica marcante deste sujeito está em sua facilidade na realização de cálculos mentais sem a necessidade do registro escrito (já que não consegue escrever). A fala também é comprometida. Este sujeito de pesquisa frequenta o Ensino Médio no período noturno, na modalidade ‘EJA’, Educação de Jovens e Adultos. As aulas na Sala de Recursos são realizadas durante o dia, uma vez por semana. Para a coleta de dados, foi utilizado o espaço desta Sala de Recursos, bem

como o espaço físico de uma associação de deficientes físicos frequentado pelo sujeito da pesquisa, em razão da facilidade de acessibilidade e horário desta pessoa.

- **Sujeito Mariana** - Uma mulher com 18 anos. Teve câncer nos olhos aos 2 anos de idade e foi submetida a radioterapia que, segundo atestado médico recente, teria comprometido a área cognitiva⁵² (*sic*). Contudo, por toda sua história da doença, principalmente em função dos tratamentos médicos a que esteve frequentemente submetida ao longo dos anos, foi interpretada até o ano de 2011 como sendo pessoa com considerável limitação cognitiva (inclusive avaliada pela então professora da Sala de Recursos – anterior ao ano de 2012 - como possuindo moderada deficiência intelectual). Contudo, após a presença a partir do ano de 2012 de outra profissional na Sala de Recursos, este sujeito apresentou notável desenvolvimento e aprendizagem, inclusive da leitura e escrita em Braille que, até o ano de 2011, era bastante deficitária. Nota-se que tal pessoa possui um repertório ou vocabulário acadêmico extremamente limitado em relação aos conceitos científicos mais simples. Entretanto, é notável a comunicação verbal deste sujeito, bem como seu interesse e consciência de seu estado de deficiência e de sua vontade e disponibilidade em aprender. Em relação a sua mobilidade física, consegue se locomover com autonomia no ambiente escolar. Este sujeito estuda numa escola estadual com Sala de Recursos. Para a coleta de dados com este sujeito de pesquisa, o processo ocorreu de forma compartilhada, no horário das aulas da sala convencional e também fora do horário das aulas convencionais (em que o sujeito agendava atendimento com a professora da Sala de Recursos). A questão de se utilizar o horário das aulas convencionais para a coleta de dados não interferiu no andamento das aulas que aconteciam concomitantemente, e se deu em função da necessidade de se trabalhar conteúdos complementares com a aluna, conforme

⁵² No atestado médico em questão não consta qualquer referência de sua condição em relação ao Código Internacional de Doenças, muito menos para o CIF (Classificação Internacional da Funcionalidade).

explicaremos na sequência, não tendo isto comprometido seu desempenho naquelas aulas. Além disto, mesmo que isto não tivesse se constituído no objetivo da pesquisa, tal ação contribuiu para a compreensão e participação do sujeito da pesquisa durante as aulas de Física na sala com seu professor.

5.3 Descrição detalhada do *corpora*

5.3.1 Corpus 1 – Situações didáticas

Materiais e métodos

Materiais:

- Kit de robótica LEGO Mindstorms NXT 2.0: consta de um kit de robótica com peças LEGO de plástico, acompanhadas de uma unidade central de processamento (CPU) que permite o controle de dispositivos acoplados via entrada serial, na forma de sensores (ultrassom, toque, e sensor infravermelho) e acionadores (três servomotores)

Métodos:

- Registro em áudio e vídeo de todas situações didáticas;
- Utilização de estratégias multissensoriais

As situações didáticas foram divididas em duas etapas. A primeira etapa ocorreu nos meses de março e abril de 2012 (situações 1 à 5). O foco desta etapa foi o desenvolvimento de estratégias que funcionassem como um preâmbulo, ou uma preparação para o processo de conceitualização. Isto envolveria o uso da multissensorialidade (estimulação multimodal através da associação entre o elemento verbal/conceitual – estimulação auditiva -, e a estimulação tátil (tátil-auditiva interdependente, significados vinculados às

representações visuais, significados vinculados às representações não-visuais, respectivamente). Esta etapa constitui material de análise para elaboração da etapa posterior.

A segunda etapa ocorreu nos meses de novembro e dezembro de 2012 (situações 6 a 11) com base nas atividades didáticas ocorridas durante a primeira etapa. Aconteceu após a realização do trabalho de co-orientação junto ao professor Gérard Vergnaud na Université Paris 8, em colaboração com a professora Sandra Bruno (Université Cergy-Pontoise). Para esta etapa, conceitos da teoria de Jean Piaget (Epistemologia Genética e Psicologia do Desenvolvimento), de Gérard Vergnaud (Teoria dos Campos Conceituais) e da abordagem sobre uso de Metáforas e Analogias (Sandra Bruno) foram valorizadas.

Os objetivos desta etapa foram:

1º: Tendo como base as situações didáticas e respectivos invariantes operatórios trabalhados na primeira etapa, procurar desenvolver atividades didáticas buscando maior nível de autonomia e de estratégias metacognitivas em relação ao sujeito da pesquisa:

- a) Utilização da Lógica: trabalho com seriação e classificação numérica, etc.;
- b) Desenvolver o mecanismo de 'incorporação', através de estratégias de repetição de movimentos corporais;
- c) Utilização de analogias, metáforas e transferências de aprendizagens (transposições didáticas);
- d) Formalismos (representação): propiciar a expressão de um grau de formalismo conceitual, talvez ainda não como uma finalidade, mas como um instrumento, principalmente através da escritura em Braille, utilizada como meio de comunicação e representação do conhecimento;
- e) Metacognição: discutir com o sujeito questões a respeito do que é um conhecimento, o que ela aprende, como sabe que está aprendendo, etc.

O quadro abaixo explicita as respectivas situações didáticas, objetivos, campo conceitual, ações de aprendizagem e dificuldades conceituais do sujeito de pesquisa Mariana.

Quadro 12 – Situações didáticas (aulas de Física) aplicadas na pesquisa.

Data Assunto	Objetivos	Campo Conceitual
<p>20/03 Levantamento das Concepções prévias</p> <p>Situação didática 0</p> <p><u>- Trabalhado conceitos: força, peso</u></p> <p><u>- Representação do comportamento de um fenômeno através de um gráfico</u> (aula 1)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Investigar o que a aluna conhece sobre Física (1º. Ensino Médio) 2. Iniciar o trabalho de aquisição conceitual a partir da constatação sobre a condição do repertório conceitual da estudante 3. Representar graficamente os comportamentos de 'crescimento', 'decréscimo' e 'constância' através de um gráfico 	<p>Força Peso Massa Plano inclinado Força de atrito</p>
<p>25/03 Situação didática 0 (aula 2)</p> <p><u>Conhecendo o material multissensorial: KIT LEGO MINDSTORMS</u></p>	<p>Percepção tátil de algumas peças do KIT LEGO MINDSTORMS e suas possíveis funções</p>	
<p>03/04 Situação didática 1 (aula 1)</p> <p><u>Máquinas Simples - Alavanca</u></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1- Conhecer e diferenciar massa de força; 2 - Conhecer o funcionamento de uma alavanca; 3 - Introduzir intuitivamente o conceito de Torque 4 - Perceber que nos três tipos de máquinas simples (alavanca, sarrilho e balança) o conceito de torque é o mesmo 	<p>Massa, Força, Alavanca</p>
03/04	Trabalhar o conceito de	Força

<p>Situação didática 1 (aula2)</p> <p><u>Máquinas simples - Balança</u></p>	<p>Força, através dos conceitos de Força Potente/braço potente, Força Resistente/Braço Resistente</p>	<p>Braço de alavanca Condição de equilíbrio</p>
<p>05/04</p> <p>Situação didática 01 (aula 3)</p> <p><u>Máquinas simples</u></p> <p><u>Representação das Forças/Braços potente e resistente</u></p>	<p><u>Fixação dos conceitos (memória de curto prazo ou memória de trabalho?)</u> fazer com que a aluna represente a Força Potente/Braço de potência e Força Resistente/Braço de Resistência através do Braille</p>	<p>Força Braço de alavanca</p>
<p>11/04</p> <p>Situação didática 2 (aula 1)</p> <p><u>Torque</u> <u>Momento da Força</u></p> <p>(biônica/biomecânica: mão, boca)</p>	<p>Transpor o conceito de Força/braço-potente/resistente aprendido nas aulas anteriores, para o conceito equivalente de Torque ou Momento da Força</p>	<p>Torque Momento da Força Condição de equilíbrio</p>
<p>13/04</p> <p>Situação didática 2 (aula 2)</p> <p><u>Torque</u> <u>Momento da força</u></p> <p>Representação através da escrita Braille</p>	<p><u>Fixação dos conceitos:</u> de Torque, Momento da Força, Intensidade, Braço da Força</p>	
<p>17/04</p> <p>Situação didática 3</p> <p><u>Espaço – introdução do conceito de velocidade</u></p>	<p><u>Trabalhar a noção de espaço através da fita métrica – conhecendo o sistema de medida</u> <u>Utilizar sistema de contagem</u></p>	
<p>24/04</p> <p>Situação didática 4</p> <p><u>Movimentando o robô com a interface</u> (aula 1)</p>	<p>1- Avaliar a viabilidade de controle do robô através da Interface cérebro-computador para movimentar o carro pela sala 2- Utilizar o controle do robô através da interface para acionar os motores em direções contrárias (sentido horário e anti-horário) trabalhado com a percepção tátil</p>	<p>Velocidade Força de atrito Torque (momento da força) [indiretamente]</p>

24/04 Situação didática 4 (aula 2) <u>Velocidade</u>	Aplicar o conceito de espaço trabalhado anteriormente para trabalhar a noção de velocidade utilizando o robô LEGO	Espaço Tempo Velocidade
25/04 Situação didática complementar 1 <u>Representando como Braille – frases/palavras</u>	1- Observar como a aluna consegue ler frases em Braille 2- Idem para palavras com o Braille – ambos com o registro do EEG/ritmos	Leitura de frases e palavras
25/04 Situação didática complementar 2 <u>Leitura Sorobã/ fita métrica/números</u>	1- Observar como a aluna utiliza e emprega o Sorobã para ler os números – registro do EEG/ritmos 2- Observar como lê a fita métrica – registro do EEG/ritmos 3- Observar como a aluna enuncia números contando de 1 em 1, depois de 10 em 10 até 100 – registro do EEG/ritmos	Leitura de números em diferentes contextos concretos (SOROBÃ, fita métrica, enunciaçãomental)
Assunto	Objetivos	Campo Conceitual
01/11 Situação didática 5 <u>Noção de conservação de quantidade, massa e volume</u>	Avaliar a concepção da aluna sobre conservação da quantidade de matéria, da massa e do volume	Quantidade de matéria Massa Volume
21/11 Situação didática 6 <u>Equilíbrio de forças através do uso de alavanca</u>	Construção da autonomia conceitual: Fazer com que a aluna consiga por si própria manusear as alavancas para estudar o efeito da força	Força Braço de alavanca Condição de equilíbrio
21/11 Situação didática 7 (aula 1) <u>Equilíbrio de forças através do uso da balança</u>	Construção da autonomia conceitual: Fazer com que a aluna manuseie a balança para prever seu comportamento variando-se os braços de alavanca	Força Braço de alavanca Condição de equilíbrio
23/11	Ser capaz de efetuar	Medida de comprimento

Situação didática 7 (aula 2) <u>Medida das barras utilizadas na alavanca</u>	medidas diretas em objetos conhecidos	
26/11 Situação didática 8 (aula 1) <u>Máquinas simples – plano inclinado (com peças LEGO)</u>	Construção da autonomia conceitual: Conhecer o funcionamento de um plano inclinado através de suas propriedades	Força peso Força de atrito Ângulo de inclinação do plano
27/11 Situação didática 8 (aula 2) Máquinas simples – Plano inclinado (Utilizando objetos do cotidiano)	Construção da autonomia conceitual: Conhecer o funcionamento de um plano inclinado através de suas propriedades	Massa Força peso Equilíbrio Relação peso/inclinação/velocidade
Situação didática 8 (aula 3) <u>Máquinas simples - Plano inclinado</u> (Medindo e Representando o plano inclinado)	Medir e representar a máquina simples ‘plano inclinado’, utilizando um desenho.	Plano inclinado Altura Medida utilizando régua e transferidor
Situação didática 9 <u>Utilização da interface cérebro-computador para controle do robô LEGO</u>	Utilizar a interface cérebro-computador para controlar o robô	Força Torque Potência Velocidade Direção de rotação (horário/anti-horário)

Como podemos observar pelo Quadro 12, o ‘campo conceitual’ envolveu os seguintes conceitos: massa, força (força de atrito, força peso, força potente, força resistente), torque, espaço, tempo, velocidade. Todos estes conceitos deste campo conceitual são considerados ‘conceitos formais’, sendo que destes, todos aqueles diretamente relacionados com o conceito de força, são conceitos que descrevem relações entre sistemas, daí são chamados de ‘conceitos relacionais’. Possuem ainda propriedades como “reciprocidade, uniformidade, são grandezas vetoriais, não transferíveis e não conserváveis” (LEMEIGNAN; WEIL-BARAIS, 1993, p.52-66).

Por outro lado, as montagens didáticas que foram utilizadas, principalmente as máquinas simples (alavanca, balança, sarilho e plano inclinado) são conceitos categoriais, já que descrevem conjuntos de atributos, propriedades ou funções (ibidem, p.53).

Em termos da estrutura semântico-sensorial (CAMARGO, 2011), praticamente todos estes conceitos podem ser enquadrados nas categorias ‘significados indissociáveis de representações não-visuais’ ou então, ‘significados vinculados às representações não-visuais’.

Descrevemos na sequência cada uma das situações didáticas, documentando-as com as respectivas imagens dos materiais e ou da estratégia utilizada.

Primeira Etapa

Situação didática 01 – Máquinas simples

A máquina simples considerada para este trabalho foi a alavanca de primeira classe, ou interfixa, e como exemplos de aplicação a própria alavanca interfixa, a balança e o sarilho, sendo que que estes dois últimos tipos foram os elementos de desestabilização (elementos da fase de transferência). Embora todas as outras máquinas simples foram explicadas e mostradas na aula do pré-teste, que são: roldana, polia, roda, cunha, plano inclinado.

Antes de trabalhar com as alavancas, foi desenvolvida a noção de ‘treliça’, mostrando precisamente o papel do ‘ponto de apoio’ (essencial no conceito de alavanca) como maneira de dar estabilidade à estrutura quando uma força é aplicada.

Para isto, partiu-se de uma barra simples de peça LEGO (peças fabricadas em vários tamanhos), conforme mostrado na figura abaixo. Esta barra é fixada com outra barra (ou outras peças correspondentes) através de um pino que se encaixa em um dos orifícios da barra, conforme mostrado na Figura 23.

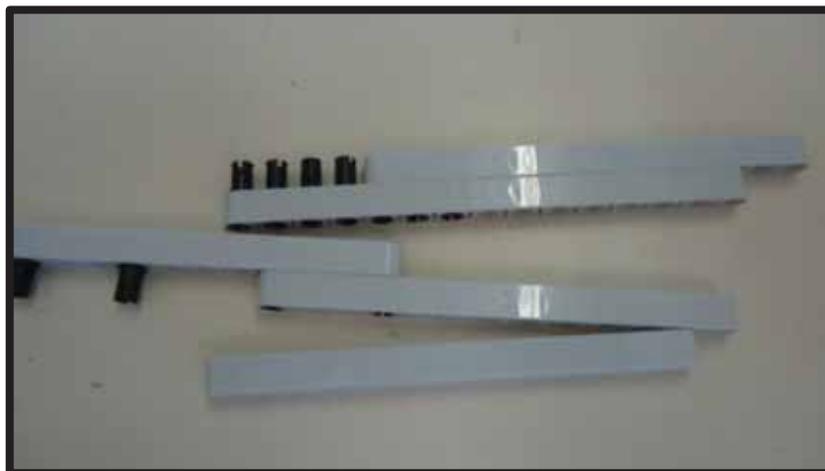


FIGURA 23 - Barras plásticas LEGO utilizadas para construção de objetos de aprendizagem (treliça, alavanca, balança, etc.) Detalhe para os pinos de cor preta utilizados para encaixe das barras.



FIGURA 24 - Treliça sem ponto de apoio

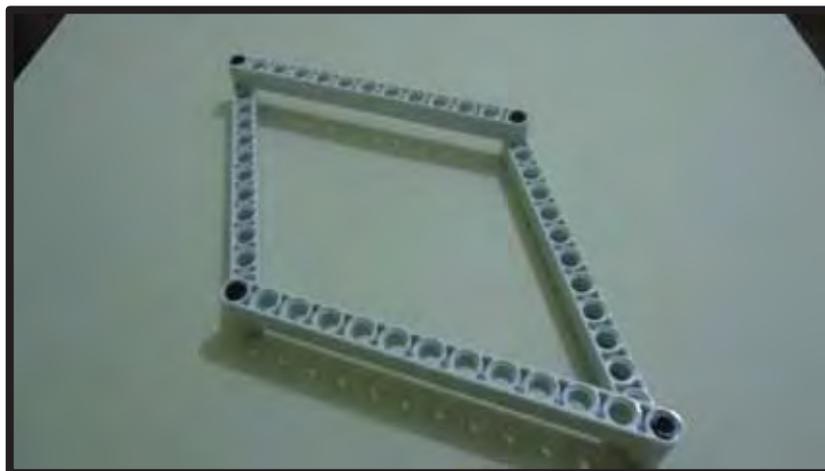


FIGURA 25 - Treliça sem ponto de apoio mostrando a instabilidade da estrutura quando aplicada uma força.



FIGURA 26 - Treliça com ponto de apoio, mostrando estabilidade da estrutura após aplicação de uma força.

Alavanca

O tipo de alavanca utilizada será a chamada 'alavanca interfixa', que é aquela que possui um ponto de apoio fixo (chamado também de fulcro). Conforme dito anteriormente, a peça LEGO foi utilizada para representar a alavanca, bem como o ponto de apoio sobre o qual a alavanca se apoiaria, conforme figura abaixo.

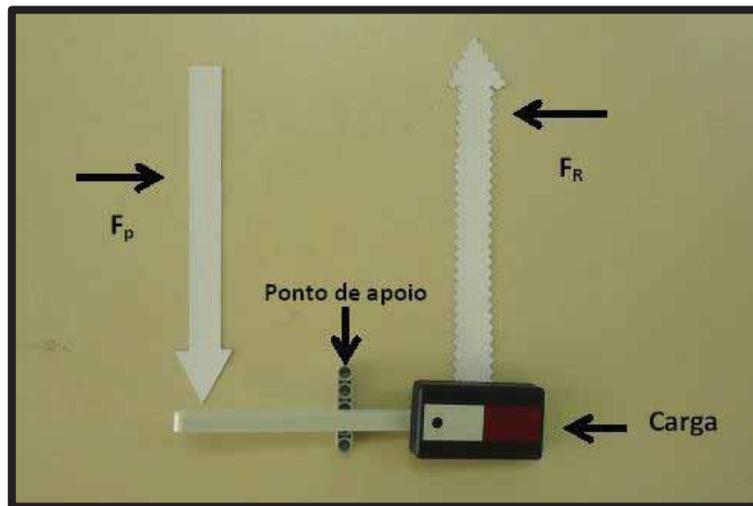


FIGURA 27 - Alavanca interfixa (peça LEGO horizontal com ponto de apoio vertical) com indicação das forças potente e resistente.

Para a alavanca interfixa temos a força potente F_p associada ao braço potente b_p , e a força resistente F_R associada ao braço de resistência de comprimento b_r aplicada a carga. A relação entre ambas será

Equação 1 – Relação entre o módulo das forças e respectivos braços para uma alavanca.

$$F_R \times b_r = F_p \times b_p$$

[Descrição da Equação 1: força resistente multiplica braço de resistência, é igual ao produto da força potente que multiplica o braço potente]

A Figura 27 indica a representação utilizada com os sujeitos da pesquisa, através de material tátil, onde as setas em alto relevo indicam as respectivas forças, e as peças do LEGO os respectivos braços, e uma peça foi colocada entre ambos os braços servindo como o ponto de apoio, e uma borracha apenas para representar a carga.

Balança

Esta balança também foi construída com as peças LEGO (barras plásticas). O detalhe é que a alavanca principal (braço da alavanca) foi montada inicialmente com o ponto de apoio de forma simétrica, localizada no 8º orifício ficando, assim, 7 orifícios livres de cada lado. Posteriormente, no decorrer do

desenvolvimento da situação didática, a posição do ponto de apoio foi modificada.

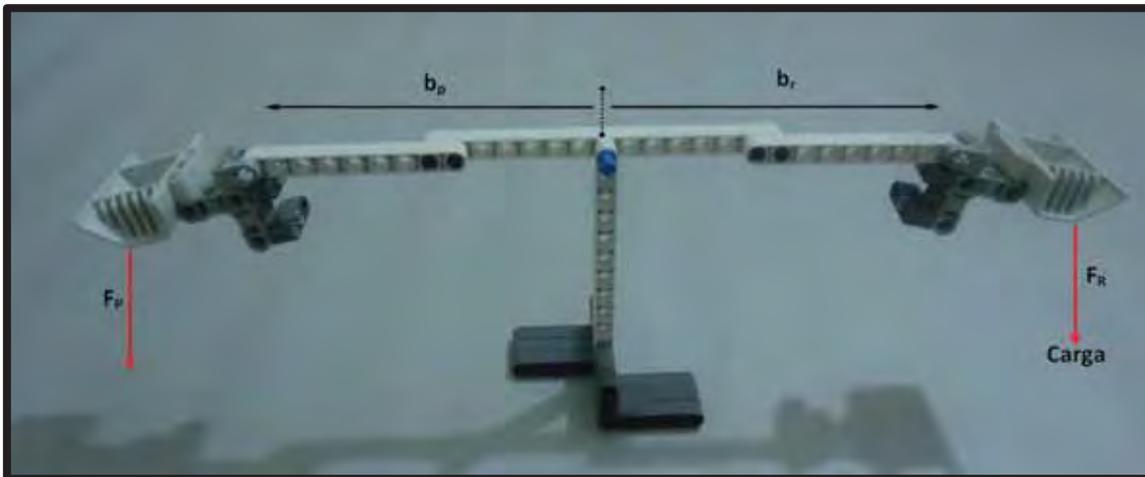


FIGURA 28 – Balança, com indicação das forças atuantes.

No caso da balança (alavanca interfixa) a relação entre a força resistente F_R proveniente da aplicação de uma carga, cujo braço de resistência possui o comprimento b_r , em relação a força potente F_p em função de seu respectivo braço de potência com comprimento b_p , nos dará a seguinte relação

Equação 2 – Relação entre força resistente, braço resistente, força potente e braço resistente para uma balança.

$$F_R \times b_r = F_p \times b_p$$

[descrição da Equação 2: o produto da força resistente multiplicado pelo braço de resistência é igual ao produto da força potente multiplicado pelo braço potente]

Assim, para um determinado comprimento de braço de potência, temos que a força de potência correspondente será

Equação 3 – Força potente

$$F_p = \frac{F_R \times b_r}{b_p}$$

[descrição da Equação 3: A força potente é igual ao produto da força resistente multiplicado pelo braço de resistência, ambos divididos pelo braço de potente]

Ou seja, quanto maior for o braço de potência, menor será a força de potência exercida para contrabalancear a carga respectiva da força de resistência.

Sarilho

A mesma ideia se aplica agora ao caso da sarilho.

Um cilindro de raio r (a qual se fixa o eixo de rotação) é conectado a uma manivela de raio r , e comprimento R , pelo qual é aplicado a potência P , que exercerá uma força de tração para movimentar uma resistência Q , na outra extremidade.

Equação 4 – Relação de forças para um sarilho.

$$P \times R = Q \times r$$

[descrição da Equação 4: o produto da potência P pelo comprimento R é igual a resistência Q multiplicada pelo raio r]



FIGURA 29 - Sarilho, com indicação da força Potente P, e do peso resistente Q.

Fica evidente que, quanto maior o tamanho da manivela (r), menor será a força a ser exercida para movimentar o peso resistente Q .

As analogias biônicas utilizadas para esta situação foram os braços, as pernas como sistema de alavanca.

Situação didática 02 - Torque

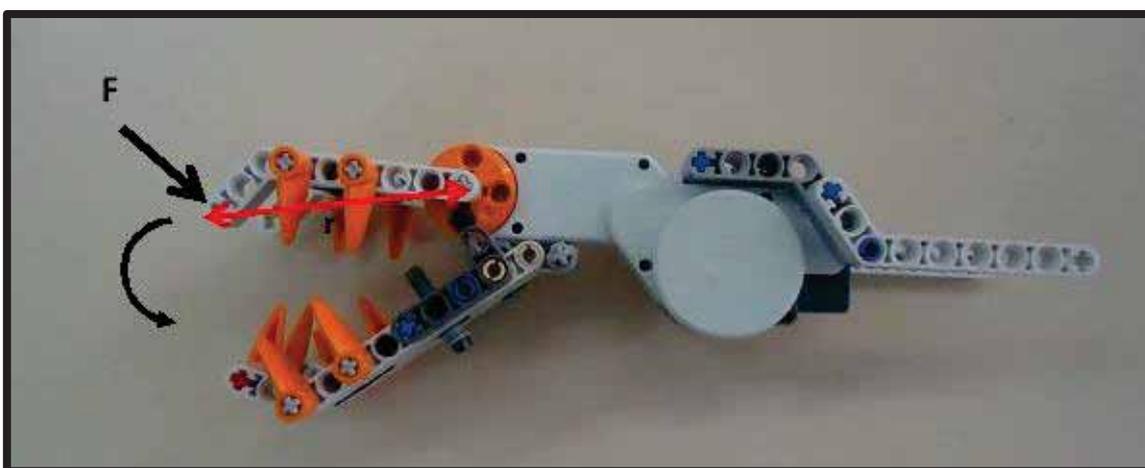


FIGURA 30 – Boca ou mão biônica, indicando a ação do Torque.

O torque T ou momento de força produz sempre uma rotação, por isto também se fala em momento de rotação. Caracteriza-se pelo produto da força F aplicada em um ponto e em relação até o eixo de rotação, caracterizando assim uma distância r . A relação então será:

Equação 5 – Relação do torque

$$\tau = r \times F \times \sin \theta$$

$\sin \theta$ é o seno do ângulo entre a força e o braço de alavanca r .

[descrição da Equação 5: o torque é o produto entre a distância r , a força F e seno do ângulo de aplicação da força]

As analogias biônicas realizada para esta situação didática com o torque foram a mão humana e a boca.

Situação didática 3 – Espaço e Velocidade

Por uma questão de objetivos, não falaremos em velocidade média e sim em velocidade instantânea V , simplesmente definida como a função da distância d e o tempo t , assim definida

Equação 6 – Velocidade instantânea de um corpo

$$V = \frac{d}{t}$$

[descrição da Equação 6: a velocidade instantânea é a relação entre a distância d e o tempo t]

Situação didática 4 – Controle do robô através da interface cérebro-computador

Esta situação seria o clímax de todas as situações didáticas anteriores, pois culminaria no controle do movimento do robô utilizando a interface cérebro-computador.

Para isto utilizou-se a montagem do robô LEGO MINDSTORMS que consistia de um jipe conforme mostrado na Figura 31. Esta montagem está descrita em detalhes pelo próprio fabricante, e possui grande vantagem em relação a outras montagens semelhantes, principalmente em função da pequena quantidade de processos necessários para sua execução.



FIGURA 31 – Montagem do robô (jipe) controlado através da interface cérebro-computador.

Esta situação didática foi dividida em duas partes.

Na Parte 1, o sujeito da pesquisa deveria controlar o jipe utilizando apenas o pensamento, através da interface cérebro-computador Emotiv Eloc. Para esta parte, não foi utilizada nenhuma tarefa envolvendo cálculo.

Nesta parte, o sujeito da pesquisa deveria acionar os motores do jipe em duas situações distintas:

- a) Controle da movimentação do jipe: para esta fase o sujeito controlaria os movimentos de ir para frente, direita, esquerda e para trás utilizando a interface cérebro-computador. O sujeito não teria qualquer noção sobre a posição do jipe durante esta ação.
- b) Controle dos movimentos do motor do jipe e respectiva percepção tátil: nesta tarefa o sujeito deveria efetuar o acionamento dos motores 'para frente' ou 'para trás', o que corresponderia ao sentido de rotação horário ou anti-horário, respectivamente. Concomitante a este acionamento dos motores, o sujeito perceberia com as mãos o sentido de rotação do mesmo.

Na Parte 2 a montagem do jipe foi utilizada para calcular a velocidade média. Para isto o funcionamento do jipe foi programado utilizando o software do LEGO MINDSTORMS 2.0. A velocidade era determinada a partir da escolha da potência de rotação dos motores (numa escala própria do software). No caso, escolhemos fixar o tempo de rotação dos motores que foi de 5 segundos.

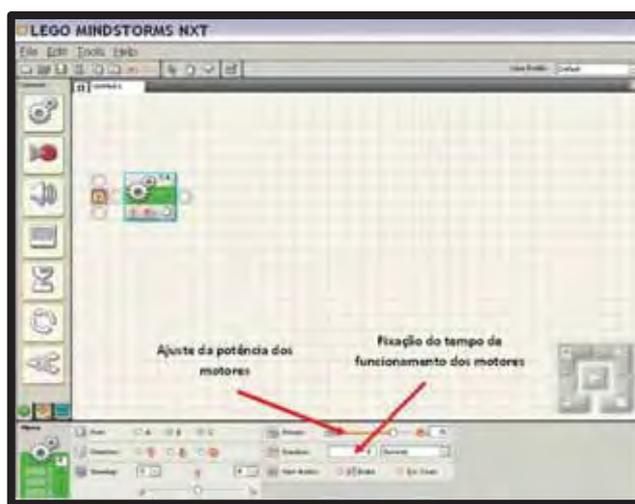


FIGURA 32 – Software do LEGO Mindstorms NXT 2.0 mostrando os ajustes da potência dos servomotores e tempo de funcionamento dos mesmos.

Segunda Etapa

Esta etapa ocorreu posteriormente ao estágio de pesquisa junto ao co-orientador, professor Dr. Gérard Vergnaud, na *Université Paris 8*, entre os meses de maio e setembro de 2012. Contamos, ainda, com a colaboração da Professora Dra. Sandra Bruno.

As situações didáticas que se seguem levam em consideração alguns pressupostos da abordagem piagetiana (Epistemologia Genética), conjuntamente com conceitos da Teoria dos Campos Conceituais e também abordagens sobre o uso de analogias, metáforas e imagens mentais trabalhados pela pesquisadora Dra. Sandra Bruno.

Conforme dissemos anteriormente, os objetivos desta etapa foram:

- a) **Utilização da Lógica (piagetiana):** trabalho com seriação e classificação numérica, etc.;
- b) **Desenvolver o mecanismo de ‘incorporação’:** através de estratégias de repetição de movimentos corporais;
- c) **Utilização de analogias, metáforas e imagens mentais:** utilizar estratégias para transferências de aprendizagens (transposições didáticas), construção de imagens mentais para a construção dos modelos físicos utilizados nas respectivas situações didáticas;
- d) **Formalismos (representação):** propiciar a expressão de um grau de formalismo conceitual, talvez ainda não como uma finalidade, mas como um instrumento, principalmente através da escritura em Braille, utilizada como meio de comunicação e representação do conhecimento;
- e) **Metacognição:** discutir com o sujeito questões a respeito do que é um conhecimento, o que ela aprende, como sabe que está aprendendo, etc.

Alguns destes objetivos já haviam sido muito bem apreciados durante a primeira etapa e foram, assim, reformulados, refinados e aprofundados nesta segunda etapa. Entretanto, objetivos como o trabalho com a lógica piagetiana, que enfatiza mecanismos de seriação, trabalho com sistemas de numeração, etc. foram abordados nesta etapa, porém sem um detalhamento e aprofundamento conceitual maior em razão de que as dificuldades da aluna no domínio conceitual matemática demandaria intensivo trabalho específico em vários conceitos direta ou indiretamente envolvidos como, por exemplo, as regras de associatividade, comutatividade, simetria, assimetria, e outras, como bem sugere Vergnaud (2009).

Situação didática 5

Conservação de matéria, massa e volume

Esta situação didática teve como objetivo dois aspectos importantes dentro da teoria piagetiana da Epistemologia Genética. O primeiro objetivo era verificar se o Sujeito de Pesquisa Mariana teria ou não um desenvolvimento cognitivo

equivalente a idade cronológica de 12/13 anos, conforme estudado por Piaget (1983).

Para isto, efetuaríamos um experimento que utiliza a ideia de conservação, mais propriamente **conservação de substância, massa e volume**, respectivamente.

O segundo ponto de análise era tentar utilizar esta atividade como uma preparação para a Situação Didática 8, já que ali trabalhar-se-ia com o Plano Inclinado. A ideia era tentar identificar como Mariana lidava com a noção de conservação.

Este mesmo experimento foi realizado através de uma interessante pesquisa desenvolvida por Nunes, Santos e Soares (2000), o qual nos baseamos para efetuar o mesmo procedimento descrito abaixo:

1- Entregava-se ao sujeito uma bolinha de massa de modelar e solicitava-se que essa confeccionasse outra bolinha semelhante, "igualmente grande, igualmente pesada".

2- Uma vez identificado como iguais as duas bolinhas, deformava-se uma delas - seja alongando-a em forma de salsicha ou quase de filamento, seja achatando-a como uma bolacha, ou ainda seccionando-a em fragmentos separados. Aí perguntava-se ao sujeito: "As duas bolinhas possuem ainda mesma quantidade de matéria? O mesmo peso? O mesmo volume?" Solicitava-se ao sujeito que justificasse sucessivamente, na medida do possível, cada uma de suas afirmações.

Foi utilizada massa de modelar para o experimento, conforme Figuras 33 a 35.



FIGURA 33 – Sujeito Mariana medindo altura e diâmetro de dois cilindros com mesma massa e volume (massa de modelar em formato cilíndrico).



FIGURA 34 - Alteração do volume por deformação (conservação da massa) – Perguntou-se: 'O peso é o mesmo?'



FIGURA 35 - Alteração do volume (peso/massa preservados). Perguntou-se: ‘o peso é o mesmo? E o volume?’

Situação didática 6

Equilíbrio de forças através do uso de alavanca

Esta situação didática possui a mesma configuração da Situação didática 1(alavanca), entretanto, aqui buscou-se aquilo que estamos chamando de ‘construção da autonomia semi-conceitual’ de Mariana.

Para isto, o desafio consistiu de:

1º: Relembrar o conceito de alavanca trabalhado há 7 meses;

2º: Construir uma alavanca através de várias barras, mas que fosse capaz de exercer uma força sobre determinado peso sem que a mesma se deformasse. Para isto, a solução seria encontrada fixando-se dois pinos mais ou menos próximos um do outro, já que se fosse utilizado apenas um pino as barras se soltariam logo que fosse exercida a força potente (em reação à força resistente). Uma vez utilizada duas barras como alavanca, outras tantas poderiam ser empregadas para ampliar o tamanho total da alavanca.

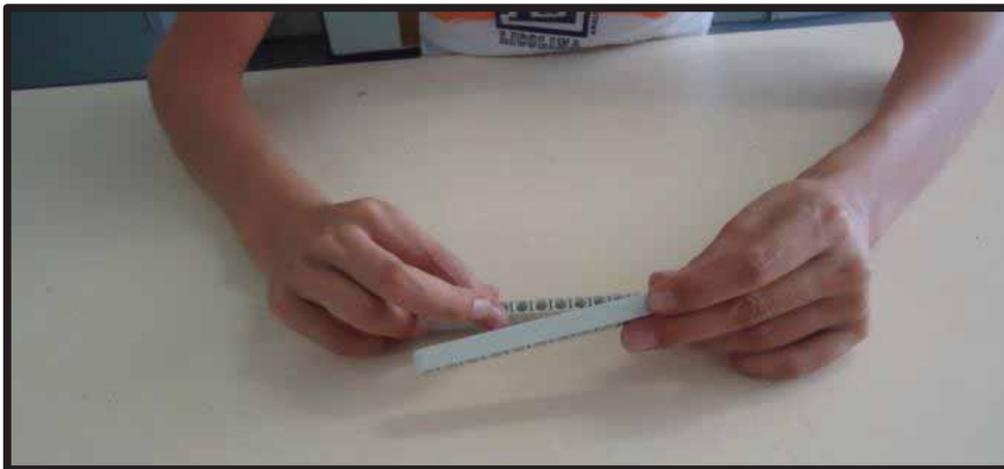


FIGURA 36 - Aluna Mariana efetuando montagem da alavanca.



FIGURA 37 - Montagem final da alavanca, utilizando-se 5 barras LEGO.

Situação didática 7 – Equilíbrio de forças através da balança

Nesta situação, semelhantemente à “Situação Didática 1 – máquinas simples, balança”, trabalhou-se com a montagem de uma balança com o objetivo de fazer com que o sujeito Mariana fosse capaz de variar o ponto de apoio da balança, percebendo com isto a consequente alteração no efeito do equilíbrio produzido. Para isto, bastava que a aluna mudasse o pino (na Figura 38, na cor azul) que faz a conexão entre o braço de alavanca e a haste de apoio.

Duas massas de modelar com pesos idênticos foram utilizadas nos pratos da balança. Com isto, solicitou-se a aluna prever o comportamento da balança, perguntando para qual lado ‘penderia’ a massa.



FIGURA 38 - Balança, mostrando estudo preliminar com aplicação de força através da própria mão da aluna.

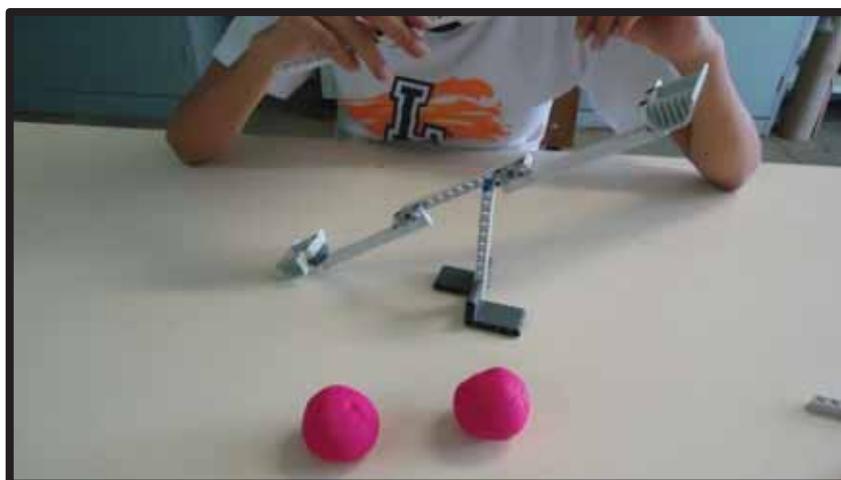


FIGURA 39 - Balança, indicando a utilização das massas (mesmo peso) para estudo do comportamento ao se variar o ponto de apoio (neste caso, deslocado para o lado esquerdo da aluna).

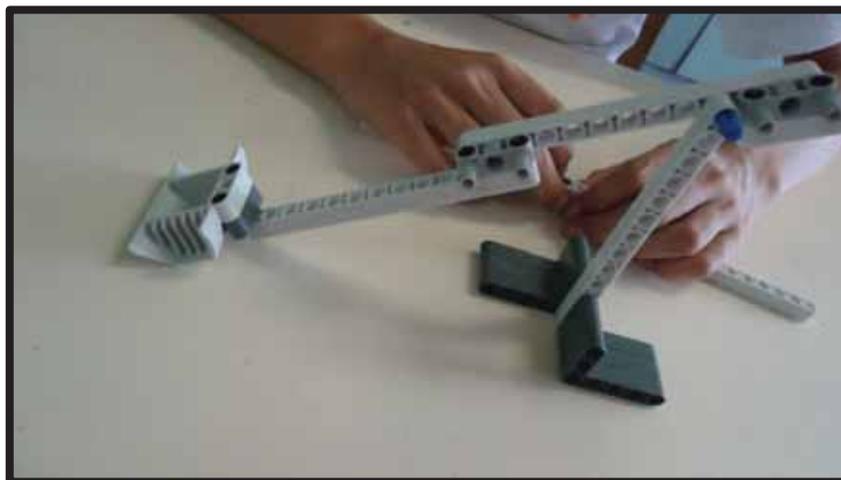


FIGURA 40 - Aluna trabalhando sobre a balança. Detalhe para o fato de que a aluna, neste ponto, já dominava o uso da ferramenta didática.

Situação didática 8 – Máquinas simples/plano inclinado

Esta atividade foi discutida com o professor Vergnaud e a professora Sandra Bruno durante o estágio de pesquisa. Para ambos, seria interessante que fosse explorado com maior autonomia o campo conceitual envolvido neste experimento e que, assim, pudesse ser percebido pelo pesquisador o esquema cognitivo, os possíveis invariantes operatórios e o sistema de representação que Mariana utilizaria nesta situação didática.

A ideia de utilizarmos um plano inclinado foi baseada num experimento piagetiano que consta do livro *“La formation de la notion de force”* (PIAGET, 1973, p.119-141). Neste experimento, os autores utilizaram um plano inclinado de 70 centímetros de comprimento, com 45° ângulo de inclinação. No experimento original é perguntado a criança como fazer para que a massa não deslize pelo plano e, em seguida, mostrar o porque. A questão subsequente é saber do aluno se é necessário mais força para segurar a massa, impedindo-a de descer pelo plano inclinado, ou então de empurrar a massa plano inclinado acima. Devemos notar, entretanto, que a faixa etária deste experimento foi realizada naquele artigo, com crianças de até aproximadamente 10 anos de idade.

No nosso caso, fizemos as mesmas questões para o sujeito Mariana.

Mas ainda mais do que isto, pretendíamos que esta situação didática tivesse uma relação conceitual (através do “Campo Conceitual”), com as situações didáticas relativas à temática “Máquinas Simples – alavanca e balança”. Assim, da mesma maneira que no caso da balança, interessava aqui avaliar como a aluna conseguiria lidar com a noção de “equilíbrio de forças”. A ideia era fazer com que o plano inclinado fosse utilizado para tentar manter em estado de equilíbrio (repouso) uma determinada massa que fosse colocada em sua parte anterior (parte de trás do plano). Esta estratégia heurística pretendia fazer com que fosse mantida uma coerência entre os conceitos trabalhados nas diversas situações didáticas, supondo, assim, que o aluno pudesse efetuar uma transposição de conceitos aprendidos. Tal recurso ou estratégia didática foi planejado para que estivesse de acordo com o conceito neurocognitivo de ressonância cognitiva (contrapondo a noção de dissonância cognitiva) e com o raciocínio conjuntivo (em contraposição ao raciocínio disjuntivo).

Da mesma maneira como foi realizado no ‘Levantamento das concepções prévias’, trabalhou-se o conceito de ‘força de atrito’ e sua relação com o comportamento do objeto sobre o plano inclinado.

Também foi solicitada a aluna que avaliasse qualitativamente através da percepção tátil a velocidade com que a massa deslizava sobre o plano. A ideia era correlacionar o aumento desta velocidade com o aumento da altura do plano (parte de trás do plano inclinado, medido a partir da base). Não foi feita qualquer referência ao conceito de ‘vetor’ (decomposição da ‘força peso’ nas direções vertical e horizontal).

Fez-se apelo aqui à estratégia didática e neurocognitiva de se trabalhar com a noção de ‘percepção/cognição incorporada’, já que o sujeito de pesquisa, supostamente, já havia ‘incorporado’ vários conceitos através da experiência tátil-sensorial das situações didáticas precedentes. Da mesma maneira, ao se enfatizar a estratégia háptico-cognitiva buscou-se a relação semântico-sensorial da linguagem, do tipo ‘significado indissociável de representações não-visuais’.

Foi preferido falar-se em altura do plano inclinado, ao invés de ângulo de inclinação, em função de que o sujeito Mariana não possui este conceito

formado. Nas Figuras 41 e 42 pode-se observar a montagem do plano inclinado, realizado com peças LEGO.

Esta mesma atividade foi desenvolvida num momento seguinte, mas com outros materiais cotidianamente utilizados pela aluna, como uma prancheta para desenho (Figura 92).



FIGURA 41 - Plano inclinado construído com peças LEGO encaixadas.

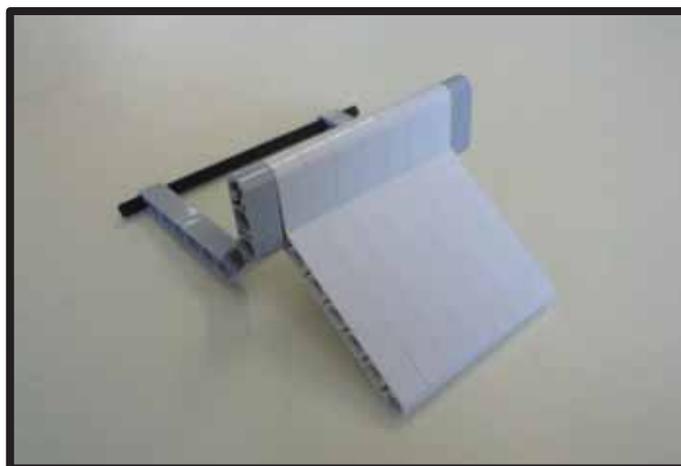


FIGURA 42 - Plano inclinado construído com peças LEGO. Detalhe para o apoio na parte anterior.

Situação didática 8 – Máquinas simples – plano inclinado - medições



FIGURA 43 - Régua e esquadro com marcação em alto relevo de centímetro em centímetro. A origem é marcada com três pontos.

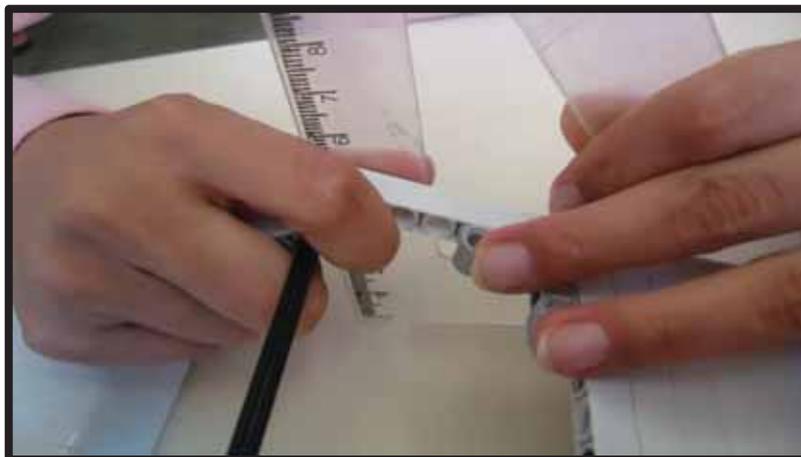


FIGURA 44 - Aluna medindo altura do plano inclinado em relação ao piso.



FIGURA 45 - Aluna medindo altura do plano inclinado em relação à base (segunda medida).

Esta atividade envolveu a noção de medida (através de uma régua com marcação de centímetro/centímetro em alto relevo, Figuras 43, 44 e 45) e a consequente representação esquemática de um plano inclinado através de um desenho.

A atividade envolvia os seguintes conceitos piagetianos:

1ª: Construção da noção de 'origem' das medidas: no caso, o lado esquerdo da régua/esquadro estava marcado com três pontos em alto relevo, indicando onde se iniciava as medidas (arbitrário) e que, a partir deste ponto, contava-se os demais números (de 1 em 1 centímetro).

2ª: A noção de transitividade (segundo Piaget).

Situação didática 9 – Utilização da interface cérebro-computador para controle do robô LEGO MINDSTORMS

Nesta situação didática a aluna deveria controlar a unidade robótica utilizando a interface cérebro-computador. Entretanto, por problemas técnicos que não pôde ser solucionado a tempo, não conseguimos fazer com que a ICC acionasse o robô.

Contudo, encontramos uma solução paralela, que foi utilizar o painel de controle dos movimentos do robô LEGO Mindstorms, acionado diretamente via o software do “NXT MindControl”. Esta é outra possibilidade emergencial desenvolvida em situações como estas. Neste caso, o acionamento dos respectivos movimentos para os lados direito, esquerda, para cima e para baixo, respectivamente, são realizados diretamente através do teclado.

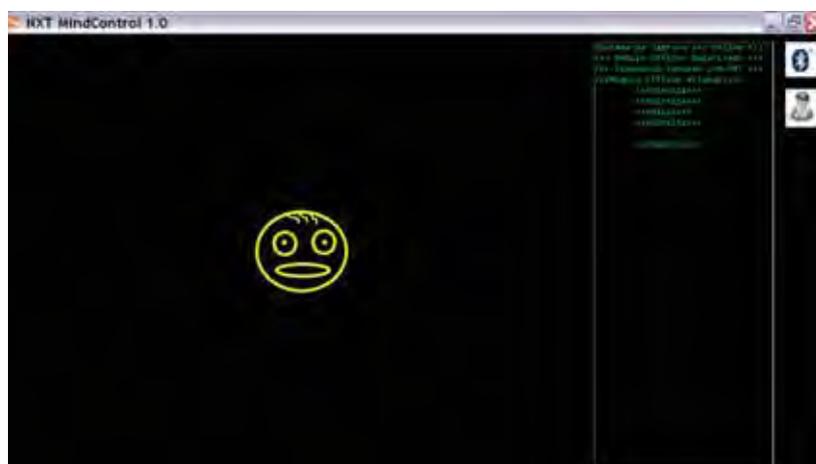


FIGURA 46 - Estado neutro do software NXT MindControl.

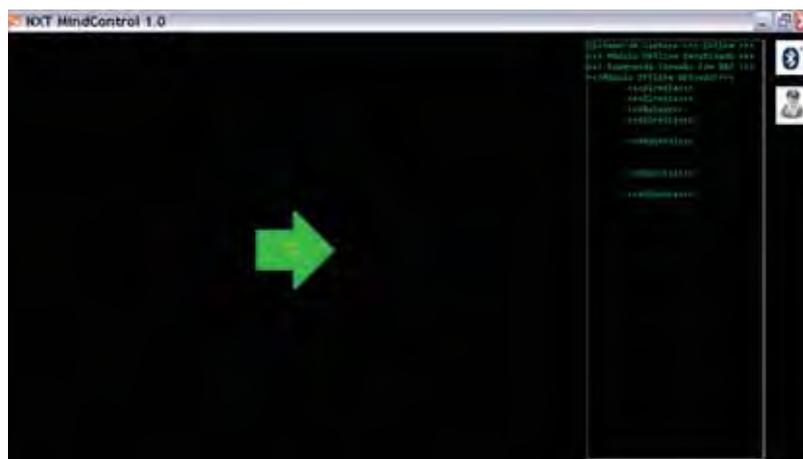


FIGURA 47 - Tela de controle do NXT MindControl indicando acionamento do robô para o lado direito.

Assim procedendo, o objetivo seria que o sujeito Mariana interagisse taticamente com os dispositivos, como rodas, pneus e engrenagens que seriam utilizadas nesta situação didática.

Desta maneira, seria possível que a aluna identificasse parâmetros físicos como: velocidade, força, potência e torque. Três montagens foram realizadas. A primeira envolveu o estudo do movimento da roda, com ou sem pneu. O que era possível avaliar nesta situação seria a rapidez e a força (torque) com que o movimento ocorreria.

Na segunda montagem, realizou-se um estudo sobre o comportamento físico de um sistema que foi acoplado dois motores interligados por uma correia dentada. A ideia era que a aluna percebesse o processo de transmissão de força de um motor para outro.

Numa terceira montagem estudou-se o efeito da rotação de engrenagens de tamanhos diferentes. O objetivo foi avaliar o comportamento de rotação das engrenagens, já que estavam fixadas sob o mesmo eixo. Duas perguntas foram feitas para Mariana. A primeira era qual das engrenagens se movia mais rapidamente (maior velocidade). E a outra questão era sobre qual 'dava mais voltas em torno do eixo'.

Nas três situações foi explorado ainda o conceito de sentido de rotação, horário e anti-horário, conceito este que a aluna já havia aprendido anteriormente com sua professora da Sala de Recursos, mas que durante a situação didática, teve que ser lembrado utilizando-se para isto de um relógio construído especialmente para tal aprendizagem.



FIGURA 48 - Unidade de processamento central do kit de robótica LEGO MINDSTORMS, conectado a dois servomotores, além de rodas, pneus, engrenagens e eixos.



FIGURA 49 - Servomotor conectado com uma roda através de um eixo.

Com esta situação didática encerramos a descrição dos materiais e métodos relativos ao **Corpus 1 – Didática**, passando agora ao **Corpus 2**, que se refere a Ergonomia Cognitiva.

5.3.2 Corpus 2 - Métodos da Ergonomia Cognitiva

Materiais

- Adaptação da Norma técnica ISO 9241.
- Adaptação da Norma técnica ABNT NBR 9241-11.

Métodos

Registro em áudio e vídeo de todos os eventos.

- Planilha com script de registro de parâmetros ‘usabilidade’, ‘navegação em espaços virtuais’ e ‘carga cognitiva’, respectivamente, com base nas normas acima mencionadas. As etapas ou sequencia para obtenção dos critérios de usabilidade são: Identificar o contexto de uso, Especificação do contexto de uso, Selecionar critérios e medidas de usabilidade, Especificação de usabilidade, Avaliação de usabilidade, Relatório de conformidade ao critérios, Re-projeto e, finalmente, Melhoria.
- Aplicação da técnica da **“amostragem proposital”** (*purposive sampling*) através de observação de eventos significativos de registro.

5.3.3 Corpus 3 – Métodos neurocognitivos

Fase 1 - Operação, configuração e calibragem para uso da Interface cérebro-computador.

Esta fase consistiu inicialmente de todas as ações necessárias para que o pesquisador conhecesse o *modus operandi* de uma interface cérebro-computador (ICC) e, especificamente, o modelo “Emotiv Epoc”. Assim, isto envolvia sequencialmente as seguintes tarefas:

- a) Conhecimento sobre os parâmetros de funcionamento e operação da ICC. O conhecimento teórico e empírico foi obtido através da fase de

coleta de dados bibliográficos, bem como através da interação do autor desta tese com outros pesquisadores da área. Além disto, para o uso específico da interface Emotiv Epoc, tais conhecimentos foram posteriormente confrontados e complementados com parte⁵³ das orientações contidas no 'Protocolo ECOLIG';

- b) Teste de funcionamento da ICC: esta etapa exigiu em torno de 20 horas com o uso da interface, em todos os seus tipos de suítes (Expressiva, Emocional e Cognitiva). Embora o foco do trabalho fosse apenas sobre a suíte cognitiva. Também para esta etapa foram utilizadas as orientações do Protocolo ECOLIG, entretanto, outros procedimentos e rotinas próprias foram adotados, como: ajuste no controle da intensidade do sinal elétrico de calibragem na Suite Cognitiva durante a fase de treinamento e, posteriormente, no uso com o robô; utilização do elemento 'volição' proporcionado pelas flutuações do sinal elétrico da interface como estratégia para iniciar o treinamento cognitivo na direção indicada pela volição.
- c) Calibragem da ICC Emotiv Epoc: uma vez em funcionamento, era necessário que a interface fosse calibrada, ou melhor, dizendo, que soubéssemos quais os melhores níveis de ajuste para operação da interface, o que nem sempre estava relatado no Protocolo ECOLIG (o que será apresentado na parte referente aos dados da pesquisa). Depois de concluída esta última etapa é que seria iniciado o uso com os sujeitos da pesquisa, conforme relatado a seguir.

Fase 2 - Treino cognitivo com o sujeito da pesquisa

Procedimento

Lembrando que o objetivo do treino cognitivo era o controle do cubo virtual do painel de controle (*Control Panel*) da interface cérebro-computador, treino este que seria utilizado posteriormente para o acionamento do robô.

⁵³ Dizemos 'parte' porque nem todas as situações empíricas com as quais nos deparamos no decorrer da pesquisa estavam previstas no texto da tese de Miguel (2010), referente ao Protocolo ECOLIG.

O treino cognitivo ocorreu separadamente para os três sujeitos da pesquisa, sendo que os locais desta coleta de dados foram:

- Sujeito Mariana: Sala de Recursos de uma escola estadual do Estado de São Paulo: sala com vários equipamentos ligados durante a coleta dos dados, como computador, ventilador, lâmpadas, scanner, impressora. Destaca-se o elevado grau de ruído advindo de uma sala de aula adjacente a esta sala de recursos, bem como a alta temperatura da mesma (apesar de dois ventiladores de parede);
- Sujeito Paulo: Sala localizada numa instituição de assistência e residência de pessoas cegas em cidade do interior paulista. Esta sala era bem confortável, silenciosa e ventilada.
- Sujeito Patrícia: utilizamos dois locais diferentes. O primeiro foi outra escola que oferece atendimento a alunos com deficiência visual (também em Sala de Recursos). O local era bastante agradável e silencioso. Outro local utilizado com este sujeito foi uma sala localizada numa associação de atendimento a pessoas com deficiência física, lugar bastante agradável em termos de ruídos e ventilação.

Descrição do procedimento sobre o treino cognitivo

O treino consistiu em executar diversas seções com a finalidade de treinar o sujeito da pesquisa para o controle do robô utilizando-se a interface. Para isto era preciso que o sujeito da pesquisa imaginasse um objeto virtual que seria controlado através do software Emotiv Epoc (Control Panel). Entretanto, este software sempre utiliza a mesma imagem virtual, que é um cubo (figura abaixo).



FIGURA 50 - Cubo virtual do Painel de Controle do software da ICC Emotiv Epop.

Entretanto, a partir da fixação da imagem mental sobre qualquer objeto imaginado, a pessoa deveria imaginar que tal objeto se deslocava para uma direção previamente escolhida (direita, esquerda, para cima, para baixo). Outra possibilidade, conforme verificamos no decorrer da pesquisa, era de que a pessoa apenas tivesse uma intenção de movimentar o objeto para o lado escolhido, ainda que não fosse exatamente capaz de visualizá-lo (no sentido óptico ou no sentido apenas da imaginação mental).

Alguns usuários, contudo (como nós mesmos, na qualidade de pesquisador, na fase que antecedeu a coleta de dados com os sujeitos da pesquisa), utilizam-se do movimento motor com as mãos e ou braços para auxiliar nesta intencionalidade do movimento do objeto virtual, conforme mostrado na Figura 51.





FIGURA 51 - Usuários utilizam a movimentação de braços e mãos em *games* como estratégia de indução para o movimento do objeto virtual, utilizando a ICC Emotiv Epos.

Uma vez escolhida a direção, o sujeito deveria permanecer por 8 segundos imaginando o deslocamento do objeto naquela direção. Após isto, era dado um tempo de 30 segundos de descanso. Para esta fase, seguimos o protocolo semiótico ECOLIG indicado por Miguel (2010). Na Figura 52 mostramos exatamente o momento em que o sujeito Mariana consegue a movimentação do cubo virtual para o lado esquerdo. Observemos do lado esquerdo da tela do software uma escala graduada na cor verde, que indica quantitativamente a porcentagem de acerto na execução desta tarefa. Imediatamente, o software converte esta leitura em valor numérico que permanece armazenado, de acordo com cada usuário que utiliza o equipamento.



FIGURA 52 - Registro do momento em que Mariana consegue movimentar o cubo virtual para o lado esquerdo. Observa-se a barra vertical na cor verde indicando a intensidade do sinal.

Aproximadamente, eram executados 10 movimentos para cada lado. A escolha do objeto a ser imaginado era realizada pelo próprio sujeito da pesquisa, não havendo nenhuma interferência ou sugestão por parte do investigador neste

processo. Entretanto, após verificar alguma dificuldade na execução dos movimentos virtuais por parte do sujeito da pesquisa, o pesquisador sugeria ao sujeito mudar de objeto.

O “Control Panel” do software Emotiv Epoc sempre registra o treino cognitivo para a direção escolhida, convertendo o êxito na ação do movimento do cubo virtual em uma porcentagem numericamente registrada pelo programa (conforme descrito acima). O software permite também um ajuste da sensibilidade para cada movimento, bem como um ajuste da sensibilidade geral para a somatória (média) dos movimentos que estão sendo trabalhados. Convém dizer que este ajuste de sensibilidade, de início, não alterava absolutamente em nada o fato de que a pessoa não conseguia executar o movimento. Inclusive, se fosse aumentada a sensibilidade para determinada direção, conseqüentemente isto afetava a sensibilidade para as outras direções. Por esta razão, procurava-se sempre uma média no ajuste destas sensibilidades, procurando aumentar seu grau caso fosse percebida uma dificuldade ou até uma impossibilidade por parte do usuário em mais de 10 tentativas sem sucesso.



FIGURA 53 - Painel de Controle do software da ICC Emotiv Epoc, mostrando no detalhe a configuração dos respectivos lados treinados para a movimentação do cubo virtual.

Para a constituição dos dados desta pesquisa consideraremos suficiente apresentar aqui apenas o treino cognitivo desenvolvido com o sujeito Mariana, já que foi o que aquele que se diferenciou dos outros dois sujeitos, principalmente, como veremos, quando percebeu-se a necessidade de utilização de proceder a simulação do movimento dos braços e mãos

segurando um objeto, conforme veremos a seguir. Em média foram realizadas cinco seções de treino cognitivo, procurando-se seguir os procedimentos indicados no 'Protocolo Ecolig', com tempo médio total de 30 minutos por seção. Destacamos que para o sujeito Patrícia, a mesma conseguiu movimentar o cubo virtual em sua primeira tentativa, fato este inédito até então, inclusive comparado a outros usuários que utilizaram a interface cérebro-computador, e que não estão considerados por esta pesquisa.

Portanto, tratando especificamente do sujeito Mariana, descrevemos abaixo um dos treinos cognitivos (o último), já que foi o treino onde o sujeito efetivamente conseguiu efetuar o deslocamento do 'cubo virtual' do 'Control Panel' do software da interface cérebro-computador Emotiv Epoc. Este treinamento cognitivo foi realizado em quatro momentos:

1. Treinamento dos movimentos para os lados direito e esquerdo imaginando a imagem de um cavalo, escolhido pelo próprio sujeito (Figura 54).

Explicação: esta ação é necessária para que os neurônios específicos em relação a esta atividade motora possam ser recrutados e, posteriormente, a evocação mental da ação seja retomada através da ativação da memória.

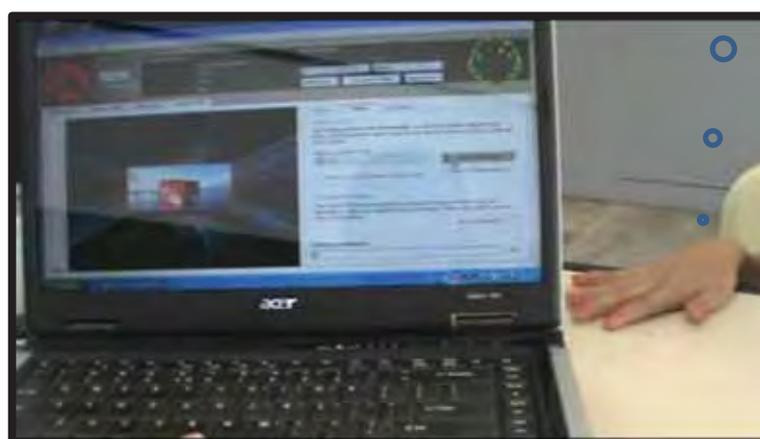


FIGURA 54 – Mariana imagina um cavalo mentalmente.

2. Depois, pensou na imagem do cavalo, lembrou o movimento para o lado direito feito antes, mas não executou o movimento (Figura 55).
Explicação: desta vez, da mesma maneira que anteriormente, o objetivo é ativar o mecanismo da memória sobre a ação motora realizada, mesmo que esta ação não seja executada.

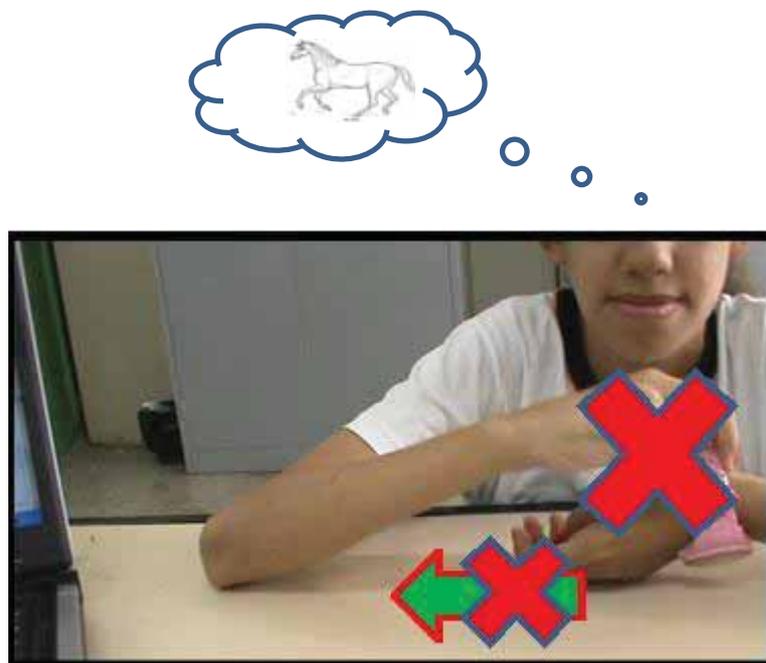


FIGURA 55 - Mariana imagina mentalmente o cavalo, mas não executa a movimentação da mão para o lado esquerdo.

3. Depois pensou na imagem do cavalo, pegou um objeto, e também movimentou a mão para o lado esquerdo. Ela repetiu este movimento aproximadamente 20 vezes (Figura 56).
Explicação: o objetivo deste treino foi reforçar a associação entre a memória do objeto e a ação motora.



FIGURA 56 – Mariana utiliza um objeto como referência tátil (uma borracha) e executa o movimento para o lado esquerdo.

4. Depois pegou um objeto que ela quis (um lápis), fez o movimento para o lado esquerdo e conseguiu mover o cubo (Figura 57).

Explicação: aqui, o pesquisador intui que provavelmente se o sujeito utilizasse um objeto mais familiar, poderia ter um êxito na ação de movimentação do cubo virtual, o que realmente se verificou.



FIGURA 57 – Agora Mariana utiliza outro objeto de referência (escolhido por ela mesma): um lápis.



FIGURA 58 - Ação do cubo virtual causado pelo parâmetro volitivo, que é o sinal elétrico residual que provavelmente permanece sendo lido e interpretado pelo próprio head-set da interface.

Na Figura 58 vemos quando o cubo se movimenta 'sozinho'. Na verdade, ela pensou antes neste movimento para a esquerda (alguns segundos antes). De fato, o software registrou isto e executou o movimento do cubo virtual.

Comentário: parece que o software registrou a intenção (volição) do movimento motor para o lado esquerdo, mesmo que naquele momento o software não estivesse sendo utilizado para esta ação. Esta mesma característica ocorreu também com os outros sujeitos da pesquisa, bem como durante o treino cognitivo que o autor executou antes desta fase de coleta de dados. Entretanto, este tipo de comportamento do equipamento não está relatado na tese de Miguel (2010), onde é definido o protocolo de utilização da interface Emotiv Eloc.

Convém destacar que os dados sobre cada usuário ficam arquivados diretamente no **'head-set'** da interface, e não nos arquivos instalados no computador. Assim, cada vez que o equipamento é utilizado, o software solicita a identificação do usuário. Provavelmente a opção por fazer com que estes dados fiquem armazenados no equipamento e não no computador seja em função de se evitar eventuais acidentes que apagassem tais dados da máquina. Também em função disto, poderia estar explicado a aparente incongruência entre a 'volição' apresentada quando o software não está

operando para controle dos movimentos do cubo virtual. Ou seja, neste estado, os dados elétricos provenientes dos potenciais evocados P300 que migram da interface para o escalpo e vice-versa continuam sendo registrados.

Fase 3 – Quase-experimento

Este quase-experimento tem como objetivo central completar parte da resposta do problema de pesquisa. Assim, terá como foco avaliar os efeitos neurocognitivos da multissensorialidade. Para isto, alguns parâmetros e ou variáveis poderão ser analisados: atenção, memória e cognição emocional. Durante o procedimento o sujeito de pesquisa permanece com o head set, ou seja, a interface cérebro-computador Emotiv Epoc.

Neste tipo de delineamento experimental, a amostra que corresponde ao grupo controle é obtida através do próprio sujeito na fase que chamamos de ‘antes’ (parte ‘Base’), que é o momento que antecede a aplicação do tratamento experimental. O tratamento experimental está descrito na parte 3 abaixo, que é o momento onde o sujeito de pesquisa desenvolve uma ação cognitivo-motora utilizando a percepção tátil.

O procedimento empírico experimental deste quase-experimento foi delineado com base na metodologia utilizada por Bonini-Rocha *et al.* (2008), dividida em quatro partes, a saber:

Procedimento “Antes”

1ª Parte – **Base**: o sujeito permanece em estado de relaxamento, olhos fechados, em silêncio, sem movimentação de membros (mãos, pernas). Esta parte tem duração aproximada de 3 minutos;

Procedimento “Depois”

2ª Parte – **Aquisição verbal**: o pesquisador explica oralmente um conteúdo de Física que foi trabalhado anteriormente, e o sujeito da pesquisa apenas ouve. A duração é de aproximadamente 5 minutos.

3ª Parte – **Aquisição multissensorial**: o sujeito de pesquisa mantém contato tátil com o objeto, seguindo orientação do pesquisador no sentido de perceber características e funcionalidades da ferramenta utilizada de acordo com a respectiva situação didática trabalhada (alavanca, sarilho, balança, plano inclinado, etc.). Eventualmente, o sujeito da pesquisa verbaliza sua compreensão sobre aquilo que está percebendo. Esta atividade tem um tempo médio de 15 minutos de duração.

4ª Parte – **Expressão do conhecimento**: nesta parte o sujeito de pesquisa expressa-se verbalmente, explicando oralmente aquilo que aprendeu, suas impressões, seus invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação). Aproximadamente esta parte durou em média 10 minutos.

Durante toda realização do experimento, foi utilizado os seguintes softwares para coleta dos dados relativos ao eletroencefalograma (EEG) e ritmos cerebrais, respectivamente: Testbench e Emotiv 3DBrain Activity Map, ambos fornecidos pela própria empresa fabricante da interface Emotiv Epoc. O Emotiv 3DBrain Activity Map possibilita que a apresentação dos diagramas funcionais elétricos da atividade rítmica sejam todos visualizados simultaneamente ou, se for conveniente, escolher apenas um dos ritmos e variar o ângulo de rotação da caixa craniana virtual, permitindo um estudo mais acurado de acordo com a necessidade (Figuras 59 e 60).

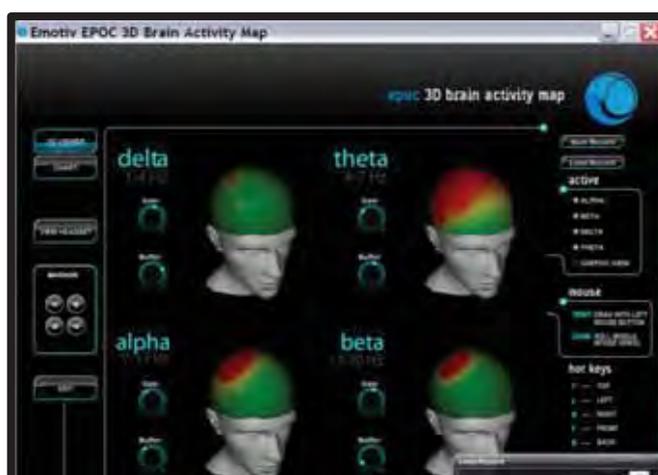


FIGURA 59 - Apresentação do mapa da atividade rítmica cerebral, indicando as quatro faixas alpha, beta, delta e theta.



FIGURA 60 – Apresentação de apenas um dos ritmos cerebrais (no caso, ondas alpha).

Os dados numéricos gravados digitalmente através destes softwares geram arquivos no formato EDF (*european data format*), e foram tratados através do software de análise de dados LabChart7 Reader, versão 7.3.4 (fabricado pela ADInstruments) e posteriormente aplicado tratamento estatístico utilizando-se o software Excel 2010. Para estes dados utilizamos o sinal elétrico convertido em **“Power attenuation”** em dB (decibel), aplicando a transformada de Fourier de tamanho de 1K, (Figura 61). Neste software é possível escolher quantos canais (ou eletrodos) estiverem disponíveis pelo equipamento que, no caso da interface Emotiv EPOC, é de 14 canais (Figura 61).

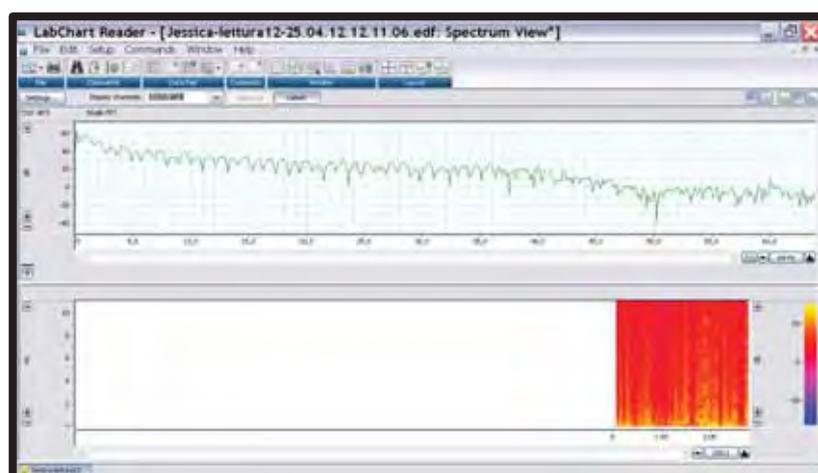


FIGURA 61 – Tela de visualização do espectro no software LabChart Reader, com dados numéricos providos dos softwares TestBench e Emotiv 3DBrain Activity Map.

Fase 4 – Dados neurocognitivos de tarefas cognitivas

Estes dados são específicos apenas para o sujeito Mariana, e registram a atividade do EEG e dos ritmos cerebrais nas seguintes tarefas cognitivas:

- Leitura de frases e textos em Braille;
- Percepção tátil de peças LEGO;
- Percepção tátil de uma régua em alto relevo (leitura de 10 em 10 centímetros, até 30 centímetros);
- Percepção tátil de uma fita métrica em alto relevo (leitura de 10 em 10 centímetros, até 100 centímetros);
- Verbalização de sequência numérica;
- Leitura de soroban.

O objetivo destes registros é analisar as variações produzidas pelo mesmo sujeito (estudo de caso e quase-experimento) em tarefas utilizadas e conhecidas pelo sujeito Mariana. Justificando também que o sujeito Priscila não conhece o Braille e o sujeito Paulo conhece Braille, mas não utiliza.

Outro motivo de realizarmos este experimento com Mariana foi também tentar avaliar algumas variáveis cognitivas deste sujeito, em função de procurarmos uma melhor compreensão sobre seu processo cognitivo geral, envolvendo a atenção, a memória, sua cognição emocional e o processo de conceitualização.

Tais dados neurocognitivos e sua interpretação mostrando a relação entre a cognição emocional e a aprendizagem do Ensino de Física foram apresentados recentemente no IX Encontro Brasileiro Internacional de Ciência Cognitiva (4 a 7 de dezembro de 2012), evento cuja temática central focou na questão da cognição, emoção e ação.

CAPÍTULO 6 – RESULTADOS E ANÁLISES

Apresentaremos os resultados respectivamente a cada um dos corpora de pesquisa, procurando fazer uma análise preliminar separadamente para cada um deles.

6.1 Corpus 1 – Didática

Para este corpus o conjunto dos dados deverá procurar contribuir para responder ao problema de pesquisa. Tal questão orbita em identificar as condições didáticas, ergonômicas e neurocognitivas pelas quais uma interface cérebro-computador pode ser considerada uma tecnologia assistiva dentro de um ambiente educacional para o Ensino de Física para pessoas com deficiência visual (também considerando a presença de pessoas sem algum tipo de deficiência).

No caso deste corpus didático, o foco foi uma abordagem cognitivista fundamentado na multissensorialidade (multimodalidade), em estratégias e materiais didáticos empregados nas situações didáticas (aulas de Física). Nestas aulas foi utilizada a robótica educacional que culminou no controle de um dispositivo robótico controlado pela interface cérebro-computador. Assim, nosso olhar sobre os dados deverá mostrar elementos que corroboram (ou não) se este conjunto de elementos contribuiu para aquilo que chamamos durante todo o trabalho de processo de ‘conceitualização’, segundo a acepção utilizada por Gérard Vergnaud em sua Teoria dos Campos Conceituais.

Portanto, num primeiro momento, os dados serão relativos aos seguintes elementos diretamente relacionados com o aspecto da psicologia do desenvolvimento que trazem como consequência a aplicação didática:

- Esquemas, invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação) e representações utilizados pelo sujeito de pesquisa durante as respectivas situações didáticas de Física. Estes elementos também estão diretamente relacionados com o aspecto semiótico.
- Fenômenos de ‘cognição incorporada’, ou ‘cognição situada’.
- Ocorrências, indícios ou fenômenos que sugiram ou indiquem otimização da aprendizagem.

Para que estes elementos psicológicos e didáticos estejam coerentemente configurados em relação ao material instrucional de robótica que foi utilizado (kit de robótica LEGO Mindstorms NXT 2.0), é necessário que especifiquemos as características deste material que relaciona e releva tais aspectos, na forma de algumas propriedades:

- Multimodularidade: o material didático permite uma variedade muito grande de possibilidades
- Exploração de conceitos físicos: massa, peso, força, comprimento, rotação, velocidade, torque.

Esquemas

Segundo Vergnaud (1990), utilizando uma herança conceitual piagetiana, são os ‘esquemas’ que constituem o aparato cognitivo para que o indivíduo siga em direção ao processo de conceitualização da realidade e da consequente representação do conhecimento.

Assim, tanto para o indivíduo vidente quanto para o deficiente visual, a aprendizagem da Física vai pressupor que a constituição dos ‘esquemas’ seja, no mínimo, composta por várias ações, procedimentos e tarefas que podem aparecer isolada ou concomitantemente, numa ordem sequencial ou não:

- Utilização dos sentidos associado a utilização dos gestos para compor a conceitualização do que está ocorrendo com o fenômeno.
- Dominar adequadamente o vocabulário (linguagem escrita e ou verbal) para expressar as ideias, conceitos e fenômenos.

- Os esquemas são constituídos a partir de algoritmos, scripts, modelos mentais, próprios e ou aprendidos, consciente ou inconscientemente empregados pelo indivíduo.
- Conhecer e saber utilizar recursos, ferramentas e estruturas matemáticas de acordo com a situação didática física para solucionar problemas.
- Inferir previsões sobre o mecanismo ou o funcionamento de fenômenos observáveis para, a partir disto, propor novas soluções.
- Incorporação: superposição do vocabulário + percepção multimodal + gestos

Sendo assim, apresentaremos a seguir os dados relativos a duas aulas (duração aproximada de 60 minutos cada) que mostrarão quais os 'esquemas' utilizados pelo sujeito Mariana durante as situações didáticas de Física. Assim, procedendo-se uma análise microgenética desta aula, obtivemos sete modalidades de esquemas.

Embora possamos imaginar que tenhamos nos precipitado em concluir que tais esquemas são, de fato, "**schémas**" segundo Vergnaud (ou Piaget), constatamos que, com maior ou menor frequência de ocorrência, estes esquemas serão recorrentes nas demais situações didáticas que foram aplicadas.

Em "Ergonomia cognitiva e mente incorporada", Bouyer encontra algo muito semelhante ao que descrevemos como sendo esquemas, mas utiliza o conceito de "habilidades atuacionistas" e "habilidades aparentes", respectivamente (BOUYER, 2008, p.172-173).

Também poderíamos tê-lo chamados simplesmente de "proto-esquemas", mas consideramos conveniente não usar este neologismo, preferindo, assim, permanecer com a noção original. Entretanto, observa-se sim um refinamento, uma reelaboração de tais esquemas, em direção ao processo de conceitualização.

Situação didática 1 – Máquinas Simples – Aula 1 - Alavanca

Situação didática 1 - Máquinas simples – Aula 2 - Balança

Objetivo principal

- Compreender a Terceira Lei de Newton através de uma alavanca e de uma balança

Objetivos derivados

- Associar, ampliar ou generalizar a compreensão sobre o funcionamento de uma alavanca simples para uma balança, em termos das forças atuantes (força potente e força resistente);
- Generalizar a compreensão sobre o equilíbrio de duas forças no caso da alavanca aplicando agora para a compreensão sobre a ação dos respectivos braços da balança (braço potente e braço resistente, respectivamente).

Abaixo descrevemos alguns extratos das situações didáticas. Indicamos a fala do Sujeito Mariana, e a fala do Pesquisador, respectivamente.

A convenção para identificação dos eventos será a seguinte. Antes de cada fala é indicado o nome do falante em negrito. Em seguida, a fala estará em itálico. Para esclarecer como ocorreu a ação, após cada fala, colocamos um comentário entre colchetes do tipo ***[...] em negrito, itálico e sublinhado***. O comentário e ou análise será feito logo após o término da fala ou do episódio. Estamos chamando de ‘**episódio**’ a um recorte durante a situação didática.

Esquema 1 - Gestor motor próprio: quando o sujeito realiza um gesto motor por sua própria iniciativa, para explicar uma ideia.

Episódio 1:

Ao tratar da ‘força potente, força resistente’, a aluna vai dizer:

Mariana: *Aí, resistente, braço resistente. [aluna conduz sua mão direita, agora para o lado onde é a força resistente na montagem da alavanca]*

Comentário: o procedimento de usar o tato e a exploração de outras possibilidades corporais como experiência sensorial será uma constante em todas situações didáticas desenvolvidas. Destacamos o fato de que esta estratégia se diferencia da estratégia que é utilizada pelo professor de Física da sala convencional que, no caso, limita-se em empregar apenas e tão somente a explicação oral. A estratégia de uso da percepção tátil vai sendo inicialmente indicada pelo pesquisador para Mariana que, por sua própria iniciativa sempre procederá desta mesma maneira toda vez que as situações didáticas se iniciem, buscando por objetos que eventualmente se encontrem ao seu alcance sobre o espaço da mesa utilizada para a aula. Na maioria das situações o pesquisador posiciona-se de frente para o sujeito Mariana, ocupando o lado oposto da mesa de trabalho.

Episódio 2:

Pesquisador – *Eu vou pegar esta balança. [pesquisador então pega a balança]. Está aqui, olha⁵⁴. [a aluna então sente com as mãos a balança]*

Lembra que ela tinha dois lados? O lado esquerdo e o lado direito.

Mariana - *O lado esquerdo. [aluna toca por sua própria iniciativa um dos pratos da balança, do seu lado esquerdo]*

Comentário: Observa-se que nesta ação a aluna já havia adquirido um tipo de compreensão conceitual sensorial de forma que seu gesto com a mão não necessitou absolutamente de qualquer intervenção por parte do professor. É importante destacar que a constituição de significado através da experiência sensorial vai migrando de uma simples ‘percepção tátil sensorial’ para uma espécie de compreensão ‘tátil-cognitiva’. Esta é uma fase que vai anteceder o processo de elaboração dos invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação), e necessitará e também dependerá de uma frequência (em termos de quantidade de ocorrências para o mesmo evento cognitivo, ou eventos

⁵⁴ Esta palavra ‘olha’ foi utilizada várias vezes pelo pesquisador durante as situações didáticas, e não se constituía em contradição, pois o pesquisador percebendo que isto poderia ser uma inconsistência comunicativa comentou tal fato tanto para a aluna quanto para a professora da Sala de Recursos. Porém ambas disseram que não havia qualquer problema em usar esta palavra porque elas também faziam o mesmo na comunicação durante as aulas.

similares) determinada para que tais invariantes estejam consolidados na estrutura cognitiva.

Gandara (1994) assinala que em atividades que envolvam a compreensão sobre a execução de determinada ação corporal pelo deficiente visual, é recomendável que o professor inicialmente repita a ação com a pessoa, e faça que o mesmo repita várias vezes o mesmo movimento.

Esquema 2 - Gesto motor orientado: quando o sujeito realiza um gesto motor que foi sugerido ou orientado diretamente pelo pesquisador.

Episódio:

[Pegou um objeto na mão apenas porque o professor fez esta solicitação]

Pesquisador – Lembra que eu mostrei a flechinha? [professor pega em sua mão a flecha lisa, e a posiciona com a ponta indicando para baixo].

Então, olha, a flechinha, a flechinha está aqui, olha, a flechinha para baixo, não é?

Mariana – É. [aluna toca por si só a flechinha lisa]

Comentário: neste caso, provavelmente a ação indutiva do professor fez com que o consequente gesto da aluna fosse realizado com maior dependência. Ou seja, embora a tarefa fosse aparentemente menos complexa até comparativamente aos exemplos da Categoria 1, a aluna agora nesta outra situação didática demonstraria um grau denotando uma pseudo-dependência. Isto é notável de assinalar, já que pode configurar um tipo de atitude por parte do professor que condiciona a atitude do aluno, podendo torna-lo em maior ou em menor grau dependente ou limitado àquilo que lhe é apresentado. Contudo, a necessidade de tal atitude foi devidamente planejada, exatamente porque o material que estava sendo apresentado ao sujeito (as duas flechas que representam a ação das respectivas forças potente e resistente) é conceitualmente uma novidade para a aluna, já que a mesma desconhecia tal conceito. Nesta mesma direção, Gandara (1994, p.44) considera absolutamente pertinente, conveniente e necessário que a utilização de gestos, movimentos e atitudes possibilita o surgimento de novas associações.

Assim, este tipo de mediação pedagógica também tem a função de auxiliar e constituir mecanismos de analogia na estrutura cognitiva do aluno (a flecha tem um análogo da 'força', ainda que não tenha sido tratado disto como sendo um vetor). Além disto, conforme diz Duval (2009), para que a compreensão de determinado conceito seja efetivo, seria necessário que, no mínimo, fosse utilizado dois tipos diferentes de representação (semiótica).

Do ponto de vista da estrutura semântico-sensorial da linguagem, ao ter introduzido as respectivas flechinhas para representarem as forças, trabalhou-se com um 'significado vinculado à representação não-visual', embora que se fosse utilizar apenas a explicação oral/verbal com um desenho (por exemplo, na lousa) das mesmas forças, estaríamos criando um signo com um 'significado vinculado à representação visual' o que, já que o aluno deficiente visual não estaria tendo o contato sensorial-cognitivo com esta representação pictórica. Portanto, o uso do recurso multissensorial da flecha tridimensional alterou substancialmente a natureza da estrutura semântico-sensorial da linguagem o que, para o deficiente visual, constitui-se em fundamental recurso para otimização de sua compreensão conceitual do fenômeno associado.

Esquema 3 - *Gesto motor metacognitivo*: o sujeito executa um gesto motor na tentativa de executar uma modificação ou uma correção em sua ação cognitivo-motora.

Vamos descrever o ocorrido, já que não houve diálogo durante a ocorrência deste tipo de esquema.

Durante um episódio onde o pesquisador mostrava para Mariana duas flechas que o mesmo havia confeccionado para demonstrar as forças potente e resistente, respectivamente, o pesquisador então vai explicando que a flecha lisa seria a representação da força potente, e a flecha com bordas serrilhadas representaria a força resistente. E mostra também a direção e o sentido de aplicação destas forças, sendo que os sentidos sempre eram opostos.

O pesquisador demonstra isto para Mariana várias vezes, e numa destas vezes Mariana vai executar a ação e posiciona uma das flechas em sentido oposto,

ao que, imediatamente e sem que o pesquisador tenha feito qualquer observação sobre isto, ela mesma muda o sentido da flecha sozinha.

Esquema 4 - Expressão emocional: quando o sujeito manifesta emoção de alegria reagindo a alguma ação do pesquisador.

Neste caso, há sempre uma manifestação não-verbal de Mariana, expressando-se através de um sorriso que é inquestionavelmente a revelação de um estado de aceitação, de contentamento, de recepção positiva daquilo que está sendo proposto pelo pesquisador. Esta é uma característica muito pessoal de cada indivíduo, que pode ser mais ou menos pronunciada em cada pessoa. Para Mariana, entretanto, a expressão facial-corporal (também envolve movimentação da cabeça, gestos realizados com mãos e braços, etc.) é uma forte característica de seus estados não apenas emocionais mas também de sua elaboração cognitiva. Gandara (1994) afirma que os deficientes visuais geralmente possuem padrões corporais recorrentes, como sensação de ser diferentes, medo, insegurança, tendência a maneirismos, restrição nos movimentos, atitudes estas que podem ser trabalhadas durante determinadas atividades didáticas como aquelas aqui apresentadas.

Episódio 1

Mariana – *Tudo isto é bom, né? Depois eu vou explicar para a minha mãe também, né? Mãe, isto aqui é uma alavanca... [aluna pega na mão a peça/alavanca, que estava do seu lado esquerdo], isto é mais pesado...isto aqui é leve...*

Pesquisador – *Exatamente...*

Mariana – *Isto daqui é grande, isto daqui é maior.*

Pesquisador – *Isto, maior ou menor, isto mesmo. Esta é a ideia do que vamos fazer hoje...*

Mariana – *Ah, legal **[expressão de contentamento/surpresa da aluna. Depois deixa peça LEGO sobre a mesa]***

Comentário: Mariana faz uma referência explícita e bastante significativa de demonstração social de sua possível aprendizagem para a figura de sua progenitora. Esta atitude também esteve presente em outros episódios no decorrer das situações didáticas, onde Mariana fez a mesma referência em relação a sua mãe ou em relação à professora da Sala de Recursos.

Episódio 2

Professor – Olha, então o que a gente vai fazer? Como eu falei para você, vamos supor que uma pessoa que quer estudar Física, ela quer entender o que você estudou. Ou seja: ela quer saber o que a Mariana aprendeu sobre este negócio de força potente e força resistente. Então, ela pode pegar uma fotografia, não é? E ver pela fotografia como você representou isto aqui, como você representou isto. Então, o que nós vamos fazer? Nós vamos pegar aqueles objetos que a gente usou, ou seja, as alavancas, e mostrar isto. Então, vamos fazer assim: **[professor posiciona uma alavanca única próximo da aluna, as duas flechas estão também próximas]** a alavanca aqui, aí do lado direito seu, ao invés de eu colocar o meu dedo eu vou colocar esta borrachinha para ‘fazer de conta’ que é meu dedo. **[o professor posiciona uma peça de borracha junto com a barra da alavanca]**

Mariana – Ahã...

Pesquisador – Entendeu? **[aluna manifesta expressão de sorriso ao perceber a montagem que o professor fez]**, esta borrachinha faz de conta que é meu dedo. E esta outra pecinha aqui, tá vendo? A gente vai colocar aqui do lado da borrachinha... olha, do lado, para ‘fazer de conta’ que é aquele dedo, olha... o que nós fizemos? Vou fazer de novo, olha. Vou colocar o meu dedo indicador... **[pesquisador coloca a alavanca e seu dedo médio em cima, fazendo a aluna sentir com o tato a alavanca grande/dupla posicionada sobre o seu dedo indicador]**

Comentário: aqui o pesquisador utiliza outra referência multissensorial semiótica ao empregar um objeto de borracha representando o dedo, o que causa uma espécie de surpresa agradável para a aluna. Na verdade, como dissemos, mesmo que as representações utilizadas até este momento foram

constituídas pelo pesquisador e não pelo aluno, é importante que eventualmente elas sejam substituídas ou acrescentadas, na medida que isto vai conformando alterações na **equilíbrio** (conceito de Piaget) em direção do processo de conceitualização (segundo Vergnaud), destacando uma vez mais a importância no uso de mais de um sistema representacional.

Esquema 5 - Fala autônoma: o sujeito diz alguma coisa própria e original (mesmo que tenha sido em função do que aprendeu na aula), não sendo mera repetição imediata e subsequente do que o professor acabou de dizer.

Episódio 1

Pesquisador- *Hoje nós vamos lembrar alguns conceitos que aprendemos ontem.*

Mariana – *Eu lembro...*

Pesquisador – *Nós vamos falar cada um destes conceitos de novo...*

Mariana – *Massa....*

Episódio 2

Mariana – *Tudo isto é bom, né? Depois eu vou explicar para a minha mãe também, né? Mãe, isto aqui é uma alavanca [aluna pega na mão a peça/alavanca, que estava do seu lado esquerdo], isto é mais pesado...isto aqui é leve...*

Pesquisador – *Exatamente...*

Mariana – *Isto daqui é grande, isto daqui é maior.*

Episódio 3

Mariana – *Ahã...[aluna sorri, talvez demonstrando algum contentamento em estar executando aquilo]. É pesado.*

Pesquisador – *É pesado. Então, Mariana, olha, esta força que você está fazendo com a mão esquerda, para baixo, a gente chama de ‘força potente’...*

Mariana - *Força potente.*

Pesquisador – *É força potente. E esta força que eu estou fazendo com meu dedo, de força resistente. Por que resistente?...*

Mariana - *Força potente e força resistente...*

Pesquisador – *Então, a força potente é que está fazendo potência...*

Mariana - *Tipo assim: tá levantando, quer dizer...*

Pesquisador – *Tá levantando...*

Mariana - *Tá fazendo força.*

Comentário: Aqui repetimos parte do mesmo episódio que já havíamos mostrado num episódio 1 para justificar o Esquema 4, para evidenciar o fenômeno analítico que Bardin (1977, p.145-146) definido por ‘co-ocorrência’, que é quando dois ou mais fenômenos podem ocorrer num mesmo episódio. Assim, no Episódio do 1 do Esquema 4 analisou-se a expressão de contentamento de Mariana, e agora estamos interessados na sua verbalização, efetuada na forma de uma explicação, explicação esta que foi dada espontaneamente, e não induzido por alguma pergunta realizada pelo pesquisador.

Vamos percebendo sempre atitudes que chamamos de ‘antecipação’, que é quando Mariana se adianta ao pesquisador para completar algum raciocínio. Conforme citado nos referenciais teóricos, Piaget considera que mecanismos de antecipação podem estar associados ao que ele chama de ‘fase pré-motora’ da inteligência.

Assim, é conveniente neste instante nos questionarmos se Mariana já incorpora um nível de operacionalização dos invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação), pelo menos no nível de uma memória de trabalho ou memória de curto prazo? É curioso que a resposta a esta pergunta vai se dar

rapidamente na medida que análise microgenética nos permite efetuar tais constatações na evolução do comportamento de Mariana.

Esquema 6 - Fala confirmatória: quando a fala, palavra ou frase do sujeito limita-se a ser uma repetição ou confirmação imediata daquilo que o pesquisador acabou de dizer.

Episódio 1

Pesquisador – *Isto, você está fazendo força para baixo ou para cima aqui?*
[professor toca com sua mão na mão da aluna para fazer a pergunta]

Mariana – *Para baixo.*

Pesquisador – *Para baixo, não é? Quando você faz a força para baixo o que acontece com a força resistente?*

Mariana – *Levanta.*

Pesquisador – *Levanta, ela vai para cima.*

Mariana – *É, ela vai para cima.*

Episódio 2

Pesquisador – *Isto, então, olha, na mão esquerda, como que é mesmo o nome desta força?*

Mariana – **É...[aluna hesita, batendo com a mão direita sobre a carteira, enquanto o professor tenta fazer com ela se lembre o nome da força]**

Pesquisador – *Força....po...*

Mariana – *Força potente.*

Comentário: A Teoria dos Campos Conceituais não detalha nem aprofunda (como o fez Vygotsky, por exemplo em “A construção do pensamento e da

Linguagem⁵⁵) a relação e a contribuição entre pensamento e linguagem na constituição do processo de conceitualização. Ao invés diz, Vergnaud generaliza isto através dos conceitos de ‘forma predicativa’ e ‘forma operatória’ de conceitualização. Assim, no episódio acima, ao expressar um tipo de fala repetitiva, mecânica, Mariana estaria manifestando uma competência do tipo ‘operatória’ (que são manifestamente implícitas). Se esta manifestação da inteligência evolui para formas de um raciocínio mais elaborado, então teríamos a competência ‘predicativa’, que é aquela que carrega conteúdos mais simbólicos que são normalmente compartilhados por determinado grupo social. E parece ter sido exatamente este o caso que ocorreu com Mariana, ao verificar-se os esquemas onde é mais evidente esta competência predicativa (Esquemas 1, 3 e 5, respectivamente). Em nosso caso, a análise microgenética revela que a constituição, a manifestação ou a expressão destes esquemas (envolvendo ora gestos, ora verbalizações) vão se conformando no complexo universo de manifestação dos invariantes operatórios pelo sujeito Mariana, ainda que tais invariantes possam não ter a devida consistência, robustez ou coerência do ponto de vista de conceitos e teoremas-em-ação científicos.

Esquema 7 - Fala quase-simultânea: o sujeito fala simultaneamente ao professor, normalmente repetindo o que este estava a dizer.

Episódio 1

Pesquisador– *Isto, então só para lembrar os conceitos. Depois você vai escrever estes conceitos em Braille. Então é o seguinte, os conceitos de Física são: massa...*

Mariana – *Massa...*

Pesquisador – *Peso...*

Mariana – *Peso...*

⁵⁵ Vygotskii, L. S., Lev Semenovich. A construção do pensamento e da linguagem : texto integral, traduzido do russo pensamento e linguagem /L.S. Vigotski ; tradução: Paulo Bezerra. São Paulo : Martins Fontes, 2009.

Episódio 2

Pesquisador – *A pessoa para ficar em cima das duas rodas, ela não tem que ter equilíbrio, para não cair?*

Mariana – *Ahã.*

Pesquisador – *Então, em equilíbrio também, não é? Um nenezinho que está aprendendo a andar, não é...*

Mariana - *Tá equilibrando.*

Pesquisador – *Tá equilibrando, ele cai, não consegue ficar em pé direito, as vezes ele cai, não é?*

Mariana – *É.*

Pesquisador – *Então ele perde o equilíbrio.*

Mariana – *Exato.*

Pesquisador – *Então, esta ideia de equilíbrio significa que quando você tem equilíbrio tem pelo menos duas forças que são iguais...*

Mariana – *Exato. É.*

Pesquisador – *Não é?*

Pesquisador – *Ahã.*

Estatística

Segundo Bardin (1977, p.140-146) podemos escolher determinados elementos e proceder uma análise de frequência, ou de frequência ponderada.

Na frequência analisa-se simplesmente a quantidade de ocorrências de determinado fenômeno dentro de um evento. Na frequência ponderada, cada elemento de análise possui um peso, que é determinado em função de algum critério avaliativo.

Para nosso caso, consideremos apenas os Esquemas 5 e 6, por considerá-los mais evidentes em vista da constituição, expressão e representação verbal dos invariantes operatórios, embora o conjunto dos eventos que resultaram nos esquemas com gestos, Esquema 1 – Gesto motor próprio, e Esquema 3 – Gesto metacognitivo talvez tivessem praticamente um peso de ponderação muito semelhante. Procedemos uma simples análise de frequência.

Apenas como exemplo, para estas situações didáticas analisadas uma estatística simples comparativa mostra 107 ocorrências para o **Esquema 5 (Fala autônoma)**, contra 33 ocorrências do **Esquema 6 (Fala confirmatória)**.

Comentário: este conjunto de ‘esquemas’ são, na verdade, pré-constituíntes do processo de conceitualização.

De acordo com a Teoria dos Campos Conceituais, talvez não fossem ainda esquemas, no sentido que Vergnaud atribui, já que para o psicólogo francês os ‘*schemas*’ são elaborações estruturais que instrumentalizam o sujeito a operar na realidade, principalmente em relação às competências predicativas. Além disto, Vergnaud faz questão de destacar que o conceito de ‘*schemas*’ na língua francesa é muito mais abrangente em comparação com a mesma palavra na língua portuguesa.

Os esquemas são elementos que formarão a base para que o indivíduo possa dirigir-se à conceitualização em termos dos invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação). Estes esquemas são constituídos por scripts, modelos mentais, algoritmos, etc. (MOREIRA, 2002), mas também por gestos os mais variados, como aqueles aqui mostrados e que revelam outros elementos cognitivos que normalmente não são tão valorizados quando se analisa os atributos ou mecanismos da inteligência que culminam (ou não) na conceitualização. E isto tudo somente foi mais evidenciado porque estamos lidando com pessoas com deficiência visual.

A importância dos gestos na conceitualização é tão importante que ao estudar como deficientes visuais conseguem se comunicar para se deslocarem por determinado espaço, Catherine Gouédard (2006) conclui que tais indivíduos desenvolvem uma ‘conceitualização por gestos’ (*conceptualisation pour*

gestes). A mesma autora, citando Culioli (ibidem, 2006, p.36, apud Culioli, 1990) conclui que “não é possível estudar determinados eventos de aquisição (cognitiva) separando-se a verbalização na ação de apontar, da mímica, etc.”. Assim, naquela mesma pesquisa com deficientes visuais, esta autora que aplicou com maior detalhe a Teoria dos Campos Conceituais, vai ampliar o conceito piagetiano de ‘tomada de consciência’ para o conceito de ‘tomada de consciência do corpo’ (*prise de conscience du corps*) (GOUÉDARD, 2006, p. 105). Destaca que para o deficiente visual a estruturação dos gestos através das mãos que utiliza para comunicar alguma coisa para alguém (no caso, duas pessoas cegas que se comunicavam) é algo que em algumas circunstâncias chega até a substituir a própria verbalização, tamanha chega ser o desenvolvimento da habilidade que, utilizando a nomenclatura de Vergnaud, estaríamos diante de uma competência predicativa.

Nesta análise microgenética realizada até agora tivemos a necessidade de mencionar como se dava a mediação do pesquisador (na condição de professor). Embora nosso foco não seja analisar esta ação mediativa, indicaremos a título ilustrativo, segundo Bardin (1977, p. 143-144) um indicador qualitativo de análise denominado ‘direção’. Através da direção podemos determinar determinado ‘perfil’ arbitrário que uma variável toma.

Assim, como exemplo, poderíamos indicar numa escala horizontal a direção que a interferência intencional da fala do pesquisador foi tomando de acordo com sua percepção sobre a maneira como o sujeito (Mariana) indicava maior domínio e autonomia gestual, verbal (sob várias formas, inclusive a argumentativa). Utilizando uma escala arbitrária variando de uma em uma unidade, indo de -3 para +3, sendo que o polo -3 representa a intensidade máxima de intervenção por parte do pesquisador (ou seja, menor expressão do sujeito de pesquisa), e o pólo +3 representa intensidade mínima de intervenção da parte do pesquisador (quer dizer, maior participação do sujeito de pesquisa), teríamos:

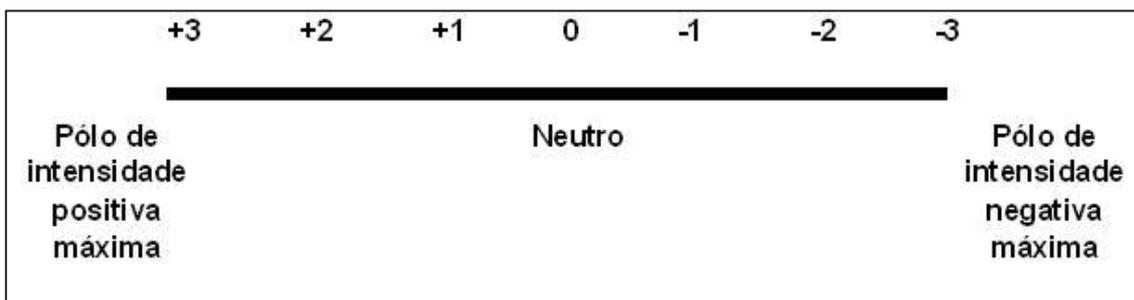


Gráfico 1 – Escala da 'direção' da interferência do pesquisador no decorrer das situações didáticas

Assim sendo, levando em consideração as Situações didáticas de 1 a 4, a partir desta escala mostrada no Gráfico 1, poderíamos caracterizar o perfil de expressão do sujeito Mariana, que foi obtido a partir da interpretação das ocorrências de intervenção do pesquisador, mostrando uma relação inversa entre ambas, conforme mostrado no Gráfico 2.

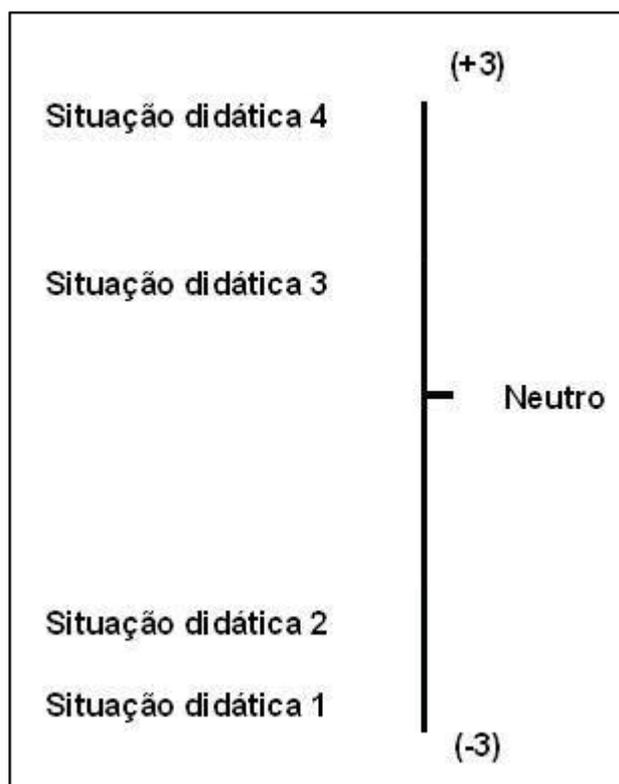


Gráfico 2 - Perfil (qualitativo) de participação do sujeito Mariana nas situações didáticas 1 a 4.

A obtenção dos valores para a construção do Gráfico 1 deveria levar em consideração uma análise da frequência com que os eventos de intervenção seriam mensurados nas respectivas situações didáticas. Mas também pode-se

proceder uma análise mais qualitativa sem, necessariamente, efetuar uma medida numérica precisa.

Desta maneira, a análise microgenética correlaciona dois eventos que podem ser interpretados como variáveis, caso isto tenha uma significação dentro da pesquisa.

Invariantes operatórios

Nestes episódios tentaremos mostrar os dados que fundamentam a constituição do processo de manifestação dos invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação) do sujeito Mariana.

Como estas situações didáticas foram as primeiras, a fala do pesquisador (na condição de professor de Física) é bastante extensa, explicativa, utilizando-se quase sempre do método indutivo e, por vezes, o método dedutivo. Ainda nestas situações didáticas, o repertório conceitual (em termos do vocabulário científico) da aluna é praticamente inexistente. Como consequência, como veremos nos episódios abaixo, as manifestações possíveis de conceitos e teoremas-em-ação são de pouca riqueza e complexidade. Entretanto, isto é absolutamente esperado, diante tanto da condição do sujeito, como também da própria necessidade de que as situações didáticas acontecessem de maneira gradual.

Episódio 1

Pesquisador – Então, nós vamos fazer a mesma coisa que nós fizemos ontem. [professor pega a alavanca dupla]

Pesquisador - Faremos o seguinte. Meu dedo será como o livro. **[o pesquisador pega a alavanca de tamanho médio. Coloca a alavanca sobre o dedo indicador, e em baixo do dedo médio.]**

Pesquisador - Então, vamos fazer o seguinte **[aluna está com a alavanca LEGO média]**, eu vou pegar esta que você está na mão e depois a grandona.

Nós vamos fazer o seguinte, vamos pegar esta que você está na mão, e eu vou fazer de conta . **[o pesquisador pega a alavanca intermediária e com sua mão esquerda sobre a mesa, coloca esta alavanca sobre o dedo indicador e abaixo do dedo médio, de tal maneira que o dedo médio fará o papel da carga]**

O meu dedo vai ser o livro. Outra coisa importante. Eu vou usar dois dedos para mostrar para você... Este primeiro dedo, o indicador. **[pesquisador pega na mão da aluna para que ela sinta a mão com o dedo indicador da mão esquerda do professor que será utilizada para simular o ponto de apoio da alavanca]**

Eu vou usar para colocar a alavanca. **[pesquisador intercala a alavanca entre seu dedo indicador e médio]**

O outro dedo meu, que é o dedo médio, tá vendo este dedo médio aqui? **[pesquisador faz a mesma coisa mas agora com o dedo médio]**

Vai fazer de conta que é aquele livro que a gente utilizou ontem, aí você vai fazer uma força ??? para baixo. Isto. **[aluna executa a força sobre a extremidade da alavanca, de cima para baixo]**

Pesquisador - Faça uma força para baixo.

Mariana - Ah... **[a aluna sorri]**. É pesado...

Comentário: aqui pode ser que a estudante tenha estabelecido uma relação entre a dificuldade em aplicar a força e a noção de intensidade. Provavelmente produziu-se uma associação causal entre uma propriedade do objeto e um fenômeno, uma relação do tipo significado/significante. Ainda que isto não seja propriamente a manifestação de um invariante operatório, indica que, de alguma forma, o sujeito foi capaz de operacionalizar a nível da memória de trabalho (e até da memória de curto prazo) um fenômeno de generalização. Vergnaud fala em forma operatória do conceito, que caminha para a forma predicativa na medida que, de fato, os invariantes operatórios vão se consolidando.

Pesquisador - *Esta força que você faz com sua mão esquerda é a "força potente".*

Mariana - *Força potente.*

Pesquisador - *Força potente. E esta força que eu faço com meu dedo, "força resistente".*

Mariana - *Força potente e força resistente.*

Pesquisador - *Então, a força potente efetua potência...*

Mariana - *É assim: está levantando.*

Comentário: provavelmente a estudante teve uma 'tomada de consciência'⁵⁶, ela fez uma relação entre a ação da força e a correspondente reação (ação recíproca). Parece ter surgido aqui algo na direção de um conceito-em-ação (poderíamos falar em 'semi-conceito'?).

Pesquisador - *Está levantando.*

Mariana - *Está fazendo força.*

Comentário: a relação fenomenológica entre aquilo que o provável conceito-em-ação 'fazer força' e o consequente teorema-em-ação 'levantar' ficou agora bem evidente. É evidente que ainda não houve uma elaboração mais complexa entre conceito e teorema-em-ação em função do próprio grau de simplicidade deste episódio dentro da situação didática como um todo. Aqui também fica um pouco mais claro a diferença que existe entre um conceito e um teorema. Um teorema é a generalização (causal, operacional) do conceito.

Utilizaremos a notação Ψ para conceito-em-ação, colocando entre colchetes {} a palavra que o sujeito de pesquisa nomeia por si mesma o conceito, com uma barra "/" em seguida com o nome do conceito científico. Depois, utilizamos a notação \mathbf{Th} para teorema-em-ação, um índice numérico sub-escrito designará o caráter ordinal do conceito ou do teorema-em-ação, e entre colchetes

⁵⁶ Tomada de consciência é um conceito da epistemologia genética de Jean Piaget, e diz respeito ao momento em que o indivíduo manifesta um insight sobre a compreensão, o entendimento sobre alguma coisa, e indica um processo em direção à aprendizagem.

colocando a noção ou ideia do teorema interpretado pelo sujeito. Quando um conceito-em-ação implicar num teorema-em-ação utilizaremos a notação \Rightarrow (uma flecha com ponta para o lado direito).

Assim, teríamos:

$$\Psi_1 \{\text{fazer força/força potente}\} \Rightarrow Th_1 \{\text{levantar o objeto}\}$$

Episódio 2

Neste episódio o pesquisador vai trabalhar o sistema de representação das forças 'potente' e 'resistente', respectivamente, utilizando-se para isto de duas flechas construídas de material imã-plástico, conforme figura abaixo.

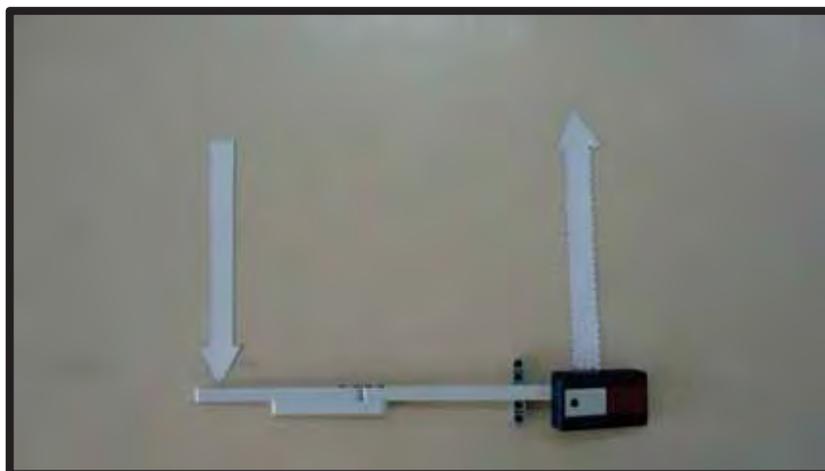


Figura 62 – Flechas lisa (esquerda) representando a força potente, e flecha serrilhada (direita) representando a força resistente.

Pesquisador - *Agora, como que a gente poderia representar isto? Bom, para facilitar para nós, eu fiz as duas flechinhas, olha. **[pesquisador faz a aluna sentir com o tato a flecha tátil lisa]**. Esta flecha, sente bem ela, com essa flecha representamos a força potente, que é a força que você estava fazendo com a mão.*

Mariana - *Pesada. É pesada, não é?*

Comentário: Aqui, podemos observar bem que a estudante associou à ideia de força potente à noção de 'pesado'. Para ela, a palavra "pesado" significa a

mesma coisa que "força potente". A percepção sensorial proporcionada pela experiência de sentir com a mão algo 'pesado' ou 'leve' vai, aos poucos, incorporando-se no esquema cognitivo da aluna, provavelmente na direção de uma relação significante/significado para constituir algum conceito-em-ação. A palavra 'pesado' ainda é uma palavra do repertório (vocabulário) de senso-comum da estudante, diferentemente da palavra 'força potente', que somente lhe foi apresentada pela primeira vez durante estas situações didáticas (e não durante qualquer aula de Física na sala tradicional). A completa substituição do repertório verbal próprio do sujeito pelo repertório acadêmico-científico é algo que pode levar ainda considerável tempo para ocorrer, e depende de muitos fatores.

Escreveremos o conceito-em-ação acima utilizando outra notação \cong (o acento 'til' sobre o sinal de igual) indicando que o sujeito realiza uma **relação de equivalência** entre o invariante operatório e o nome que o caracteriza. Agora, o nome (significante) 'pesado' para equivaler ao conceito de 'força potente'. Assim, para o que analisamos neste episódio, temos:

$$\Psi_1 \{\text{pesado}\} \cong \text{força potente}$$

Esta mudança na nomeação do conceito-em-ação 'força potente', de 'fazer força' para 'pesado' é equivalente ao que Bruno (2000, p.179) chama de 'operação de concatenação'. Na verdade, numa interpretação menos detalhada, poderíamos questionar se o primeiro significante utilizado por Mariana como sendo a 'força potente', a frase 'fazer força' não seria um teorema ao invés de um conceito. Provavelmente a resposta é negativa porque, conforme mostrado pela fala, Mariana logo remeteu ao conceito 'fazer força' a consequência ação de 'levantar o objeto'.

E a operação de concatenação se confirma justamente porque ao perceber (cognitivamente) hapticamente que ao empurrar a alavanca estava fazendo força e que isto causava uma sensação de ser 'pesado' (aqui como uma propriedade do objeto, um 'adjetivo'), por conseguinte, obtinha como resultado que o objeto se levantava, Mariana estava concatenando as duas ideias.

(...continua)

Pesquisador – *Isto aqui é feito com imã de geladeira. Olha, então ela tem a parte da frente, e a parte de trás que é reta. Com esta flechinha aqui a gente vai representar a força, a força potente.*

Mariana - *Potente.*

Pesquisador – *Foi o que você fez com a mãozinha esquerda...*

Mariana - *E a outra, é a resistente...*

Comentário: Fica claro neste momento que a aluna pode distinguir precisamente os dois tipos de força. Seu repertório linguístico vai, aos poucos, incorporando tais palavras e, conseqüentemente, tais palavras vão se associando (fenomenologicamente), perceptivamente e causalmente (relação causa-efeito) aos fenômenos que são apresentados. Este processo de cognição incorporada vai constituindo gradualmente um direcionamento para o processo de conceitualização (constituindo-se posteriormente em possíveis conceitos e teoremas-em-ação mais próximos dos invariantes operatórios acadêmicos científicos).

É importante destacar que a estratégia da multissensorialidade utilizada na fase mais relacionada com a percepção, que Camargo (2011, p.19) chama de ‘estruturas fundamentais’ (no caso temos aqui um exemplo de uma estrutura do tipo ‘tátil-auditiva interdependente’ pois a verbalização/oralização pelo pesquisador sobre o conceito está associada à experiência tátil direta com os objetos de aprendizagem, no caso as peças LEGO) vai se conformando num tipo de ‘esquema cognitivo-corporal’ bem particular para o indivíduo.

Por esta razão, se o professor alterar o tipo de material didático (por exemplo, utilizando outro material com propriedades físicas diferentes, como peso ou textura diferenciados, etc.) é conveniente que esta diferenciação seja percebida pelo aluno e mencionada verbalmente pelo professor. Ou seja, não se pode introduzir qualquer alteração num tipo de material ‘concreto’ durante uma aula sem que o aluno deficiente visual seja informado sobre isto.

Passemos a outro conceito-em-ação, que é a força resistente. No episódio acima Mariana não associou o conceito científico ‘força potente’ a algum nome

de seu próprio repertório conceitual. Então, designaremos isto com o símbolo \emptyset (um círculo vazio com um traço cortado) indicando que o sujeito não nomeou o conceito com algum tipo de significante criado por si mesmo.

Ψ_2 {sem denominação} \emptyset força resistente

Pesquisador – *Isto, com a outra...[pesquisador deixa a flecha com textura lisa e pega a flecha com textura serrilhada]*

Mariana - *Então eu vou escrever assim: potência, não é?*

Comentário: observe que esta expressão da aluna já é uma referência à ação futura, que é escrever os conceitos em Braille. Esta ação de antecipação possui forte significação para a aprendizagem da aluna, já que a representação em Braille para ela é algo muito importante. Mais tarde, a aluna repete a mesma atitude de 'antecipação' para a representação. Uma vez mais, conforme assinalado por Piaget, a antecipação vincula-se a uma inteligência do tipo pré-motora e que, neste caso, fica bastante evidente através desta tarefa da escrita em Braille, já que tal procedimento envolve não apenas o conhecimento dos códigos em Braille mas, sobretudo, o domínio do uso da máquina de escrever em Braille pelo sujeito Mariana.

Aqui, destacamos o imediato efeito que a ação de *empowerment* vai tomando conta do comportamento de Mariana em relação à sua atitude perante o pesquisador no decorrer do desenvolvimento das situações didáticas. Ou seja, o que estamos chamando de atitude de 'antecipação' de Mariana vai se constituindo uma espécie de verdadeiro 'esquema' no sentido que Vergnaud utiliza este conceito. Quer dizer, o fato de que o tipo de interação aluno-professor (no caso, interação sujeito de pesquisa-pesquisador) predispõe o aluno a um comportamento que possui reflexo direto na constituição do processo de conceitualização.

Em outras palavras, a consequência de uma relação social resultou numa ação que foi determinante para produzir-se um direcionamento da aluna em relação a possíveis conceitualizações.

(...continua)

Mariana - *Então, se isto aqui estava para baixo e esta aqui estava para cima...então o que eu vou escrever?*

Comentário: uma vez mais a aluna menciona que em seguida deverá escrever em Braille. De certa maneira, a escrita é para ela uma coisa significativa.

(...continua)

Pesquisador – *Então, a gente usa na Física, na Física a gente usa desenhar flechinha, estas flechinhas, não é, a gente desenha na lousa, o seu professor, ele vai explicar que um corpo...*

Mariana - *Porque esta daqui é diferente. [aluna mostra e tateia a flecha do seu lado direito, que representa a força resistente]*

Comentário: a estudante demonstra aqui que pode relacionar ao objeto seu significado, estabelecendo-se a relação significado/significante (ou seja, a percepção, nível da primeiridade, com a interpretação, nível da secundidade, que se dá na forma dos invariantes operatórios, conceitos e teoremas-em-ação).

Episódio 3

Neste episódio fica bem nítido que Mariana diferencia exatamente os conceitos-em-ação ‘força potente’ e ‘força resistente’ e suas conseqüentes ações diferentes, na forma de seus teoremas-em-ação, ou seja, o ato de ‘empurrar’ e a reação de ‘levantar’. A incorporação das novas palavras (conceitos) e sua associação direta com os respectivos fenômenos é algo que gradativamente vai se consolidando.

Pesquisador – *É o ponto onde está apoiada a alavanca. Então, esta distância deste ponto aqui, até aqui, olha, até esta ponta [pesquisador leva a mão da*

aluna pela extensão da alavanca desde o ponto de apoio até sua extremidade] é chamado de braço de resistência, ou

Mariana - Braço de resistência.

Pesquisador – Ou, a distância de resistência. Chama 'braço' porque é mais fácil para a pessoa memorizar, olha...

Mariana - Exatamente.

Pesquisador –Braço de resistência. [novamente o pesquisador percorre toda extensão da alavanca, agora da extremidade até o ponto de apoio, conduzindo a mão/dedo da aluna]

E esta distância aqui, deste ponto de apoio. Até a ponta onde está o outro dedo, é chamado de braço de resistência.

[agora o professor leva a mão da aluna para ela perceber o lado da alavanca desde o ponto de apoio para o lado oposto, a partir do qual o peso (ou seja, o dedo indicador) é levantado]

Mariana - De resistência.

Pesquisador – Por que é braço de resistência? Porque braço é justamente o tamanho daqui até onde está o peso, a massa...

Mariana - Então, é a massa que está resistindo...

Comentário: a última frase pronunciada pela estudante demonstra a associação entre a noção de 'força resistente' e 'massa', nesta situação. Mariana então nomeou a seu modo a força resistente com o nome de 'massa'. De fato, para ela, a palavra 'massa' (objeto=significante) está representando o conceito de 'força resistente' (representação=significado).

Mais do que isto, tal semiose pode ser interpretada como um indicativo de um conceito-em-ação, a 'massa' que, como consequência, produz a 'resistência' sendo, portanto, um 'teorema-em-ação' **Th₂**. Para a aluna parece mesmo que esta 'massa' e a consequente 'resistência' são duas coisas diferentes em

relação àquilo que é a força potente, conforme constatamos na próxima fala em seguida.

De acordo com a notação que estamos utilizando, temos:

$$\Psi_2 \{\text{massa/força resistente}\} \Rightarrow Th_2 \{\text{resiste}\}$$

Portanto, uma vez mais,

(...continua)

Pesquisador - *Por quê? Porque do seu lado está a força... [pesquisador novamente pega a mão da aluna para fazer o movimento de empurrar para baixo a alavanca]*

Mariana - *Potente. E esta aqui, a resistente. [a aluna indica com sua própria mão o lado onde fica a força resistente.]*

Comentário: este gesto cognitivo-motor mostra que ela compreendeu bem a diferenciação entre os dois diferentes conceitos.

(...continua)

Pesquisador - *É o braço resistente e a força resistente.*

Mariana - *Exatamente.*

Pesquisador – *Ou a força de resistência ou força resistente. Entendeu?*

Mariana – *Por que resistente? Porque ele está para cima, não é?*

Comentário: Associou 'para cima' com o tipo de força (força resistente). A percepção de que o efeito da força potente produz como consequência a força resistente que 'levanta para cima' uma massa é um conceito e depois um teorema-em-ação (força resistente é o conceito-em-ação, que produz como consequência 'levantar, ou ir para cima', que é o teorema-em-ação).

(...continua)

Pesquisador - *Ele está mais ou menos na mesma direção...*

Mariana - Resistência.

Comentário: Ela percebeu corretamente e mais uma vez que era a força de resistência, mas em função da força aplicada do outro lado (força potente). Ou seja, conseguiu diferenciar os conceitos-em-ação 'força potente' e 'força resistente', respectivamente e, como consequência, os teoremas-em-ação 'empurrar' e 'levantar'.

Observemos que neste ponto da situação didática, Mariana constrói, à sua maneira, uma interpretação cognitiva muito próxima aos invariantes operatórios que, como acabamos de constatar, vai se enriquecendo em termos da associação significante/significado.

Episódio 4

Neste episódio, que foi a continuidade dos anteriores, evidencia-se que Mariana é muito predisposta a sempre utilizar a estratégia de registrar o conhecimento aprendido em aula, fazendo uso da escrita em Braille. O breve diálogo abaixo revela muito bem isto. Este parece ser, inclusive, o mecanismo cognitivamente decorrente ou consequente que segue o processo de conceitualização, que é o momento da representação. Ou seja, a necessidade de representar o conhecimento é uma espécie de consolidação deste.

Pesquisador – *Bem, então é o seguinte. Então, outra coisa que nós vamos fazer ... vai ser assim, a primeira coisa...*

Mariana - *Eu vou escrever tudo.*

Comentário: Esta foi a primeira vez que a aluna fez um comentário com relação a ação de escrever em Braille.

(...continua)

Pesquisador - *Ou quando você escreve com ...*

Mariana - *Eu escrevo utilizando a máquina. **[máquina Braille]***

Pesquisador - *Com a máquina.*

Mariana - *Com a máquina, exato...então, se você quiser que eu escreva, eu posso escrever.*

Comentário: a aluna insiste sobre o fato de que ela conhece a escrita Braille e que, efetivamente, pode escrever. Este é um importante sentimento de *empowerment* que foi ensinado e constantemente trabalhado pela professora da Sala de Recursos de Mariana.

(...continua)

Pesquisador - *Isto, olha, você lembra que na aula passada, quando eu perguntava para você...*

Mariana - *Eu escrevo: a massa, a força...*

Comentário: Observemos que pela terceira vez a estudante insiste espontaneamente sobre o fato de mostrar que ela sabe ou pretende escrever em Braille.

(...continua)

Pesquisador - *Você pode fazer isto em Braille, agora?*

Mariana - *Agora?*

Pesquisador - *É, se eu pegar o papel e a máquina ali, se colocar o papel, você consegue escrever, ou não?*

Mariana - *Eu acho que não.*

Comentário: Contrariamente àquilo que havia dito até o momento, a estudante hesita quando se dá conta que terá que executar esta tarefa.

(...continua)

Mariana - *A professora Maria vai gostar do nosso trabalho.*

Comentário: Depois que a aluna conseguiu escrever em Braille o que foi proposto, ela disse esta frase com muita ênfase. Pensamos que esta citação de lembrar de sua professora possui um significado muito importante para a aluna, provavelmente em termos de sua autoestima, de seu *empowerment*,

etc. Aliás, isto será uma fortíssima característica em Mariana, ou seja, de buscar sempre um reconhecimento nas figuras de sua mãe e ou de sua professora da Sala de Recursos. Precisamente por isto, para estas situações didáticas de Física, tal característica foi utilizada como estratégia didática para consolidação (ou incorporação cognitiva) dos conhecimentos, conceitos e teoremas-em-ação.

Com este episódio concluímos a apresentação dos dados desta situação didática, passando a seguir para outra situação didática.

Situação didática 3 – Espaço: introdução ao conceito de velocidade

Segundo Bardin (1977), o pesquisador pode adaptar os métodos de apresentação dos dados de acordo com sua necessidade, pertinência ou conveniência. Assim, ao invés de utilizar a transcrição literal das respectivas falas do sujeito da pesquisa e do pesquisador utilizaremos outra técnica de exposição dos dados, que é simplesmente a síntese e descrição sequencial dos principais eventos ocorridos.

A vantagem deste procedimento é maior rapidez e objetividade. Apesar da importância de todas as situações didáticas no cômputo geral do trabalho, este procedimento metodológico não comprometerá o entendimento dos dados.

Antes da explicação de cada evento, o primeiro número indica a ordem sequencial do evento, e depois os outros números entre colchetes indicam a localização temporal do registro, em minutos e segundos, respectivamente.

Vamos a sequência.

1 – Enumera massa, força [sem que o pesquisador tenha falado nestes conceitos]

2 – Não sabe o que é velocidade

‘está correndo....está aumentando a velocidade’ [1:50]

3 – [2’:25’] Mariana não tem a noção de ‘dimensão’ de velocidade, por exemplo, quanto é a velocidade de um carro, de um avião ou de uma bicicleta.

4 – [3’:48’] Ao dar exemplo do que poderia ser quantidades de velocidade, Mariana se expressa falando as velocidades “50”, “60”.

5 – [4’:25’] Mariana não tem ideia do tamanho de um quarteirão. Nem da sala [4:50], nem da mesa [5:00], nem de sua própria altura [5:28].

6 – [5’:47’] O pesquisador mostra o que é a fita métrica.

7 – [6’:00’] Aluna pergunta se dá para medir a mesa.

8 – [6’:29’] Pesquisador mostra para ela na mesa quanto é um metro.

9 – [6’:40’] Pesquisador mostra a gradação de 10 em 10 cm, e a aluna vai contando. 1060....80...90... Pesquisador interfere, enumerando o “70”...

Mariana diz depois “71” (ao invés de 70, já que era de 10 em 10)

10 – [8’:00’] professor mostra a gradação dos 10 centímetros iniciais. E vai falando: 1.2.3....10

11 – [8’:41’] Pesquisador compara a largura do dedo dela com 1 centímetro da fita (mas diz que o dedo dele, pesquisador, é mais largo).

12 – [9’:00’] Pesquisador introduz os conceitos de ‘largura’, ‘comprimento’

13 – [10’:00’] Pesquisador e Mariana levantam-se e pesquisador mostra o que é ALTURA, andando com a aluna pela sala mostra o COMPRIMENTO, e da parede da sala até a outra é a LARGURA.

14 – [11’:46’] Medem o comprimento da bengala.

15 – [12’:23’] A fita métrica é posicionada sobre a bengala e a aluna percebe taticilmente isto.

16 – [12’:40’] Pesquisador pede para ela medir, e ela pergunta de onde começa a medir.

- 17 – [13':09"] Mariana vai contando e erra: "10"....11 (ao invés de 20)
- 18 – [13':30"] Mariana conta..... "80" (ao invés de "70")
- 19 – [13':49"] Pesquisador diz para ela lembrar que 100 centímetros é um metro.
- 20 – [14':04"] Pesquisador diz que a bengala tem 100 centímetros.
- 21 – [14':19"] Pesquisador propõe de medir a altura da aluna.
- 22 – [15':08"] Pesquisador pergunta se aluna sabe contar depois do 100, [15':14"] Pesquisador mostra onde é o 100 na fita, e solicita que Mariana continue contando após o número 100.
- 23 – [15':22"] Mariana fala "200", ao invés de 110.
- 24 – [15':33"] Mariana diz "111", ao invés de 120.
- 25 – [16':38"] Pesquisador pergunta quanto que era um metro (em centímetros). Ela não se lembra. Também pergunta quanto tinha a bengala (que é um metro), mas Mariana havia esquecido.
- 26 – [16':59"] Pesquisador diz que a fita tem 150 centímetros, tenta fazê-la perceber que 150 centímetros é 1 metro e meio, mas ela não consegue entender isto.
- 27 – [19':30"] Pesquisador pergunta se ela tem noção que 50 é metade de 100, e ela diz que não.
- Observação: o objetivo com esta pergunta seria depois ao fazer o cálculo da velocidade, utilizar a conversão de metro para centímetro (já que a unidade de tempo teria que ser em 'segundos', para ser compatível com o sistema internacional de unidades).*
- 28 – [19':50"] Pesquisador vai até a parede medir a altura dela: 147 centímetros.
- 29 – [20':29"] Pesquisador tenta explicar o que significa 147 centímetros: 1 metro e 47 centímetros.

30 – [21':24"] Mariana diz que que 100 centímetros é 1 metro. Repete isto em [21':42"]. Pesquisador vai dizer novamente que a altura dela então é 1 metro e 47 centímetros.

31 – [22':20"] Pesquisador pergunta: outra pessoa, eu por exemplo: tenho 177 centímetros. Pergunta como transformar isto para metro.

Observação: o objetivo do pesquisador era verificar se Mariana conseguiria transpor esta a explicação anterior sobre a altura dela (1 metro e 47 centímetros) para esta nova questão.

32 – [22':37"] Ele pergunta: qual é minha altura?

Observação: Mariana não consegue responder.

32 – [23':21"] Mariana pergunta se pode levar a fita métrica para medir a altura da irmã.

33 – [24':06"] Pesquisador novamente fala de uma pessoa que tivesse 150 centímetros. Aluna não consegue novamente aplicar ou transpor o que aprendeu anteriormente.

34 – [25':10"] Pesquisador pega o carro (LEGO) para verificar a distância percorrida.

35 – [25':29"] Mariana comenta que está muito barulho, e que tem que falar para a diretora.

36 – [25':50"] Aluna se admira com o robô (carro) que foi montado.

37 – [26':30"] Pesquisador leva o robô no piso para mostrar como medir a distância percorrida (foi feita uma marca com uma fita para indicar o início da medida).

38 – [27':20"] É efetuada a medida, depois repete-se a operação de acionar o carro.

39 – [28':29"] Pesquisador faz a aluna contar (perceber com o tato) na fita qual foi o comprimento que o carro percorreu. Mariana fala incorretamente: 10...11

(ao invés de 20), professor intervém e fala que depois do 10 é 20 (porque na fita é de 10 em 10 centímetros)

40 – [29':25''] Mariana conta 65 centímetros, corretamente, percebendo com o tato.

Comentário: observemos que nesta situação didática Mariana não manifestou qualquer invariante operatório, exatamente em razão de que desconhecia quase todos os conceitos que foram trabalhados.

Situação didática 4 – Movimentando o robô com a interface cérebro-computador – Trabalhando com conceito de velocidade

Parte 1

Esta situação didática foi, na verdade, a mais esperada de todas, já que trazia a grande expectativa tantas vezes anunciada pelo pesquisador sobre a possibilidade de controlar o robô somente utilizando a interface cérebro-computador Emotiv Epoc.

Conforme descrito em Materiais e Métodos, para que isto fosse possível, foi necessário proceder ao treinamento cognitivo, conforme explicado.

Portanto, na sequência descrevemos os momentos mais importantes desta aula, inclusive os problemas técnicos que ocorreram. Novamente, fazendo alusão ao referencial teórico de constituição de dados, Bardin (1977), na apresentação dos dados a seguir faremos uso das imagens 'congeladas' do registro de vídeo utilizado, com a descrição escrita do evento, sem constar a fala dos sujeitos (pesquisador e sujeito de pesquisa). Se esta técnica traz a grande vantagem do recurso visual trazer mais compreensão sobre o ocorrido, pode limitar a acessibilidade para leitores com deficiência visual, a não ser que a descrição escrita traga a informação que está contida na imagem, procedimento que procuraremos utilizar aqui na legenda das respectivas imagens.

Inicialmente, convém mencionar que a professora da Sala de Recursos esteve presente durante esta situação didática (assim como na maioria delas) sendo, portanto, importante testemunha ocular e, inclusive, participativa durante a aula.

A Figura 63 mostra a montagem básica do robô que foi utilizada para esta aula, e corresponde exatamente ao projeto que consta do manual do fabricante “*LEGO Mindstorms – User Guide – Build and Program Robots that do what you want!*”. A montagem deste robô é executada em 20 etapas, sendo que algumas delas podem até ser eliminadas sem prejuízo para o resultado final, e foi executada pelo próprio pesquisador. Esta opção foi preferida por considerarmos maior agilidade temporal para a execução das situações didáticas, já que o tempo com o sujeito de pesquisa Mariana era completamente restrito às condições de sua agenda escolar.

Outra justificativa para que a aluna não tivesse montado ela própria o robô, é o fato constatado pela experiência do pesquisador em aulas de robótica, que mostra não haver aprendizagem tão significativa em relação a montagem em si mesma, a não ser quando a montagem exige na sequência algum tipo de problematização ou resolução de problemas relacionados diretamente com a operacionalização ou com a funcionalidade do robô LEGO, como é caso quando ocorre nos torneios de robótica da organização não-governamental FIRST® LEGO® League.

Entretanto, inequivocamente consideramos que outra configuração e organização de situações didáticas poderiam sim contemplar a possibilidade de que uma pessoa com deficiência visual montasse um robô, mesmo em projetos de alta complexidade. A única restrição neste caso, seria feita se tivéssemos uma pessoa que tivesse além da deficiência visual tal grau de limitação no plano físico das mãos, como foi o caso do sujeito de pesquisa Patrícia, conforme descrevemos no Capítulo Materiais e Métodos, utilizando a “**Classificação Internacional da Funcionalidade**”. E sempre lembrando que estas atividades devem ser estruturadas de forma a minimizar possíveis frustrações decorrentes da dificuldade em se executar a tarefa, o que é prejudicial para qualquer condição de aluno.

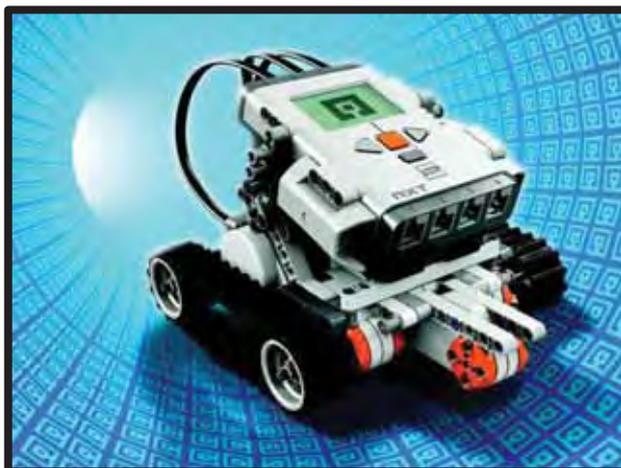


FIGURA 63 – Robô LEGO Mindstorms

Na Figura 64 mostramos o momento em que a aluna Mariana conseguia controlar o robô, deslocando-se através do piso da Sala de Recursos. Durante este momento, a única direção que Mariana conseguiu acionar o robô foi para frente (que correspondia ao movimento de 'pensar para cima'). Ao ser solicitada que variasse o movimento para o lado direito, ou esquerdo, nenhuma destas ações ocorreu.



FIGURA 64– Robô se movimentando para frente através da interface cérebro-computador

Em função disto, ao perceber que possivelmente o sujeito pudesse estar sem concentração na tarefa⁵⁷, o pesquisador tomou a decisão de repetir por alguns instantes o treinamento cognitivo para os lados direito e esquerdo, para frente e para trás, respectivamente. Isto está mostrado nas duas fotos seguintes (para cima – que corresponde para frente no robô, e para baixo, que corresponde ao movimento para trás no robô). Isto está mostrado nas Figuras 65 e 66.



FIGURA 65– Controlando o movimento do robô para frente. Observe o gesto corporal com braço e mão para cima.

⁵⁷ Um dos fatores possíveis para isto, como aconteceu em diversas situações didáticas, foi o alto nível de ruído da sala de aula adjacente à Sala de Recursos, variável esta que será abordada nos dados do corpus 2, relativo à Ergonomia Cognitiva. Este é um importante elemento para a variável chamada 'dissonância cognitiva'.



FIGURA 66– Controlando o movimento do robô para baixo (ou para trás). Observe o gesto corporal da mão direita de Mariana para baixo.

Destacamos aqui a mesma estratégia de utilizar um objeto (lápiz) para facilitar a associação entre a imagem mental do objeto e seu movimento correspondente, da mesma maneira como havia sido realizado durante as seções de treino onde Mariana conseguiu movimentar o cubo virtual do software do Emotiv Epoc.

Após este treino, o pesquisador fez com que Mariana tomasse o robô em suas mãos, justamente para que a mesma percebesse o movimento das rodas. Em seguida, a aluna consegue efetuar o movimento através da interface, e o pesquisador vai fazendo com que a mesma perceba de maneira tátil-cognitiva a rotação dos servomotores, que indicaram se o robô iria para frente, para trás, para a direita ou para a esquerda, respectivamente (Figura 67).

Alguns trechos da fala são descritos em seguida:

Pesquisador – *Quando ele vai para frente, ou para trás, ele movimenta as quatro rodas.(continua)...Percebeu que ele está rodando dos dois lados. [aluna executou acionamento do robô através da interface, primeiro para um lado, depois para o outro].*

Mariana – *Ele está para este lado... [ela toca as duas rodas da frente do robô, percebendo que ambas estão girando]*



FIGURA 67– Mariana percebe táctil-cognitivamente a movimentação das rodas do robô na direção para frente (ou para cima). A seta na imagem indica o sentido de rotação do servomotor.

Em seguida, o pesquisador explica:

Pesquisador – *Agora, você vai fazer ele se movimentar para a direita, para a direita Mariana, você vai perceber que vai rodar só um destes dois: ou este aqui. [indica com sua mão e da aluna o lado esquerdo do robô].*

Mariana – *Ou este. [indica com sua própria mão o lado direito]*

Pesquisador – *Ou este... [aluna fala em seguida]*

Mariana - *Este, este aqui é o direito [indica com sua mão], e este aqui é o esquerdo. [faz o gesto com sua mão].*

Pesquisador – *Você vai pensar para a direita. [neste instante, as rodas do lado direito se movimentam, ao que a aluna diz:]*

Mariana – *Ele está indo para este lado. [faz o gesto com braço e mão indicando o lado direito, ver Figura 68 deste momento]*



FIGURA 68– Movimento do motor do lado direito. Observe indicação do gesto de Mariana, com braço e mão para o lado correspondente (direito).

Pesquisador – Agora vamos movimentar para o outro lado.

Mariana – Para este lado. [aluna antecipa o movimento, indicando o movimento do servomotor do lado esquerdo, executando a ação gestual-cognitiva, conforme constatado na Figura 69].



FIGURA 69 – Mariana indica com a mão o lado esquerdo mesmo antes de executar o movimento do robô (ação de antecipação).

Pesquisador – Para a esquerda.[neste momento, talvez num gesto de memória de aprendizagem, Mariana toma em sua mão esquerda o lápis, conforme havia feito no treinamento cognitivo, ver Figura 70,, em seguida abandona o lápis].



FIGURA 70 – Mariana toma o lápis em sua mão esquerda para associar esta ação ao acionamento do robô do lado esquerdo.

Pesquisador – Pensa para a esquerda...concentra. [agora, novamente, provavelmente pelo condicionamento do treino cognitivo realizado há poucos minutos antes, Mariana movimenta sua mão para o lado esquerdo, e o professor tem que pegar em sua mão esquerda e conduzir para a esteira e rodas do lado esquerdo, conforme Figura 71]



FIGURA 71 – Mariana conduz sua mão para o lado esquerdo, numa clara evidência de que associa a ação de pensar com a ação motora (repetindo seu gesto durante o treino cognitivo realizado no mesmo dia e anteriormente).

Em seguida, a aluna percebe tátil-cognitivamente o movimento correspondente do servomotor do lado esquerdo. Mariana ainda conseguirá acionar o robô do mesmo lado esquerdo mais uma vez, e depois disto o sistema simplesmente trava⁵⁸ automaticamente, problema este que, aliás, ocorreu várias vezes durante esta situação didática.

Comentário: nesta situação didática os invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação) estão manifestados intrinsecamente pela compreensão que Mariana teve a respeito do efeito da ação de pensar para direita, esquerda, para cima ou para baixo, alterando a configuração do deslocamento do robô. Ainda que nas falas não esteja tão evidente tais invariantes, estes estão bem demonstrados pelas sucessivas ações cognitivo-motoras (gestos cognitivos) de Mariana.

Esta é uma característica muito particular de um tipo de invariante operatório não-verbal, do tipo gestual, manifestando uma cognição incorporada. Observa-se no momento que Mariana toma o lápis em sua mão para executar o movimento para o lado esquerdo, demonstrando a memória do treinamento

⁵⁸ Travar significa que o software de acionamento do robô cessa de responder, e quando isto ocorre é necessário fechar todos os aplicativos, ou até mesmo ligar e desligar a unidade central de processamento do robô LEGO.

cognitivo, na verdade isto também está refletindo sua aprendizagem cognitivo-motora sobre a ação de ‘pensar para o lado esquerdo’. E isto será tão significativo que, conforme mostrado na Figura 72, onde Mariana após soltar o lápis conduz sua mão para o lado esquerdo, reforçando (ou realizando uma associação) uma vez mais a correlação entre o ato de pensar para o lado esquerdo e deslocar sua mão para o lado esquerdo.

Somente para efeito de registro de dados, os outros dois sujeitos Patrícia e Paulo não tiveram o mesmo tipo de atitude que Mariana em relação ao que acabamos de mostrar para a mesma situação didática.

Estas ações motoras de Mariana colocam a compreensão conceitual da mesma na estrutura semântico-sensorial da linguagem (CAMARGO, 2011, p.20-21) na categoria ‘significado vinculado à representações não-visuais’, que são aqueles significados registrados por códigos não-visuais e observados pelo tato, audição, etc.



FIGURA 72– Acionamento do motor do lado esquerdo. Mariana toca a esteira do lado correspondente (correia dentada).

Em razão disto, esta parte da situação didática foi finalizada, e passaremos a seguir a mostrar os dados da parte seguinte da aula, que tratou de se estimar a velocidade. Esta aula, na verdade, é uma continuação da **Situação didática 3 – Espaço: introdução ao conceito de velocidade**, onde foram trabalhados os conceitos de medida, espaço (centímetro, metro) e tempo.

Parte 2

Nesta parte foi utilizado o mesmo kit de robótica, porém sem o uso da interface cérebro-computador. Este não acionamento do robô através da interface traz, de fato, considerável comprometimento no nível da acessibilidade e do *empowerment*. Na verdade, uma situação como esta (que aconteceu devido a uma limitação do projeto de software), acaba se aproximando do que provavelmente ocorreria numa sala de aula onde tivéssemos alunos cuja condição física não dependesse exclusivamente da interface.

O motivo para o não uso da interface foi devido ao fato de que não era possível variar os parâmetros de torque nos servomotores, o que permitiria alteração na potência que, conseqüentemente, produziria uma velocidade maior ou menor no veículo robótico.

Em outras palavras, todo o conjunto de softwares utilizados não permite produzir qualquer alteração nos parâmetros físicos em termos daquilo que poderia ser efetuado sobre o robô LEGO Mindstorms.

Por esta razão, a estratégia foi utilizar o próprio software do LEGO, conforme mostrado na Figura 73, indicando os controles utilizados para o robô.

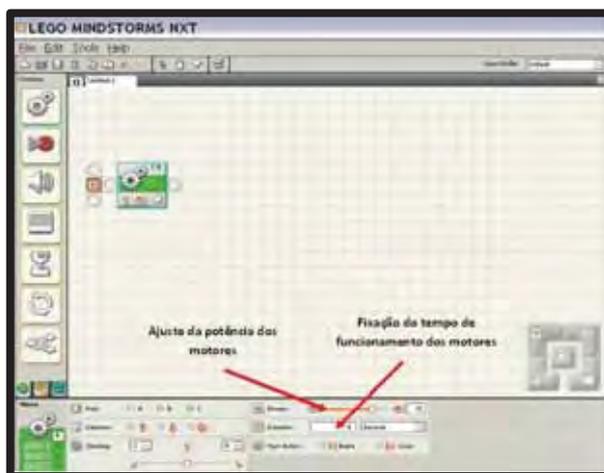


FIGURA 73 – Tela do software do LEGO Mindstorms, indicando ajustes de potência dos servomotores, e a fixação do tempo de acionamento destes motores em 5 segundos.

Para dar início à situação didática, que consistiria de efetuar medições do deslocamento do robô, foi utilizada uma fita métrica em alto relevo.

Como o cálculo da velocidade envolve três parâmetros (espaço, tempo, velocidade), uma delas foi escolhida como sendo constante, e as outras duas como sendo variáveis. Assim, o tempo foi escolhido como constante, tendo sido fixado em 5 segundos, possibilidade esta proporcionada pelo software do LEGO NXT Mindstorms, conforme mencionado anteriormente. A fixação desta variável foi para facilitar o entendimento do fenômeno por parte do aluno. Porém, para que houvesse alteração na velocidade do robô, utilizou-se dois valores de potência dos servomotores, possibilidade esta também proporcionada pelo mesmo software mencionado (valores de potência 50% e 100%, nas situações de ‘antes’ e ‘depois’, que será descrito abaixo).



FIGURA 74 – Utilização de fita métrica em alto relevo para medir espaço percorrido pelo robô (cálculo da velocidade).



FIGURA 75 – Detalhe da fita métrica utilizada na situação didática (ver explicação no texto).

A fita métrica utilizada possui marcação em alto relevo, a partir da origem até 10 centímetros, de 1 em 1 centímetro. Após o centímetro “10”, a marcações em

alto relevo segue apenas de 10 em 10 centímetros, até 100 centímetros (Figuras 74 e 75).

O objetivo desta situação didática foi estimar e ou calcular a velocidade de deslocamento do robô. Então, a atividade foi realizada em duas etapas. Para facilitar a compreensão da aluna, a atividade foi planejada de tal modo que a estudante pudesse fazer uma estimativa qualitativa do que ocorreria, sem necessidade de executar qualquer cálculo matemático (mental ou exato).

Vamos à descrição da atividade, utilizando a mesma estratégia de indicar com um número a ordem sequencial do evento, seguido da indicação temporal entre colchetes.

1- [13':00"] – Professor explica o que é velocidade.

2- [15' até 17'] – O robô é movimentado e a distância percorrida é medida (duas vezes).

3- [18':00"] Anotado o valor 57 centímetros (também foi explicado que corresponde ao valor 0,57 metros).

Inicialmente, a problematização colocada para a aluna é a seguinte:

SITUAÇÃO 1 - ANTES

Sabendo-se que a velocidade é

$$V = \text{Espaço}/\text{tempo}$$

Para o espaço inicial e tempo inicial (1), teríamos

$$V_1 = E_1/t_1$$

a) O tempo percorrido t_1 foi de 5 segundos

b) O espaço percorrido foi de 57 centímetros (0,57 metros)

Nesta primeira situação, a potência do motor é de 50%.

O pesquisador então solicita que a aluna faça o cálculo mental da velocidade, mas a aluna não consegue⁵⁹.

Então, o pesquisador executa o cálculo e diz à Mariana o valor encontrado (0,114 metros/segundo).

Em seguida, pergunta para a aluna o que poderá acontecer agora se dobrar o valor da potência do motor, em termos da nova distância percorrida, assim como do valor da velocidade. “**Poderá ser ‘maior’, ‘menor’ ou ‘igual’, e por quê?**” Mas Mariana não consegue fazer esta estimativa qualitativa, nem da distância nem da velocidade.

4- [19':04"] Começa o segundo cálculo de velocidade, com o motor com mais potência, a velocidade do robô será maior. É efetuada a ação de movimento do robô.

5- [20':18"] Professor mede a distância percorrida, e faz a aluna contar utilizando a fita métrica (107 centímetros)

6- [21':07"] - Após contar o centímetro '10', fala '11', ao invés de '20' (lembrando que a marcação em alto relevo é de 10 em 10 centímetros após o 10º centímetro).

7- [21':22"] – Ao chegar no 60º centímetro verbaliza o número '80' (professor corrige).

8- [21':33"] - Professor diz a distância final medida: 107 centímetros.

Então, passemos a descrever a parte matemática desta situação.

SITUAÇÃO 2 – DEPOIS

$$V_2 = E_2 / t_2$$

Dados:

a) O tempo $t_2 = t_1 = 5$ segundos

⁵⁹ Para esta mesma situação didática, os outros sujeitos da pesquisa, Paulo e Patrícia, conseguiram realizar o cálculo sem qualquer dificuldade.

b) A distância percorrida foi de 107 centímetros (1,07 metros).

Foi informado que a potência do motor agora é de 100% (portanto, provavelmente a velocidade será também o dobro, independentemente de qual seja esta velocidade).

O pesquisador explicou novamente a relação da velocidade com a distância, falando os valores obtidos e calculados. Pergunta se a velocidade sendo o dobro na segunda situação, o que deverá acontecer com o espaço, e ela não consegue responder.

Comentário: percebe-se nas duas situações do **'antes'** e **'depois'**, respectivamente, que Mariana não consegue ao menos fazer a estimativa qualitativa sobre o comportamento previsto para a variação da potência dos servomotores, o conseqüente aumento na velocidade (situação **'depois'**) e o conseqüente aumento na distância percorrida. Nesta situação didática, semelhantemente à Situação Didática 3, não demonstrou qualquer invariante operatório.

Situação didática 9 – Utilização da interface cérebro-computador para controlar o robô LEGO MINDSTORMS NXT 2.0

Nesta situação didática presumia-se que a aluna Mariana tivesse uma série de conhecimentos tátil-cognitivos incorporados através das situações didáticas anteriores, muito embora tivesse decorrido sete meses após as últimas situações didáticas de Física.

Da mesma maneira que na Situação Didática 4, a intenção aqui foi fazer com que o sujeito de pesquisa Mariana controlasse o robô ou seus componentes (servomotores) através da interface cérebro-computador Emotiv Epoc, e conseguisse associar ou fazer alguma correspondência entre o comportamento físico do robô com este controle através da interface.

Também nesta situação didática, que ocorreu após interferência junto ao trabalho de co-orientação com o professor Gérard Vergnaud, alguns procedimentos metodológicos e estratégicos com respeito ao procedimento

didático foram aperfeiçoados, reforçados e ou incrementados, todos procurando proporcionar maior autonomia nas ações ‘motoras-gestuais-cognitivas’ que seriam executadas por Mariana, ou seja, fazer com que a aluna efetuasse algumas coisas sozinhas, sem tanta interferência por parte do pesquisador:

- f) Utilização da Lógica: trabalho com seriação e classificação numérica, etc.;
- g) Valorizar ainda mais o mecanismo de ‘incorporação’, através de estratégias de repetição de movimentos corporais;
- h) Utilização de analogias, metáforas e transferências de aprendizagens (transposições didáticas);
- i) Formalismos (representação): propiciar a expressão de um grau de formalismo conceitual, talvez ainda não como uma finalidade, mas como um instrumento, principalmente através da escritura em Braille, utilizada como meio de comunicação e representação do conhecimento;
- j) Metacognição: discutir com o sujeito questões a respeito do que é um conhecimento, o que ela aprende, como sabe que está aprendendo, etc.

Entretanto, nem todos estes itens puderam ser desenvolvidos ou aplicados, isoladamente ou simultaneamente.

Passando à parte operatória da aula, surgiu um imprevisto, conforme explicado no Capítulo Materiais e Métodos. Devido a problemas técnicos que não puderam ser solucionados, não conseguimos o controle remoto através da interface. Isto, entretanto, não impediu que a situação didática fosse realizada, e a solução foi usar o modo ‘**off-line**’ do Software “NXT MindControl 1.0”, onde os movimentos são executados através do teclado, e cujo efeito robótico é o mesmo, conforme Figura 76. Este acionamento, entretanto, era executado pelo próprio pesquisador.

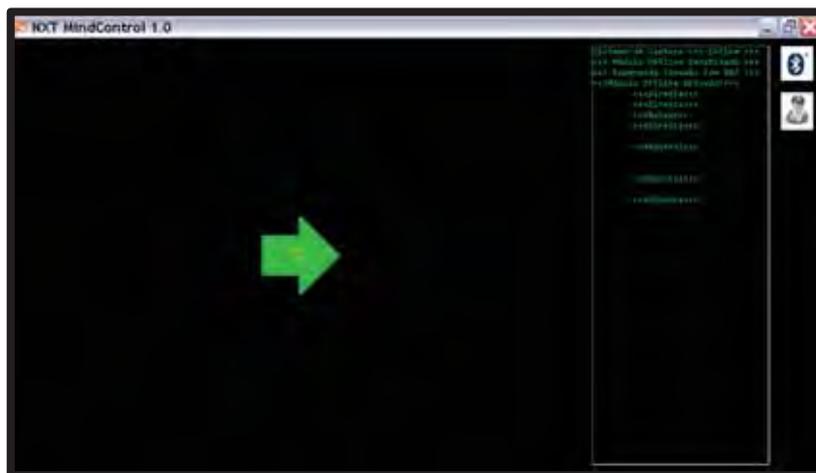


FIGURA 76 – Tela do Software NXT MindControl 1.0, operando no modo ‘off-line’, indicando o movimento para o lado direito.

Diversas peças LEGO foram utilizadas para esta situação didática: servomotores, a unidade central de processamento do NXT, rodas, pneus, engrenagens, pinos, eixos, conforme a Figura 77.



FIGURA 77 – Peças LEGO e unidade central de processamento utilizados na situação didática.

Logo que o pesquisador apresenta para Mariana as respectivas peças, explicando seu uso, a mesma por si só toma em suas mãos uma roda e encaixa o eixo em seu centro, sem que o pesquisador tivesse feito esta solicitação. Esta ação é mostrada na Figura 78.



FIGURA 78 – Mariana antecipa montagem da roda utilizando eixo, sem que o pesquisador tenha solicitado.

Em seguida, destacaremos alguns momentos desta situação didática, dividindo-a naqueles episódios que consideramos mais significativos.

Episódio 1 - Encaixe do pneu na roda

Pesquisador - Como você encaixa o pneu na roda? [aluna procura uma posição para o encaixe mas não consegue, conforme Figura 79]

Pesquisador - A roda fica por dentro do pneu.

Mariana - Assim? [imediatamente a aluna executa a ação com perfeição, mostrado na Figura 80]



FIGURA 79 – Aluna tenta encaixar a roda no pneu, sem êxito.



FIGURA 80 – Resultado final da montagem da roda com pneu.

Episódio 2 – Rapidez (Velocidade) de rotação dos motores

Pesquisador - *Quero que você perceba o sentido do movimento.*

Mariana - *Este está devagar. [servomotor do lado esquerdo da aluna. Na verdade a aluna antecipa por si só a fala ao dizer que está 'devagar', embora o que tenha sido solicitado era perceber o sentido da rotação, indicado pela Figura 81].*



FIGURA 81 – Percepção cognitivo-tátil da velocidade de rotação do servomotor do lado esquerdo.

Mariana - *Este está rápido.* **[aluna toca o servomotor do seu lado direito.]**

Comentário: até este momento, mesmo depois de ter manuseado e observado visualmente o funcionamento dos servomotores diversas vezes, o pesquisador não havia se dado conta que, de fato, o a rotação deste servomotor era mais rápida do que do outro. Observemos que ainda não convém falar rigorosamente em invariantes operatórios nestas falas em que Mariana diz que o movimento está ‘devagar’ ou ‘rápido’.

Pesquisador - *Este está rápido?*



FIGURA 82 - Percepção cognitivo-tátil da velocidade de rotação do servomotor do lado direito.

Pesquisador: *Agora quero que você perceba os dois.*

Mariana - *Os dois tá rápido.[aluna sente simultaneamente com o tato ambos servomotores]*



FIGURA 83 - Movimentação de ambos os motores simultaneamente.

Após isto, a ação é novamente repetida, e Mariana diz: *“Aumenta mais, vamos ver”*. Ao que o pesquisador explica que não é possível aumentar mais do que isto (não justifica o motivo).

Comentário: observemos que esta solicitação da aluna indica uma noção bem consciente de que existe a possibilidade de variação da velocidade. Na verdade, esta mesma experiência havia sido realizada na Situação Didática 3 (aula 2), quando a velocidade do robô era aumentada ou diminuída de acordo com a variação da potência do motor (ação sobre o torque).

Episódio 3 - Sentido da rotação

Agora o objetivo é a observação do sentido de rotação dos servomotores.

Pesquisador: *Agora, observa o sentido da rotação, tá? [é acionado o servomotor do lado esquerdo da aluna, ao que ela diz imediatamente]*

Mariana: *Devagar.*

Comentário: apesar de que não era o objetivo que a aluna falasse sobre a velocidade de rotação, ela repetiu corretamente a mesma observação sensorial do início, ou seja, que o servomotor de seu lado esquerdo é mais ‘devagar’.

Episódio 4 – Transmissão de força através de uma correia dentada

Neste outro momento da situação didática, a ideia é fazer com que a aluna amplie a percepção sobre o comportamento físico do sistema servomotor-rodapneu, acrescentando agora uma correia dentada que liga os dois servomotores-rodapneu. Com isto, seria possível fazer algumas estimativas físicas sobre a força (torque) entre os dois sistemas, alternando-se a aplicação desta força para um dos dois servomotores (direito ou esquerdo), ou os dois servomotores simultaneamente.

Com a aplicação da força em apenas um dos servomotores espera-se que a força seja menor, e com a utilização dos dois servomotores a previsão é de que a força e, conseqüentemente, a velocidade de rotação dos motores sejam maiores. A correia funciona como mecanismo de transmissão de força. Convém assinalarmos que, posteriormente, numa possível continuidade deste tipo de atividade, seria interessante e desejável que fosse efetuadas medições físicas utilizando-se algum instrumento ou técnica adequadas para que a fosse associada a ‘percepção tátil-cognitiva’ com o comportamento físico do equipamento, no caso, a variação no torque e da velocidade dos servomotores.

Na verdade, este aumento no torque, que produz o conseqüente aumento na velocidade de rotação dos motores é uma variável que foi definida anteriormente dentro do próprio software de controle da interface cérebro-computador que, no caso aqui considerado, está sendo acionado via o software “NXT MindControl 1.0”. Eventualmente este valor poderia ser alterado, mas não durante a execução da ação.



FIGURA 84 – Mariana percebe tátil-cognitivamente a montagem dos servomotores com a correia dentada.

Apresentamos trechos significativos da fala de Marina neste episódio.

Momento 1

Mariana – *Ele está anti-horário. [aluna fala isto espontaneamente, sem que o professor tenha perguntado nada sobre tal] E ele está rápido. [idem] Quando ele vai no anti-horário ele está rápido. Agora vamos ver no horário. [aluna dá esta ‘ordem’ para o professor] (continua)... Horário, ele vai mais rápido, no anti-horário não, no anti-horário ele vai mais devagar.*

Comentário: este trecho do episódio mostra claramente que Mariana expressou não apenas o **Esquema 5 – Fala autônoma**, mas ainda ações cognitivas mescladas de ‘antecipação’, ‘previsão’, ‘causalidade’ e talvez a ‘transitividade’. A antecipação já era uma constante na maioria dos episódios, mas a previsibilidade e a transitividade não eram tão evidentes e marcados.

A previsibilidade é um dos descritores da Matriz de Competências e Habilidades em Física, que se refere justamente à capacidade que o indivíduo teria de prever eventos, e está relacionado com a causalidade. No caso, a relação causal que Mariana estabeleceu foi: sentido de rotação horário > mais devagar, sentido de rotação anti-horário > mais rápido.

A transitividade é uma espécie de transposição sobre a compreensão de um fenômeno para outro fenômeno idêntico. É um conceito piagetiano (constructo

cognitivo) que não está contemplado adequadamente na Matriz de Competências e Habilidades de Física.

Pode-se inferir que Mariana teve como conceito em ação o ‘sentido de rotação’, e dois teoremas-em-ação: rotação horária produz movimento mais lento, rotação anti-horária produz movimento mais rápido, que podemos representar da seguinte maneira:

$$\Psi_3 \{\emptyset/\text{sentido de rotação horário}\} \Rightarrow \text{Th}_3 \{\text{movimento mais lento}\}$$

$$\Psi_4 \{\emptyset/\text{sentido de rotação anti-horário}\} \Rightarrow \text{Th}_4 \{\text{movimento mais rápido}\}$$

Observemos que Mariana não nomeia com alguma palavra ou expressão os sentidos da rotação (horário ou anti-horário), razão pela qual indicamos o símbolo \emptyset .

Momento 2

Neste momento, o professor irá explicar que irá conectar as duas rodas através da correia dentada. O estudo sobre sistemas de transmissão de forças foi feito exaustivamente por Leonardo da Vinci, e uma belíssima documentação sobre este assunto encontramos em “*Leonardo da Vinci*” (ZÖLNER e NATHAN, 2011, p. 574-619). A utilização de engrenagens, polias, roldanas, correias e outros sistemas mecânicos, conferem ao estudo do movimento de transmissão de forças uma página muito particular e especial na História da Ciência, já que introduziu conceitos até então completamente inexplorados pelos então ‘engenheiros’ da época. Entretanto, o detalhamento sobre as considerações físico-matemáticas sobre tal tema é algo bastante complexo, que mereceria uma análise muito detalhada. A ideia de trabalhar (qualitativamente e intuitivamente) com algumas destas noções é precisamente fazer com que isto pudesse se associar com análises de sistemas mecânicos utilizados na vida cotidiana como veículos, bicicletas, máquinas industriais, relógios, etc, objetos estes que são facilmente acessíveis a qualquer pessoa, inclusive o deficiente visual.

Em relação a situação didática, inicialmente é acionado um dos servomotores, depois o outro, e depois ambos ao mesmo tempo. Então, o pesquisador vai conduzindo a percepção da aluna para o que está ocorrendo, e a mesma vai fazendo várias interferências e inferências verbalmente e gestualmente.

Selecionamos os trechos mais significativos deste momento.

Mariana - *Esta vai mais rápido, viu? Sabe por que? Porque esta tem mais força. [aluna levanta a mão direita e bate sobre a roda do seu lado direito, indicando com o gesto o servomotor que acabou de executar a rotação, conforme Figura 85]*

e esta [aluna toca agora a outra roda, do lado esquerdo, de acordo com a Figura 86] tem menos força.



FIGURA 85 - Instante em que Mariana levanta sua mão direita para tocar sobre a roda do lado direito, indicando que a mesma executou 'mais força'.



FIGURA 86 - Na continuação do gesto anterior, Mariana agora vai tocar com a mão direita na roda do lado esquerdo, dizendo que tem 'menos força' (ver as falas descritas acima).

Mariana - *Porque assim: quando as duas rodas, quando as duas começam a rodar, a correia começa também a 'andar'...(continua) Porque está mexendo as duas rodas, e a correia. Agora, com uma roda só, ela não roda, olha lá. Ela não roda, ela não movimenta. Porque está parado.*

Pesquisador – *Porque é pouca força. (continua) Se eu coloco uma roda só, a força é menor. E se eu coloco as duas...[são acionados simultaneamente os dois servomotores]*

Mariana – *As duas é maior.*

Pesquisador – *Tanto de um lado... [sentido horário de rotação].*

Mariana – *Tanto do outro. [sentido anti-horário de rotação].*

Pesquisador – *Se eu coloco uma roda só...*

Mariana – *Ela não movimenta...porque tá menos força, e que as duas tá com mais força.*

Comentário: Talvez neste momento, pela primeira vez durante todas as situações didáticas trabalhadas, Mariana começa a elaborar explicações fundamentadas em seus próprios esquemas e consequentes conceitos e teoremas-em-ação.

Mais importante do que isto, utiliza-se de argumentações elaboradas por ela mesma, o que não ocorria anteriormente. Seus esquemas de aprendizagem ficarão mais evidentes a partir de então, tendo como base cognitiva o conjunto dos ‘esquemas (esquemas de 1 a 7, descritos na primeira parte da análise)’ que foram desenvolvidos anteriormente e que acabaram sendo incorporados em sua estrutura cognitiva.

Isto fica evidente através dos gestos cognitivos e ainda, principalmente, pelas expressões verbais que utilizou nas falas acima, sem que o pesquisador tivesse perguntado ou induzido qualquer questionamento. Exemplos:

“Sabe por que?...”

“Porque...”

“Porque assim...”

“Agora...”

Da análise desta parte podemos inferir os seguintes invariantes operatórios:

Conceito-em-ação:

1- Maior rapidez resulta em mais força;

Ψ_5 {maior rapidez/maior velocidade angular de rotação} \Rightarrow Th₅
{mais força}

Ψ_6 {menor rapidez/menor velocidade angular de rotação} \Rightarrow Th₆
{menos força}

2- Menor rapidez resulta em menos força.

Teorema-em-ação: os teoremas seguintes não estão necessariamente associados a um conceito-em-ação, embora estejam vinculados a conceitos categoriais (LEMEIGNAN e WEIL-BARAIS, 1993, p.53), que vamos designar pela notação ξ . Assim:

ξ_1 {uma roda/roda} \Rightarrow Th₇ {produz menos força, pouco movimento}

ξ_2 {duas rodas/rodas} \Rightarrow Th_8 {produz mais força, mais movimento}

É claro que poderíamos ter considerado que estes dois conceitos categoriais anteriores fossem conceitos-em-ação. Entretanto, fizemos esta diferenciação não para dizer que conceitos categoriais não podem ser considerados conceitos-em-ação, mas sim apenas para evidenciar que tais conceitos sobrevieram da constatação perceptiva direta (mais no nível da primeiridade semiótica), correspondendo muito mais a uma 'estrutura empírica da linguagem', do tipo fundamental tátil (CAMARGO, 2011, p.19), do que propriamente pertencendo a 'estrutura semântico-sensorial da linguagem' que, então, estaria mais no nível da secundidade semiótica, aproximando-se ou equivalendo-se a um verdadeiro invariante operatório.

Prosseguindo.

Pesquisador – *Esta força que faz a roda movimentar tem um nome, chama 'torque'.*

Mariana – *Torque, é mesmo... [teria lembrado do nome do conceito trabalhado há 7 meses atrás? Vejamos a seguir] (continua)*

Mariana – *Aquilo lá que eu escrevi na folha. [de fato, não há dúvida de que ela se lembrou do nome do 'torque', que foi registrado numa das aulas na escrita em Braille].*

Comentário: é inequívoco neste momento da aula que a aluna teve uma lembrança do conceito de torque trabalhado anteriormente, ainda que do ponto de vista operacional este conceito possa não ter sido 'incorporado' cognitivamente de uma maneira tão efetiva. O fato é que a memória de longo prazo (mais de seis meses) para este conceito foi manifestada e, neste sentido, o papel da representação (no caso, a escrita em Braille) parece ter sido decisiva para isto.

Convém salientarmos através deste (simples) momento da situação didática que fica absolutamente demonstrado que Mariana provavelmente é um

indivíduo com sua cognição aparelhada do mecanismo de memória de médio e longo prazo o que contraria qualquer hipótese de que a mesma fosse uma pessoa com algum grau de deficiência intelectual, já que, mesmo na deficiência intelectual moderada a memória de longo prazo é muito baixa ou praticamente inexistente, o que não foi o caso.

Com esta situação didática concluímos a apresentação dos dados relativos ao Corpus 1 – Didática.

A título de síntese, descrevemos abaixo os invariantes operatórios que emergiram das situações didáticas analisadas, agrupando as palavras ou expressões utilizadas pelo sujeito Mariana:

Ψ_1 {fazer força, pesado/força potente} \Rightarrow Th₁ {levantar o objeto}

Ψ_2 {massa/força resistente} \Rightarrow Th₂ {resiste}

Ψ_3 {Ø/sentido de rotação horário} \Rightarrow Th₃ {movimento mais lento}

Ψ_4 {Ø/sentido de rotação anti-horário} \Rightarrow Th₄ {movimento mais rápido}

Ψ_5 {maior rapidez/maior velocidade angular de rotação} \Rightarrow Th₅
{mais força}

Ψ_6 {menor rapidez/menor velocidade angular de rotação} \Rightarrow Th₆
{menos força}

E os conceitos categoriais seguintes que conduziram aos respectivos teoremas-em-ação:

ξ_1 {uma roda/roda} \Rightarrow Th₇ {produz menos força, pouco movimento}

ξ_2 {duas rodas/rodas} \Rightarrow Th₈ {produz mais força, mais movimento}

6.1.1 Representações

Estamos chamando de representações: gestos, expressão verbal (oralidade), mapas, desenhos, esquemas, escrita. No nosso caso, nos concentraremos em alguns esquemas que foram utilizados durante as situações didáticas, bem como em algumas produções escritas em Braille desenvolvidas pelo sujeito Mariana.

Estas produções em Braille eram sempre realizadas na própria Sala de Recursos. Posteriormente à sua realização, a professora desta sala corrigia o texto, e a aluna refazia o mesmo. Seus conteúdos sempre eram relacionados com o tema da situação didática trabalhada.

Representando forças

A representação respectivamente das forças ***potente*** e ***resistente*** em uma alavanca, desenvolvidas a partir da Situação Didática 1, foi realizada utilizando-se duas flechas em material plástico (imã de geladeira) recortado. A força potente era a flecha lisa, e a força resistente a flecha serrilhada, conforme Figura 87.

Após explicação por parte do pesquisador, Mariana representava o que lhe era solicitado. Assim, na Figura 88 vemos tal momento ao ser utilizado uma alavanca com peças LEGO.

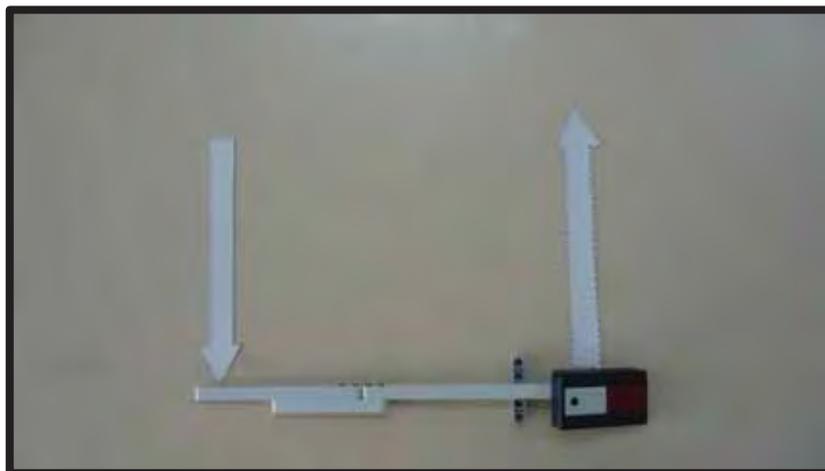


FIGURA 87 - Representação das Forças Potente e Resistente numa alavanca utilizando flechas lisa (esquerda) e serrilhada (direita). A alavanca (as três barras na horizontal) e o ponto de apoio (barra na vertical) foi construída com material do kit LEGO Mindstorms NXT 2.0.

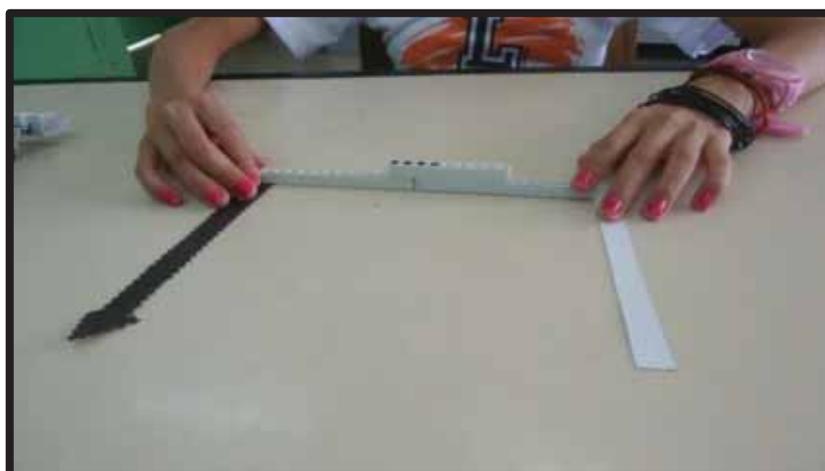


FIGURA 88 - Aluna Mariana representando forças Potente (seta lisa) e Resistente (seta serrilhada).

Representação gráfica

O sujeito Mariana, conforme mencionado anteriormente, desconhecia qualquer tipo de representação gráfica matemática ou física.

Para expressar a noção de '***crescimento linear***', após o contato tátil com gráficos desenhados em alto relevo, o pesquisador solicitou a Mariana que

tentasse utilizar uma tela plástica perfurada (Figura 89) para tal representação. O resultado está apresentado nesta mesma figura, onde podemos perceber excelente apreensão do conceito trabalhado.

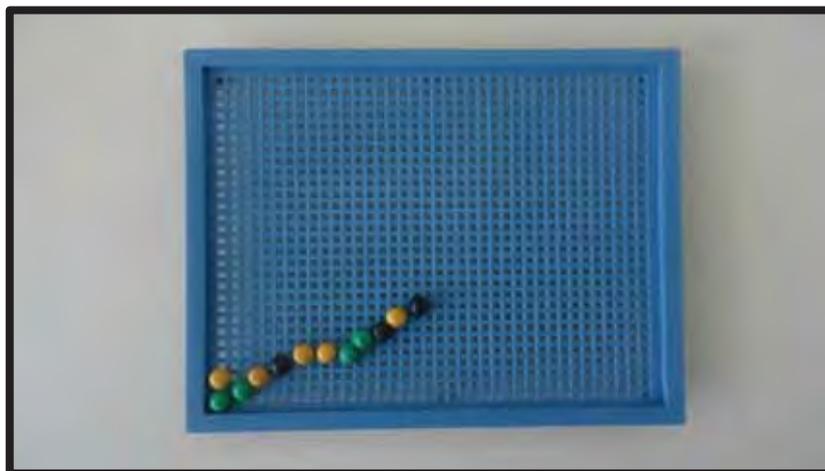


FIGURA 89 - Gabarito plástico perfurado utilizando semiesferas para representação gráfica de comportamento de 'crescimento linear'. Realizada por Mariana na Situação Didática 1.

Representação escrita em Braille

Nas Figuras 90 e 91 estão representadas a escrita relativa aos conceitos que foram trabalhados nas situações didáticas indicadas. A finalidade desta representação era exatamente o enriquecimento do repertório (vocabulário) conceitual e a fixação do conhecimento.

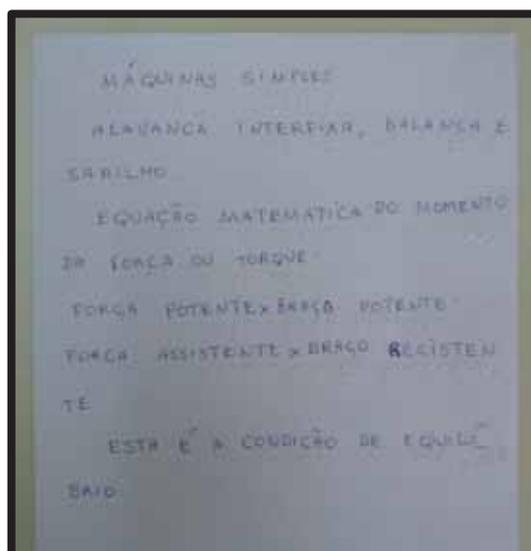


FIGURA 90 - Texto em Braille dos conceitos físicos aprendidos durante Situação Didática 1 (Força, Torque ou Momento de Força, Rotação, Intensidade de força).

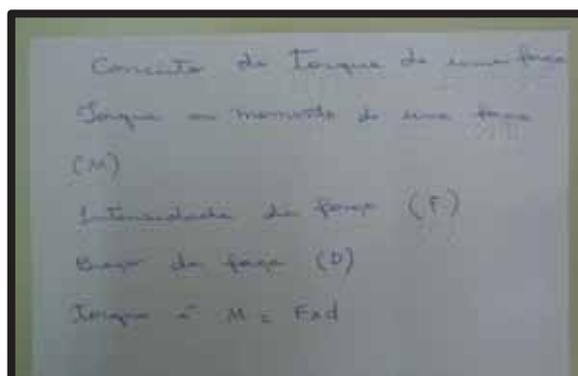


FIGURA 91 - Texto em Braille com conceitos: Torque, intensidade de força, braço de força (Situações Didáticas 2 e 3)

Representação esquemática

Trata-se aqui de tentar representar um fenômeno físico, no caso, a máquina simples chamada 'plano inclinado' (Situação Didática 9). Para isto, o objetivo era construir um desenho esquemático que ilustrasse no plano bidimensional o objeto que foi preparado para servir como plano inclinado (conforme Figuras 41 e 42).

Para isto foram utilizadas duas estratégias. A primeira consistiu na utilização de uma prancheta de madeira, com apoio de borracha e uma superfície rugosa (com pequenos furos). Este material foi desenvolvido pela professora da Sala de Recursos e eventualmente era empregado com Mariana para realização de desenhos em alto relevo. Na Figura 92 podemos ver tal ferramenta.

Outra estratégia, foi então realizar o desenho do plano inclinado fazendo uma analogia com um triângulo retângulo. Para isto, foi utilizado um esquadro plástico para que Mariana tivesse noção daquilo que seria realizado. O resultado final está mostrado na Figura 92. Convém dizer que para chegar a isto, foram realizados diversas tentativas, alterando-se a altura do plano inclinado em relação ao solo.



FIGURA 92 - Prancheta com apoio de borracha e tela perfurada para construção de desenhos ou figuras em alto relevo (utilizado na Situação Didática 9).

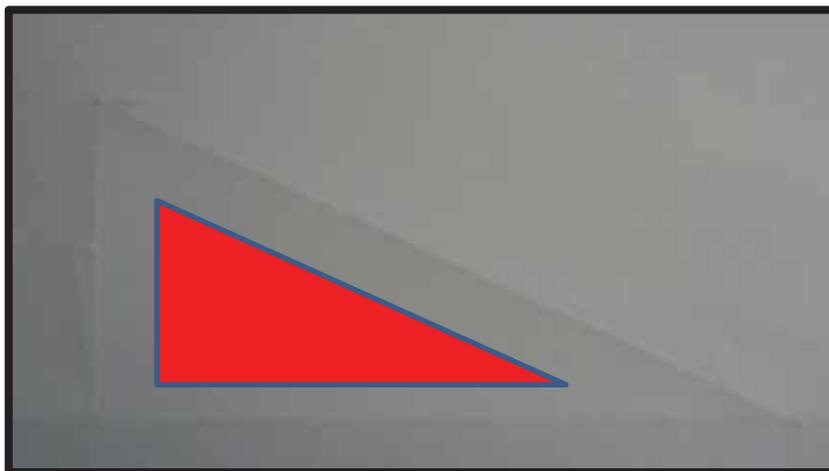


FIGURA 93 - Representação do plano inclinado realizada por Mariana na Situação didática 9 (o triângulo em vermelho é apenas uma indicação comparativa).

Representação através de analogia didática

Neste tipo de representação, algum objeto é usado como analogia para um fenômeno. Na Figura 94 (Situação Didática 9), para exemplificar o sentido de rotação (horário e anti-horário) de rotação dos servomotores, foi utilizada uma caixa de pizza representando um relógio. Este recurso, desenvolvido anteriormente pela professora da Sala de Recursos, já era conhecido pela aluna Mariana, e foi trabalhado naquela situação didática, justamente para auxiliar em sua compreensão fenomenológica.



FIGURA 94 –Representação através de analogia: uma caixa de pizza é utilizada como representação de um relógio.

6.2 Corpus 2 – Ergonomia

Os dados da Corpus 2 trazem informações sobre parâmetros ergonômicos envolvendo o uso do equipamento interface cérebro-computador Emotiv Epoc, que são: usabilidade, comunicação e navegabilidade em espaços virtuais, carga cognitiva, uso este que foi realizado em duas fases dentro do projeto como um todo:

- a) Fase preparatória (antes do uso com os sujeitos da pesquisa)
- b) Fase de utilização com os sujeitos da pesquisa

Usabilidade: será definida pelos parâmetros **eficiência, eficácia e satisfação**.

Parâmetro Eficiência: vamos tomar como medidas de eficiência o tempo para se completar uma tarefa, as tarefas completadas dentro de uma unidade de tempo e o custo necessário para se chegar em determinada tarefa.

No caso da interface cérebro-computador Emotiv Epoc temos:

Tempo para completar uma tarefa:

Atividade de treinamento cognitivo: foi a atividade desenvolvida antes do uso da interface para controle da unidade robótica. Em geral, para o treinamento cognitivo, o tempo médio varia de uma até duas semanas, dependendo da habilidade do usuário. Este tempo é relativamente baixo quando comparado com equipamentos muito mais sofisticados. No caso desta pesquisa, o tempo médio de treinamento esteve na ordem de 3 dias, considerando um treinamento de aproximadamente 30 minutos diários, intercalados entre um dia e outro.

Atividade pós-treino cognitivo: após o período de treinamento cognitivo, que consistia do treino para movimentação do cubo virtual no software do “Control Panel”, o tempo decorrente entre a instalação do head-set (com os 14 sensores) e o acionamento do cubo virtual ou do robô era em torno de 15 minutos. Entretanto, este tempo aumentava caso houvesse problema de

contato elétrico nos eletrodos do head-set, ou então problema na conexão wireless entre o sinal do moden conectado ao computador e o head-set.

Para o uso da interface nas funções de monitoramento da atividade elétrica, ou seja, eletroencefalograma e ritmos cerebrais, não era necessário nenhum período anterior de treinamento. Quer dizer, bastava que o equipamento estivesse conectado para que seu uso fosse iniciado.

Tarefas completadas dentro de uma unidade de tempo:

A interface Emotiv Epoc pode executar várias tarefas simultaneamente, como: acionamento de dispositivo robótico, registro da atividade elétrica através do eletroencefalograma e registro da atividade elétrica através dos ritmos cerebrais. Estas tarefas eram executadas simultaneamente sem que houvesse qualquer interferência ou desligamento de qualquer um dos softwares.

Existe um processamento paralelo que inclui simultaneamente a operação dos seguintes softwares: Control Panel, Testbench, EmotivEpoc Brain Activity Map, Emo3D Brain Map Premiun, NXT Mind Control. Na verdade, todos estes softwares trabalham ainda simultaneamente com outro software de controle da própria interface, que se chama EmoEngine.

Outro software foi acrescentado recentemente, após o encerramento da coleta de dados que envolveu as situações didáticas com o sujeito Mariana, que consiste de um programa de proporciona um *feedback* auditivo em relação às direções de acionamento do movimento do robô, conforme podemos constatar pela Figura 95, que indica o controle para o lado direito. Observemos que foi colocada uma letra de cor amarela corresponde ao movimento apenas para efeito de funcionamento do próprio programa, que emite um aviso sonoro desta direção. Este aplicativo⁶⁰ foi desenvolvido pelo doutorando Ms. Mauro Pichiliani, a partir de uma adaptação em trabalho similar publicado recentemente no “2012 Brazilian Symposium on Collaborative Systems” (PICHILIANI et al., 2012).

⁶⁰ Parte do código em linguagem C, C# e JAVA[®] deste trabalho estão descritos em <http://imasters.com.br/artigo/23850/tendencias/estudando-uma-interface-neural/>

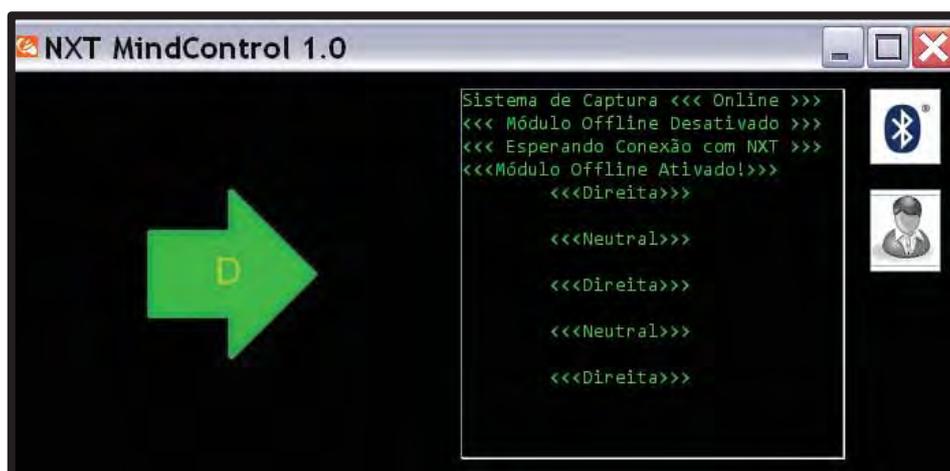


FIGURA 95 – Software NXT Mindcontrol com adaptação para feedback sonoro indicando a direção que o robô está se movimentando.

Embora não possamos ter tido tempo hábil suficiente para testar a funcionalidade deste *feedback* sonoro, tal possibilidade foi amplamente discutida na fase de qualificação deste trabalho, como sendo uma importante e necessária ferramenta para que o deficiente visual pudesse ter uma noção exata da direção de deslocamento do robô.

Custo para se chegar a determinada tarefa

O único custo para funcionamento do equipamento é com relação ao processo de acionamento e limpeza dos eletrodos. Para acionamento dos eletrodos utiliza-se a solução indicada em materiais e métodos (Renu Bausch & Lomb Plus, solução isotônica estéril contendo Ácido Bórico, edeato dissódico, Borato de Sódio e Cloreto de Sódio; polaxamina e DYMED), cujo valor para 500 ml é aproximadamente R\$50,00, e sua durabilidade é em torno de 30 vezes.

Para a limpeza dos eletrodos utiliza-se qualquer removedor de oxidação, cujo custo é em torno de R\$ 5,00 um frasco com 250 ml.

Eventuais custos adicionais para implementações ou adaptações de softwares, como, por exemplo, toda parte de controle do robô e, recentemente, o software para o monitoramento do feedback sonoro, praticamente teve custo zero, já que seus autores não cobraram para tal.

Parâmetro Eficácia

A eficácia em nosso caso vai tratar de dizer o quanto nosso sistema conseguiu cumprir com seus objetivos. Para os dois usos ou tarefas que desenvolvemos com a interface cérebro-computador, que foram o controle de uma unidade robótica, e o monitoramento de algumas funções neurocognitivas, teremos que proceder uma análise separada.

Tarefa 1 - Controle da unidade robótica

Porcentagem de objetivos alcançados

Para o uso específico de controle da unidade robótica, considerando apenas e tão somente os três usuários ou sujeitos de pesquisa neste trabalho (não considerando a fase anterior de teste e ajuste do equipamento), no total foram cinco situações didáticas, sendo que, efetivamente, em apenas uma delas a interface cérebro-computador não funcionou. Em termos percentuais, isto corresponde a 80% de eficácia, valor que não é ainda o ideal, mas que poderíamos considerar como aceitável, diante das condições em que trabalhamos.

Entretanto, provavelmente uma variável que influenciou neste percentual foi o baixo rendimento do sistema operacional utilizado no computador onde os softwares mencionados estavam instalados (Windows XP) em relação à configuração de hardware utilizado no mesmo (processador Intel i5, memória RAM de 4 GB, 779 MHz). Este problema ocasionava uma resposta muito lenta entre o sinal wireless e de bluetooth interface-computador-robô, fazendo com que diversas vezes o próprio acionamento do robô se tornasse lento e até deixasse de funcionar.

Porcentagem de usuários completando a tarefa

Neste quesito o percentual foi completo, ou seja, todos os usuários conseguiram fazer uso da interface. Lembrando que estamos considerando aqui dois tipos de usuários: o pesquisador e o usuário sujeito de pesquisa.

Acurácia das tarefas completadas

A acurácia é a relação entre o que se espera teoricamente e o que se obtém empiricamente. Para as finalidade e objetivos a que este projeto se propôs, podemos dizer que tivemos 100% de acurácia, já que as únicas tarefas que objetivamos foi o acionamento dos servomotores do robô para as direções que corresponderiam ao deslocamento para a direita, esquerda, para frente e para trás. Ou seja, não estamos aqui considerando possíveis variações ou ações eletrônicas/mecânicas intermediárias para estas ações como, por exemplo, um controle fino da velocidade, um acionamento dos servomotores por unidade de grau ou em radiano (funções estas que o software do kit LEGO Mindstorms NXT 2.0 realiza com extrema precisão).

Tarefa 2 - Monitoramento das funções neurocognitivas

Porcentagem de objetivos alcançados

Para esta função podemos considerar que todo sistema funcionou sem nenhum problema, embora haja um '**delay**' (atraso no tempo de resposta) de aproximadamente 0,5 segundo para os softwares Testbench e Emo3DBrain Map Premiun responder quando, por exemplo, uma ação motora é executada.

Convém mencionar ainda que de acordo com a literatura especializada, comparando a funcionalidade da interface Emotiv Epoc para esta função de monitoramento elétrico via EEG e ritmos cerebrais, praticamente não houve eventos chamados 'artefatos', que são as interferências do tipo elétrico provenientes de campos eletromagnéticos do ambiente. Muito provavelmente o motivo para isto seja um sofisticado sistema eletrônico embarcado de filtragem.

Porcentagem de usuários completando a tarefa

Também neste item tivemos 100% de usuários que completaram a tarefa, considerando tanto o usuário pesquisador quanto os usuários sujeitos de pesquisa.

Acurácia das tarefas completadas

Este é um item de grande importância para a pesquisa, principalmente se considerarmos que o equipamento Emotiv Epoc não é um equipamento específico para aquisição de dados neurocognitivos. Entretanto, conforme já mencionado anteriormente no Capítulo 3, a confiabilidade técnica dos dados que o equipamento consegue gerar é equivalente a equipamentos profissionais do mercado.

Um dos exemplos disto é a leitura da chamada ‘transformada de Fourier’ utilizada pelo equipamento, através do software ‘Testbench’, como pode ser observado pela Figura 96 onde temos uma leitura em *real time* da variação entre a taxa dos ritmos elétricos (delta, theta, alpha e beta, respectivamente) através de um gráfico dinâmico de colunas. Esta leitura foi obtida em uma das seções empíricas com o sujeito Paulo.



FIGURA 96 – Layout do software TestBench utilizado para aquisição de dados do EEG e ritmos cerebrais, mostrando a função FFT (transformada de Fourier) e respectivos ajustes e gráficos de monitoramento em *real time*.

Observa-se pelo software o gráfico em dB (decibel) do sinal elétrico em função da frequência (em Hz). Posteriormente, estas informações podem ser convertidas em dados numéricos, e receber o devido tratamento estatístico, conforme mostraremos depois na apresentação dos dados da parte neurocognitiva.

Estes dados podem também ser comparados aos dados que são gerados pelo software Emotiv Epoc 3DBrain Activity Map. Na Figura 97 vemos o mesmo evento da figura anterior, porém agora com a atividade elétrica dos ritmos cerebrais sendo interpretadas através da função topológica tridimensional.

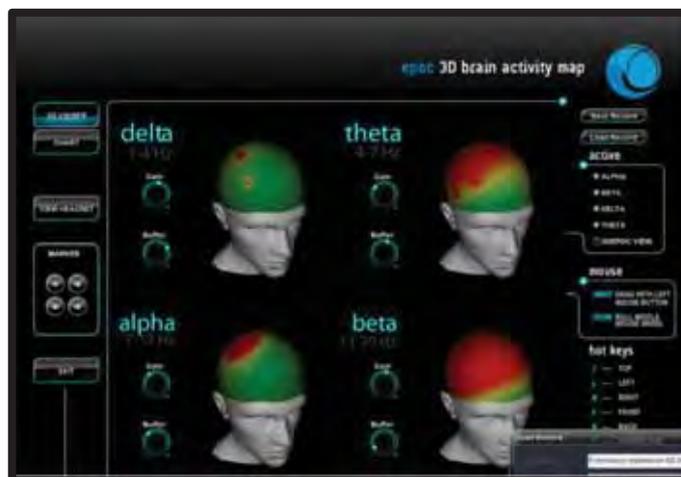


FIGURA 97 – Atividade dos ritmos cerebrais, oferecendo interpretação complementar mais detalhada em relação ao software Testbench.

Por tudo isto, o equipamento equivale a maioria dos aparelhos profissionais, podendo, assim, ser também utilizado a nível da pesquisa científica, como é o caso aqui tratado.

Além disto, todos os layouts deste software remetem a funções operacionais que são consistentes entre si.

Parâmetro Satisfação

A satisfação é um fator relativamente subjetivo, contudo, procuramos dar uma interpretação mais objetiva. Para isto, também levaremos em conta os dois tipos de usuários para a interface cérebro-computador: usuário pesquisador, e usuário sujeito de pesquisa.

Para ambos os usuários, consideramos importante os seguintes itens de análise de satisfação: facilidade de aprendizagem, desconforto no uso, tratamento de erros.

Facilidade de aprendizagem

Para ambos os usuários (pesquisador e sujeito de pesquisa), o principal software para uso da interface, que é o ‘Control Panel’, não oferece qualquer dificuldade em termos da aprendizagem de suas tarefas.

Embora tenhamos nos concentrado apenas na função “Cognitive Suite”, através da qual foi realizado todo treinamento cognitivo para acionamento dos movimentos do robô, conforme explicado em Materiais e Métodos.

Contudo, o que falta no projeto do Control Panel e na função “Cognitive Suite” é um feedback do tipo sonoro, indicando o estado de êxito do treinamento cognitivo. Atualmente, no software original este feedback é apenas visual, conforme pode ser constatado na Figura 98.



FIGURA 98 – Software Control Panel, na função Cognitiv Suite. Observe a escala na cor verde do lado esquerdo, que proporciona feedback visual sobre a intensidade do treinamento cognitivo.

Desconforto no uso

Em aproximadamente 10 horas de uso do equipamento com os três usuários que participaram como sujeitos de pesquisa, não houve qualquer relato sobre incômodo causado pelo equipamento. Procurou-se não ultrapassar 30 minutos de uso ininterrupto com o equipamento, mesmo que a seção de treinamento, as situações didáticas ou ainda os experimentos empíricos do quase-experimento tivesse até 60 minutos totais de duração.

O sujeito Mariana, foco principal de análise das situações didáticas, apresentou apenas uma dificuldade inicial de ajuste do *head-set* devido ao fato de que sua caixa craniana ser de tamanho menor que a média dos adultos. Contudo, após a identificação dos pontos elétricos dos eletrodos, efetuados pelo software do equipamento, não houve qualquer problema posterior para que o software do “Control Panel” identificasse este (ou qualquer outro) usuário.

Por outro lado, para o usuário pesquisador, devido ao fato de que o mesmo teve necessidade de executar aproximadamente 20 seções de treinamento antes do equipamento ser utilizado com os sujeitos de pesquisa, o que envolvia seções onde permanecia-se até 120 minutos com o *head-set*, houve significativo desconforto.

Este desconforto incluía cansaço ou fadiga mental, uma espécie de irritabilidade no couro cabeludo, cuja solução era conseguida apenas com a retirada do equipamento. Aventamos se estas sensações poderiam ter sido causadas pela pressão mecânica dos eletrodos (ainda que possuam os feltros de contato). Mas este não parece ser o motivo.

Investigando mais a fundo o funcionamento do equipamento, verifica-se que o mesmo trabalha com a técnica P300 de potenciais evocados. Isto significa que o equipamento gera sinais elétricos (ainda que não invasivos e inócuos), na forma de pequenas correntes galvânicas. Normalmente, as correntes galvânicas, por menores que sejam, causam certo desbalanceamento na função Cálcio-Potássio da membrana celular, com alterações fisiológicas como variação no pH (potencial de hidrogênio), fazendo que o nível de acidez celular possa ser aumentado. Com isto, a sensação fisiológica de irritabilidade pode ser acentuada, já que a acidez causa o chamado ‘prurido’ (nome técnico para a coceira).

Outro relato importante é com relação ao desconforto causado pelo próprio desenho ergonômico que, em nossa opinião, está muito mal projetado, fazendo com que os feltros utilizados para contato elétrico constantemente desloquem-se dos receptáculos elétricos.

Além disto, apesar da possibilidade de fácil remoção destes feltros, o processo de manutenção e limpeza deve ser realizado sempre após o uso, já que ocorre a oxidação dos eletrodos, o que contamina os mesmos e também estes feltros, podendo induzir o surgimento dos chamados artefatos (interferências no sinal elétrico). Na Figura 99 é mostrado o conjunto de feltros utilizados nos sensores da interface Emotiv Eloc.



FIGURA 99 – Sensores de feltro utilizado nos sensores do head-set da interface Emotiv Eloc. Aqui, estão acondicionados em estojo para armazenamento e transporte.

Tratamento de erros

Esta é uma parte bastante crítica no projeto do equipamento ou do software, principalmente o “EmoEngine”. Isto porque o sistema não possui qualquer mecanismo de software que informe o usuário sobre o motivo do erro, histórico destes erros e possíveis recuperação, como qualquer simples **‘log de erro’**. Ocorre que, durante várias vezes, conforme relatamos anteriormente, durante o uso, principalmente na fase de controle com o equipamento robótico, era comum que tivéssemos que reiniciar toda a série de softwares, incluindo o “Control Panel”, ou “Emokey”, até mesmo o “Testbench” e o “Emo3DBrain Map Premiun”.

Isto sempre trazia como consequência qualquer possível desenvolvimento de planejamento para o tratamento de erros, deixando o usuário sempre a mercê

do fato estatístico do azar. Contudo, sejamos justos em lembrar que originalmente o conjunto de softwares de fábrica do Emotiv Epoc não foi projetado para trabalhar como controlador de dispositivos robóticos, embora que, evidentemente, uma interface cérebro-computador é arquitetada pensando-se nesta possibilidade.

Comunicação e navegabilidade em espaços virtuais

Conforme abordado no Capítulo 4, os parâmetros para análise do quesito ‘comunicação e navegabilidade em espaços virtuais’ do conjunto software-hardware envolvendo a interface cérebro-computador Emotiv Epoc, segundo a adaptação que avaliamos (ou seja, utilizando-se uma unidade robótica LEGO Mindstorms NXT 2.0 em aulas de Física para deficientes visuais), serão: habilidade espacial e habilidade verbal.

Habilidade espacial: este foi talvez o aspecto ergonômico mais delicado e crítico do projeto. O problema residia no simples fato de que os sujeitos da pesquisa, pessoas deficientes visuais, não possuíam qualquer feedback da posição do robô durante seu deslocamento.

Na verdade, este não era um ponto a ser resolvido ou solucionado neste projeto, já que envolveria uma série de fatores que demandariam grande tempo e considerável elevação no custo de outros equipamentos como, por exemplo, uma interface háptica adaptada, do tipo uma ‘linha Braille’, ou mesmo determinadas tecnologias de ‘touchpad’ (mouse tátil).

Isto era um problema crítico porque segundo a literatura (JENNINGS; BENYON, 1992, p.243-256), para cada tipo de usuário teríamos que ter uma configuração específica para se adequar à habilidade espacial que uma interface poderia oferecer. E isto dependeria do tipo e do estilo da interface.

O máximo que conseguimos foi uma adaptação junto ao software “NXT MindControl” que fornece um *feedback* sonoro sobre a direção do deslocamento do robô. Como já relatamos isto no item anterior **Tarefas**

completadas dentro de uma unidade de tempo, não iremos repetir a mesma explicação aqui.

Como exemplo da complexidade que isto envolveria, para o usuário Mariana teríamos que ter uma configuração diferente comparando-se, por exemplo, ao usuário Patrícia, que apresentava, além da deficiência visual, as limitações funcionais em sua mobilidade física (mãos, braços, pernas, etc.).

Mas também devemos lembrar que não tínhamos como propósito explorar esta função de habilidade espacial em tal projeto.

Habilidade verbal

Se pensarmos apenas nas situações didáticas (aulas de Física) ocorridas durante a execução desta pesquisa e, especificamente nas duas principais situações didáticas (4 e 9, respectivamente) onde tivemos o uso da interface cérebro-computador para controle do robô, diríamos que tudo que se relacionou à 'habilidade verbal' parece ter sido plenamente satisfeito. E a principal razão foi o próprio processo comunicativo dialógico estabelecido durante as referidas aulas de Física.

Entretanto, outras estratégias foram até planejadas mas não foram utilizadas por considerarmos inadequado devido ao contexto da própria dinâmica da Sala de Recursos atualmente em uso, principalmente em relação ao sujeito de pesquisa Mariana (foco de análise das situações didáticas). Assim, uma das estratégias e ferramentas relacionada com a 'habilidade verbal', seria o uso de softwares como o MECDaisy, que é um editor de áudio livros. No caso, teria sido possível editar textos neste formato digital que, posteriormente, fossem estudados pelo sujeito de pesquisa fora do horário normal de aula. Apesar da distribuição deste software feita através do Ministério da Educação (MEC), nossa opção pelo não uso deste recurso foi porque a Secretaria de Estado da Educação ainda não homologou a autorização de seu uso nas escolas estaduais. Outro fator foi que para o uso deste programa seria preciso que a aluna tivesse um leitor no formato 'daisy' em algum computador em sua residência, ou ainda outro dispositivo eletrônico (iPAD, IPOD, tablet, etc.) para isto.

A escrita em Braille realizada pelo sujeito Mariana, também contribuiu em grande medida para este aspecto, o que esteve sempre mediado pela professora da Sala de Recursos, já que o pesquisador não domina tal linguagem.

Portanto, o item ou parâmetro 'habilidade verbal' foi algo que esteve no nível da própria comunicação humana.

Carga cognitiva

Conforme mencionado no Capítulo 4, dois parâmetros serão considerados nos dados: operações mentais e nível de atenção.

Lembrando sempre que nosso referencial de análise se refere aos momentos de uso da interface cérebro-computador nas duas tarefas que foram trabalhadas na pesquisa (controle do robô e aquisição de dados neurocognitivos).

Segundo Leplat (2000, p.67-72) a carga cognitiva é um constructo, ou seja, uma construção teórica e, por este motivo, torna-se um parâmetro muito complexo de ser transformado em algo mensurável. Mesmo assim, alguns parâmetros podem ser utilizados, como: indicadores fisiológicos, indicadores que emergem da atividade, indicadores que emergem da própria noção de carga e, finalmente, indicadores indiretos de avaliação.

Neste trabalho preferimos utilizar os indicadores que emergiram da atividade, conjuntamente com aqueles que surgiram da noção de carga cognitiva, e que foram anotados em planilha e registrados em vídeo e áudio e posteriormente analisados, escolhidos através do método da "amostragem proposital" (*purposive sampling*).

Tarefa 1 - Controle da unidade robótica

Operações mentais

Para que eventualmente não produzíssemos nenhum efeito indesejável de carga cognitiva, decidiu-se utilizar nas situações didáticas onde foi utilizada a

interface cérebro-computador o mesmo tempo recomendado para a etapa de treinamento com a interface, que era de aproximadamente 30 minutos, segundo o Protocolo Ecolig (MIGUEL, 2010). Na verdade, mesmo que a situação didática tenha demorado em média o dobro deste tempo, a quantidade de tempo que o sujeito permanecia efetivamente com o head-set tentando (ou controlando) o robô foi até menor do que 30 minutos.

Nível de atenção

Da mesma maneira, o tempo que o sujeito da pesquisa se concentrava para acionar o robô foi aproximadamente o mesmo que o indicado no Protocolo Ecolig (8 segundos). Isto fazia com que o nível de atenção (dispersão) fosse minimizado.

Em resumo, não houve nenhum episódio de excessiva carga cognitiva para qualquer dos sujeitos de pesquisa, principalmente o sujeito Mariana, cuja condição ambiental era muito diferenciada dos demais.

Esta condição diferenciada deve-se ao fato de que havia uma quantidade de ruído sonoro muito grande decorrente de uma sala de aula imediatamente adjacente à Sala de Recursos onde foram aplicadas as situações didáticas, além do excessivo calor. O fator ruído sonoro foi um elemento de significativa dissonância cognitiva já que, por diversas vezes, tivemos a necessidade de interromper a aula, tendo como consequência interferência no nível de atenção.

Neste sentido, o sujeito Mariana possui uma característica intrínseca de desatenção muito significativa, conforme pode ser facilmente constatado no registro do eletroencefalograma e dos seus ritmos cerebrais, comparativamente aos outros dois sujeitos de pesquisa (maior potência absoluta nas faixas beta, delta e theta em alguns eletrodos, e menor potência absoluta beta e alfa em outros eletrodos (FONSECA et al., 2008). Como estes dados se referem ao Corpus 3, iremos apresentá-lo naquela seção.

Vale a pena mencionar que, por exemplo, durante a realização da situação didática 4, onde utilizou-se a interface cérebro-computador para controlar o robô, tivemos a necessidade de repetir parcialmente o treino cognitivo que já havia sido realizado por Mariana anteriormente. Inclusive, durante a realização da tentativa de controlar o robô, após o pesquisador solicitar que Mariana efetuasse o movimento do robô para os lados direito ou esquerdo (sem que obtivesse sucesso nesta tarefa), a própria professora da Sala de Recursos incentivava a aluna para que se concentrasse na atividade. Provavelmente, é possível que a dificuldade em conseguir o deslocamento do robô naquele momento tenha sido ocasionado pela desatenção de Mariana, fato este que mereceria uma investigação específica, já que situação semelhante de não conseguir controlar o robô também ocorreu com os outros dois sujeitos, Paulo e Patrícia, sendo que para estes o ambiente estava muito mais silencioso.

Como consequência, toda esta situação pode ter induzido estados de stress mais acentuado neste sujeito (Mariana). Em função disto, procurou-se desenvolver estratégias didáticas (como a multissensorialidade, a variação de atividades dentro de uma mesma situação didática, assim como algumas pausas durante as aulas) onde houvesse a possibilidade de reduzir a carga cognitiva, o que é sempre desejável para qualquer tipo de aluno.

Tarefa 2 - Monitoramento das funções neurocognitivas

Operações mentais

As considerações seguintes referem-se a parte da coleta de dados que envolveu o monitoramento das funções neurocognitivas, e que foram divididas basicamente, em dois grandes grupos empíricos. O primeiro foi um delineamento quase-experimental aplicado semelhantemente para os três sujeitos da pesquisa, e o segundo grupo envolveu a coleta de dados neurocognitivos somente com o sujeito Mariana. Para estas últimas atividades foram realizados experimentos envolvendo a percepção tátil em diversas situações: leitura em Braille de palavras, frases, textos, percepção tátil de

objetos (peças LEGO, régua, fita métrica). Também foi realizado o registro da atividade neurocognitiva durante a enunciação de números (contagem de números) com o sujeito Mariana.

Portanto, estamos considerando todas estas tarefas como sendo 'operações mentais'.

Também para os registros empíricos que foram desenvolvidos, observamos os mesmos critérios acima mencionados, ou seja, tendo como parâmetro o tempo aproximado máximo de 30 minutos de uso com o head-set da interface Emotiv Eloc, conforme indicado pelo Protocolo Ecolig.

Entretanto, as mesmas observações anteriores em relação ao ruído do ambiente é um fator que, certamente, possui algum tipo de interferência no rendimento global nas atividades cognitivas do sujeito de pesquisa Mariana. Contudo, tais interferências não foram registradas diretamente pelo equipamento, já que a natureza de tais ruídos é de fonte sonora, e não de fonte eletromagnética.

Nível de atenção

Conforme dissemos, na tarefa que envolveu o quase-experimento (aplicada com os três sujeitos de pesquisa), houve uma grande tentativa de controle das condições de contorno do experimento. Ou seja, o experimento foi executado dentro do maior rigor, fazendo com que todas as variáveis envolvidas se aproximassem o máximo possível umas das outras quando o experimento fosse realizado com cada um dos sujeitos separadamente.

Para os três sujeitos de pesquisa ocorreram eventos neurocognitivos que confirmam estudos desenvolvidos por outros pesquisadores mas, por outro lado, obtivemos resultados diferentes daqueles relatados na literatura. Em termos do mecanismo de atenção todos sujeitos de pesquisa apresentam um alto grau de atenção, demonstrado por atividades de ondas Beta e, inclusive, ondas Alpha. Na terceira etapa do experimento, quando o sujeito era solicitado que se expressasse verbalmente e que interagisse taticamente com o material LEGO, houve vários momentos com picos de ondas Theta, o que não é normal

ocorrer quando o indivíduo está desenvolvendo qualquer ação motora, mas este achado relaciona-se diretamente com o mecanismo de atenção.

Como estes dados tem relação direta com a parte neurocognitiva (embora mantenha relação com a ergonomia cognitiva), aprofundaremos a apresentação e posterior discussão no Corpus 3.

6.3 Corpus 3 – Neurociência

- Dados sobre o EEG
- Dados sobre os ritmos cerebrais

A apresentação dos dados neurocognitivos neste trabalho relaciona-se diretamente com o problema de pesquisa, na medida em que nos interessava saber se a interface cérebro-computador poderia ser utilizada como uma tecnologia assistiva e que, além disto, se esta tecnologia contribuiria efetivamente para o processo de conceitualização.

Sobre o processo de conceitualização, correlacionamos algumas variáveis cognitivas, como: atenção, memória e cognição emocional. A aprendizagem foi considerada como uma variável dependente.

Apresentamos algumas imagens (Figuras 100, 101 e 102) dos dados relativos ao registro dos ritmos cerebrais.



FIGURA 100 – Ritmos cerebrais para o sujeito Paulo durante fases ‘Base’ e ‘Aquisição multissensorial’. Observemos a nítida ativação nos ritmos Alpha, Beta e Theta.



FIGURA 101 – Ritmos cerebrais para o sujeito Patrícia durante fases ‘Base’ e ‘Aquisição multissensorial’. Também aqui fica evidente maior ativação nas faixas Beta e Theta.



FIGURA 102 - Ritmos cerebrais para o sujeito Mariana durante fases ‘Base’ e ‘Aquisição multissensorial’. Aqui, maior ativação nas faixas Alpha, Beta e Theta.

Somente para efeito de constatação de dados, indicamos na Figura 103 apenas um único registro do eletroencefalograma (sujeito Paulo) durante a fase ‘Base’.



FIGURA 103 – Registro do EEG durante a fase ‘Base’ do sujeito Paulo. As aparentes ‘anomalias’ nos sinais dos pontos O1 e O2 foi algo presente nos três sujeitos de pesquisa (em função da deficiência visual).

Apresentaremos as tabelas e gráficos no Apêndice, para que a leitura não seja dificultada, preferindo assim descrever os resultados como seguem.⁶¹ Os dados numéricos estatísticos, bem como as técnicas de análise, foram apresentados na Seção de Comunicações Científicas pelo autor no “IX Encontro Brasileiro Internacional de Ciência Cognitiva”, no dia 5 de dezembro de 2012, sob o título “Contribuições da Neurociência Cognitiva para o Ensino de Física: uso de uma interface cérebro-computador para deficientes físicos e visuais”.

Embora tenhamos procurado trabalhar dentro do “Princípio de Ação Multitarefa Neuronal” enunciado por Miguel Nicolelis, sempre que fizermos referência a eventos neuronais mencionando regiões específicas, procuraremos encontrar ou estabelecer análises mais sistêmicas, funcionais e menos localizacionistas.

1. Ocorrência de ondas Alpha mesmo nas fases de Aquisição e Aquisição Multissensorial. Isto contraria resultados como os estudos de Rösler, Röder, Heil e Henninghausen (1993), para o qual ocorre uma redução da amplitude na área occipital de cegos congênitos. Da mesma maneira, segundo Könönen e Partanen (1993), o EEG com olhos

⁶¹ O resumo do trabalho pode ser encontrado no ‘Caderno de Resumos’, disponível em < <http://www4.faac.unesp.br/eventos/ebicc2012/caderno.htm>>, acesso em 15 de janeiro de 2013.

abertos (como foi o caso dos dois sujeitos cegos e um deficiente visual estudado) deveria apresentar a supressão de ondas Alpha (*efeito Berger*), o que não ocorreu. Ainda para aqueles autores, existe correlação negativa entre a amplitude e a idade na situação com olhos abertos (com olhos fechados não existe correlação significativa). O que ocorre é que em todos três sujeitos de pesquisa a atividade Alpha foi constante, provavelmente sugerindo algum tipo de comportamento estritamente vinculado com uma predisposição para a aprendizagem, já que neste tipo de ritmo cerebral o indivíduo encontra-se num estado de relaxamento físico-mental, favorecendo a aprendizagem.

2. Na fase de “Aquisição multissensorial”, os sinais mais significativos (todos com $p < 0,005$) foram AF3, F8 e P8, respectivamente com correlação 0,90/0,84/0,86. Isto significa que a tarefa multissensorial produziu grande diferença nos sinais elétricos cerebrais, quando comparados com a tarefa onde o sujeito estava em repouso, ou apenas ouvindo a explicação teórica. Para nossas considerações estatísticas, correlações acima de 0,60 já seriam consideradas razoáveis. Portanto, a conclusão é que tarefas que envolvem a percepção tátil produzem significativa modificação sensorial.
3. Em relação a variável cognição emocional, a fase de “Aquisição multissensorial” confirma parte dos resultados da literatura (ativação da região cortical posterior direita – F8, mas ainda também a ativação da zona AF3 – lado esquerdo, e ainda a região P8 (parietal anterior direita), com respectivas correlações 0,78/0,91/0,83, todos com $p < 0,005$. Da mesma maneira que nos resultados anteriores, aqui também temos outro conjunto de dados com alta correlação estatística, indicando uma vez mais a eficácia da metodologia multissensorial quando comparada com as fases sem este tipo de tratamento metodológico. A cognição emocional, entretanto, é uma variável muito complexa, e necessitaria de outros procedimentos empíricos para se estudar seus mecanismos e possíveis correlações entre outras variáveis.
4. Confirmação de resultados da literatura de que as faixas Theta e Beta (Gama não foi analisada) são as que possuem maior variação com estímulos emocionais (AFTANA et al., 2002). Estas mesmas faixas se

relacionam com maior performance no mecanismo atencional (FONSECA et al., 2008). Apesar de que o sujeito Mariana apresentava frequentemente problemas quanto ao mecanismo atencional, nestas tarefas deste quase-experimento, tal sujeito se mostrou extremamente concentrada, com seus mapas e registros da atividade elétrica cerebral muito semelhantes aos sujeitos Paulo e Patrícia. De fato, percebemos significativa melhora neste parâmetro atencional no sujeito Mariana, fato este que não está apresentado aqui, mas que poderá ser constatado pelos registros dos dados elétricos.

5. Estudando a estimulação tátil em quatro atividades do sujeito Mariana (peças LEGO, fita métrica, régua e leitura de palavras em Braille) verificou-se que as medianas das correlações do lado direito do cérebro (AF4, F8, F4, FC6, T8, P8 e O2) são maiores em comparação com o lado esquerdo (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7 e O1).

Convém notar que justamente o hemisfério cerebral direito abriga as funções mais voltadas para percepção auditiva e visual, e ainda a parte de elaboração conceitual criativa.

Para o mesmo experimento anterior, estabelecendo correlações entre as atividades peças LEGO, fita métrica, régua e leitura de palavras em Braille, houve uma maior ocorrência de correlação em pares onde aparecia a percepção de 'palavras escritas em Braille'. Ou seja, parece que o fato de Mariana ter sido trabalhada com tarefas com a percepção Braille tenha, de alguma maneira, incorporando-se a sua estrutura cognitiva, resultado este que confirmado por extensa bibliografia na área. Do mesmo modo que a estimulação háptica recruta neurônios do córtex visual primário, provavelmente por isto tivemos aqui maior correlação para o lado esquerdo cerebral. Este é um indicativo interessante de neuroplasticidade.

6. Na mesma tarefa anterior, os valores das correlações nos pontos occipitais O1 e O2 estiveram entre os menores medidos, entretanto, o desvio padrão para estes dois pares foram os menores. Isto mostra algo muito significativo, que é o fato de que em pessoas deficientes visuais (e principalmente nos cegos) os pontos O1 e O2 sempre se apresentam distorcidos, denotando realmente a condição visual do indivíduo. Assim,

dizer que a correlação foi pequena significa falar que estes dois pontos praticamente não estiveram sujeitos ao efeito do tratamento experimental aplicado, o que não seria estranho de imaginar, já que supostamente estas duas regiões são pouco recrutadas. Mas o desvio padrão pequeno nos diz que o comportamento em ambas as áreas é muito próximo um do outro, talvez independentemente do estímulo evocado. Entretanto, conforme mostrado no item anterior, o processo de neuroplasticidade de fato parece se confirmar, já que aquelas regiões (AF4, F8, F4, FC6, T8, P8 e O2) tiveram maior correlação comparativamente aos mesmos pontos do lado esquerdo cerebral.

CAPÍTULO 7 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

Inicialmente faremos uma discussão de cada um dos corpora de pesquisa e, em seguida, uma discussão geral que tentará unificar os dados apresentados.

7.1 Corpus 1 – Didática

O principal objetivo com estes dados era fornecer elementos para tentar responder ao problema de pesquisa. O problema concernia em saber se uma interface cérebro-computador poderia ser utilizada como uma tecnologia assistiva para deficientes visuais em aulas de Física. Mas para que isto fosse possível, o uso da interface deveria ser compatível com a metodologia didática utilizada e que, no caso, pudesse propiciar ou facilitar o processo de conceitualização durante as situações didáticas de Física.

Neste sentido os dados mostram indubitavelmente que uma interface cérebro-computador contribui para o processo de conceitualização em aulas de Física com a finalidade de tornar acessível a pessoas com deficiência visual tal tecnologia, mesmo com os problemas técnicos que aconteceram.

O que convém novamente destacar é que as aulas onde foi utilizada a interface cérebro-computador para controle do robô somente ocorreram após todo um conjunto de situações didáticas que tiveram como culminância aqueles momentos onde esta tecnologia foi empregada.

Portanto, a maior dificuldade não foi apenas no uso da interface para controlar o robô, mas também a realização de todas as situações didáticas que antecederam este momento. E isto possui um aspecto positivo, já comentado durante a apresentação teórica, que é o fato de que a tecnologia somente possui significado se existe um complexo desenvolvimento conceitual que envolva uma série de estratégias de ensino-aprendizagem. Sem isto, a tecnologia por si só não consegue dar conta daquilo à que se pretende.

Não há dúvida sobre a extrema importância para a constituição do seu conhecimento conceitual, de sua cultura e, principalmente, de sua auto-estima, que uma pessoa deficiente visual consiga ter praticamente o mesmo nível de acessibilidade a um recurso como a robótica educacional, em relação a uma pessoa vidente.

A estratégia de se utilizar procedimentos dentro de uma abordagem multissensorial, com os materiais LEGO, explorando a percepção tátil associada aos materiais que foram preparados para as respectivas situações didáticas, foram fundamentais para direcionarem a construção do processo de conceitualização, mesmo que este processo ainda não fosse exatamente idêntico à conceitualização acadêmico-científica.

Neste trabalho ficou evidente que a gênese do conceito não pode estar no próprio conceito em si mesmo, e sim naquilo que o conceito traz de 'concreto'. O que estamos chamando de 'concreto' é a experiência sensorial-cognitiva, a experiência multissensorial. Isto deve se dar nos níveis da 'estrutura empírica da linguagem' e da 'estrutura semântico-sensorial da linguagem', e não apenas num tipo de ensino que utilize estratégias puramente abstratas e destituídos de significados.

Neste sentido, as estratégias didáticas e os respectivos materiais utilizados (independentemente se serão apenas empregados para pessoas com deficiência visual), deve observar se o suporte material poderá ser capaz de produzir significados indissociáveis ou vinculados às representações visuais ou não-visuais. Esta é uma relação semiótica que altera completamente a configuração da aprendizagem é determinante para termos pelos menos algumas pistas se o processo de conceitualização está se desenvolvendo.

Este é um aspecto que Camargo (2011) coloca em termos de dificuldades e viabilidades. Assim,

A interatividade se mostrou uma variável importante para a superação de dificuldades comunicativas. Em episódios interativos, verificou-se significativa diminuição do emprego de linguagens de estrutura empírica audiovisual interdependente e significativo aumento de linguagens de estrutura empírica de acesso visualmente independente (CAMARGO, 2011, p.206).

Isto tem relação direta com a elaboração dos invariantes operatórios pelo sujeito de pesquisa. Assim, a identificação encontrada de seis invariantes operatórios expressos por Mariana, mais dois conceitos do tipo categorial, são forte indícios de que alguma aprendizagem ocorreu, mesmo considerando a situação *sui generis* desta aluna, que foi o fato desta pessoa possuir grande defasagem na aprendizagem de todos os conteúdos acadêmicos. Seu repertório conceitual em relação à Física era praticamente inexistente, bem como em relação à Matemática. Por estas e outras razões, conforme dito anteriormente, esta aluna era inclusive considerada deficiente intelectual, afirmação esta que verificamos não corresponder à realidade deste sujeito, já que sua evolução durante as situações didáticas nas duas fases da pesquisa (sendo que decorreram praticamente 7 meses entre ambas) foi notável.

Pela análise das situações didáticas desenvolvidas durante a aplicação da pesquisa constata-se nítida evolução de Mariana na direção do processo de constituição da conceitualização.

Vimos, por exemplo, que o conceito-em-ação Ψ_2 (correspondendo ao conceito de força resistente) inicialmente não foi nomeado verbalmente por Mariana e, posteriormente, foi identificado por ela com o nome (significante) 'massa'. Mas ambos sempre estiveram associados ao seu respectivo teorema-em-ação (significado em ação). No primeiro caso o teorema \mathbf{Th}_1 (associado a 'levantar o objeto') e no segundo caso o teorema \mathbf{Th}_2 (associado à expressão 'que resiste'). \mathbf{Th}_1 . Esta atribuição de significado, emergindo de um significante, está evidente, e mostra inequivocamente um avanço no desenvolvimento conceitual de Mariana.

Das categorias identificadas dos esquemas, bem como pelos invariantes operatórios que Mariana apresentou, destacamos ainda um comportamento que nominamos de 'antecipação' (na verdade este é um conceito piagetiano). O caso é que esta antecipação acabou sendo um fenômeno que além de ter decorrido da própria mediação professor(pesquisador)-aluno(sujeito de

pesquisa), ficou manifesto tanto nas ações consideradas 'motoras' (gestuais) como também nas ações de verbalização de Mariana.

Contudo, conforme identificado, talvez um elemento dificultador disto fosse a associação entre o repertório conceitual, seu consequente significado e a subsequente operacionalização pragmática do conceito-em-ação. Não obstante, ficou evidente durante o percurso das situações didáticas, que Mariana foi associando o significado verbal-conceitual das palavras que correspondiam a determinado fenômeno (rápido, lento, forte, fraco, etc.) com a correspondente percepção sensorial daquilo que estava ocorrendo. Nisto a abordagem multissensorial foi decisiva, já que era o meio mais patente para que o sujeito tivesse uma espécie de âncora de aprendizagem.

Na primeira parte da aplicação das situações didáticas, onde foi necessária uma intervenção pedagógica mais controlada, Mariana externou claramente a compreensão sobre a maioria do campo conceitual trabalhado: massa, peso, força, torque, velocidade.

Ainda nesta mesma parte, na Situação didática 4 onde foi utilizada a interface cérebro-computador para controlar o robô, Mariana também demonstrou conhecer o campo conceitual que estava sendo trabalhado, ainda que não tivesse tido êxito no cálculo matemático do conceito de velocidade, já que a percepção sensorial sobre a movimentação das rodas (através dos servomotores do robô) era algo tátil-cognitivamente compreensível pela mesma.

Na aplicação da segunda etapa da coleta de dados, que ocorreu após interferência junto ao professor Gérard Vergnaud, onde privilegiou-se maior autonomia da aluna Mariana, ficou evidente um refinamento no conjunto dos esquemas identificados inicialmente. Mas o que mais chamou a atenção foi que Mariana começava a formular argumentações explicativas próprias sobre o fenômeno físico que percebia tátil-cognitivamente.

Uma vez mais destacamos o papel fundamental que o material multissensorial proporcionou em relação a isto, e sua correspondente associação cognitiva na tríade (semiótica) **repertório** **verbal-conceitual/percepção**

sensorial/representação-expressão. Conforme comentando no capítulo anterior, a análise microgenética tem também por função identificar o papel social das interações que, em nosso caso, incluiria o professor (pesquisador). Entretanto, por uma questão de objetivos nosso foco não esteve em aprofundar esta questão. Da mesma forma como também mencionamos a influência na aprendizagem decorrente dos papéis da progenitora e da professora da Sala de Recursos do sujeito Mariana.

Na Situação Didática 9, com o uso da interface (apesar do problema técnico ocorrido), ficou oportunizada a necessária condição de manifestação da aprendizagem da aluna, já que aquela aula em si mesma era, na verdade, uma continuação das aulas anteriores. Quer dizer, para que chegássemos ao momento em que Mariana utilizaria o controle do robô através da interface cérebro-computador, todo um vasto cenário (*'mise en scene'*, como dizem os franceses) já havia sido muito bem desenvolvido.

Mas exatamente conforme previra Vergnaud, uma maior autonomia da aluna poderia suscitar o surgimento de algo novo, o que realmente ocorreu, já que nesta Situação didática 9, Mariana expressou pela primeira vez uma verbalização do tipo argumentativa, o que não havia ocorrido com tanta significação nas situações didáticas anteriores. Numa possível continuidade, uma frequência maior neste tipo de estratégia poderia ascender e aprimorar as estratégias cognitivas verbais de Mariana.

Em relação às representações indicadas, principalmente no uso da escrita Braille, não podemos dizer ainda que tais representações expressaram, de fato, um nível operatório fenomenológico completo em relação ao fenômeno pretendido de ser representado. Em outras palavras, aquelas representações estavam numa fase que podemos chamar pré-representacional. Isto significa que Mariana ainda não havia atingido um grau de domínio sobre o campo conceitual trabalhado a ponto de fazer com que os respectivos conceitos pudessem ser manipulados ou operacionalizados (e eventualmente até para produzir generalizações). Assim, o nível ou estágio daquelas pré-representações são cognitivamente mais relacionadas com a memória de trabalho, memória de curto, médio e até de longo prazo.

Isto, entretanto, não diminui absolutamente o valor que tais pré-representações possuem em relação a contribuir para o processo de conceitualização científica. Na verdade, a grande maioria das representações ensinadas em aulas de Física limitam-se a estratégias mnemônicas ou a reprodução de modelos matemáticos e físicos consagrados pela prática, e que são perpetuados através dos livros didáticos.

Neste aspecto, segundo Duval (2009), é necessário que para um mesmo fenômeno (ou conceito) se criasse pelo menos dois tipos diferentes de representações, mas que tais representações fossem desenvolvidas pelo próprio aluno, ao invés de terem sido compulsoriamente induzidas pelo professor. Vergnaud faz esta mesma consideração em relação a fase representacional, mas com a ressalva de que a manifestação dos invariantes operatórios é algo que deve emergir do próprio aluno, mesmo que tais invariantes não correspondam aos conceitos científicos-acadêmicos. Saber respeitar as especificidades e o desenvolvimento do aluno condiz com a noção inclusiva que se opõe à ideia de normatividade.

Outra característica que ocorreu durante as situações didáticas foi que a maioria dos conceitos do campo conceitual trabalhado se transformou e evoluiu de uma simples manifestação de ‘estrutura empírica da linguagem’ (principalmente porque neste tipo de estrutura o foco está apenas em um único suporte material) para adquirir características ‘semântico-sensorial da linguagem’. Mais especificamente, adquiriram características de “significados indissociáveis de representações-não visuais”, sendo que, na prática de ensino tradicional⁶² da Física vários destes conceitos são ensinados como se pertencessem à categoria de significados estritamente vinculados às representações visuais e, ainda, utilizando-se apenas ‘estruturas fundamentais’ (CAMARGO, 2011, p.19-21).

É o caso, por exemplo, do conceito de força que, no ensino tradicional é praticamente igualado com a representação de uma seta (indicando o vetor) como que correspondendo ao fenômeno em si mesmo. Na verdade, a força é

⁶² Ensino que privilegia estratégias de memorização de conceitos, de equações físico-matemáticas, ao invés do desenvolvimento do raciocínio sobre os fenômenos físicos.

um constructo do tipo “formal”, e não um constructo “categorial” (LEMEINGMAN; WEIL-BARAIS, 1993).

Neste tipo de ensino, normalmente utiliza-se a estratégia de apresentar a força correspondendo à sua representação vetorial e, imediata e conseqüentemente, associando-se os efeitos que a força causa.

Esta situação da qual estamos falando é classicamente utilizada para exemplificar de uma maneira didática totalmente equivocada as duas primeiras leis de Newton. O professor indica uma força que age para empurrar um corpo e que, em função disto, adquire movimento. Em seguida, retira a força e pergunta ao aluno o motivo pelo qual o corpo parou após um tempo. Ao que, invariavelmente, a maioria dos alunos (inclusive adultos!!!) responde que o corpo parou devido à retirada (ou o cessar) da força. E na seqüência o professor vai dizer que não é este o motivo do corpo ter parado, já que o que fez ele parar foi a força de atrito. E diz ainda que esta é a ideia contida na primeira lei de Newton.

Na verdade, com esta estratégia equivocada, o professor utiliza-se do chamado “raciocínio disjuntivo” (disracionalidade), que consiste em se utilizar de uma falsa premissa para induzir uma consequência verdadeira. No caso, a falsa premissa é ter atribuído o movimento à ação da força, sem ter mencionado a presença da força de atrito.

Retornando à questão da estrutura semântico-sensorial da linguagem. Quando se utilizou a estratégia de fazer com que o sujeito de pesquisa percebesse a ação da força associando-a com a percepção tátil estabelece-se na estrutura cognitiva do indivíduo uma compreensão do tipo “não-visual”, já que o contato háptico atua como premissa fenomenológica. Por esta razão, após o momento da experimentação háptica (sensação tátil) na Situação Didática 1, onde foi trabalhado com a alavanca as forças potente e resistente, desenvolveu-se a noção de representação através das flechas lisa e serrilhada. Na verdade, estas flechas funcionaram como se fossem vetores, entretanto, preferiu-se não falar neste conceito.

Portanto, a representação surgiu num momento sobresequente à percepção do fenômeno, e não o contrário. Isto parece ser decisivo na constituição ou elaboração dos “esquemas” na estrutura cognitiva do indivíduo. E isto se confirma na recorrente associação que Mariana fazia da força com palavras como ‘mais pesado’ e ‘mais leve’.

Posteriormente, Mariana associou em sua estrutura (e esquema) cognitivo ‘mais rápido’ a ‘mais força’, ‘mais lento’ a ‘menos força’. Esta associação fenomenológica desenvolvida pela própria pessoa fez com que um conceito formal se convertesse em um conceito categorial. Lembrando que o conceito categoria é aquele onde se atribui propriedades a determinado conceito, ou objeto.

Ainda que, do ponto de vista teórico esta associação possa ser incorreta, na Teoria dos Campos Conceituais ela seria ‘pertinente’. Na verdade, Mariana construiu uma relação “significante-significado” ao estabelecer a relação ‘mais rápido’ a ‘mais força’, ‘mais lento’ a ‘menos força’.

Na Situação Didática 8 (Plano inclinado), Mariana também teria compreendido a relação fenomenológica entre a inclinação do plano inclinado com a condição de equilíbrio do corpo, assim como com o aumento da velocidade do corpo conforme se aumentava a inclinação do plano. Nesta situação didática utilizamos a orientação dada pelo professor Vergnaud de que o sujeito Mariana poderia ter uma maior autonomia em lidar com o material didático, manuseando e experimentando os efeitos causados pela ação da força de uma maneira mais livre, com menor condução (ou indução) por parte do pesquisador.

Procedendo a uma metanálise sobre aquilo que está como pano de fundo da pesquisa em Ensino de Física, é inquestionável constatar que toda esta fenomenologia do processo de conceitualização para o ensino de Física revela que a aprendizagem de Física desponta características e constructos cognitivos próprios deste campo do conhecimento:

- **Constructos relacionados com a constituição gestual-cognitivo-verbal:** elaboração de esquemas gestuais-verbais específicos em

direção à resolução de problemas físicos, nisto participa a associação (ou correlação) entre o repertório próprio do indivíduo (na forma inicial de 'significante') e o correspondente significado (ou próprio, na forma dos invariantes operatórios, ou aqueles conceitos acadêmicos científicos) e, ainda, as representações (semióticas) que o aprendiz utiliza (gestualização, verbalização, etc.);

- ***A interação perceptiva e a elaboração de significado/significante em relação ao material didático:*** a maneira como o material didático é apresentado e manuseado durante a experiência sensorial nas situações didáticas de Física. Isto depende da 'estrutura empírica da linguagem', que dá suporte material à linguagem, e também à 'estrutura semântico-sensorial da linguagem', que diz respeito aos efeitos produzidos pelas percepções sensoriais, determinando, assim, as relações de significado. Para a Física, a adequada organização destas estruturas pode determinar profundas alterações, equívocos e até indução de eventos cognitivos espúrios, como o 'raciocínio disjuntivo' e a 'disracionalidade';
- ***Sistemas próprios de representação do conhecimento:*** a valorização dos aportes representativos utilizados pelo próprio aluno, ao invés de se focar apenas e tão somente nas representações (semióticas) acadêmico-científicas, como a maioria dos modelos utilizados na Física, em grande medida utilizando-se de estratégias visuais. Esta sempre foi uma orientação de Piaget e também um dos pilares da conceitualização defendida por Gérard Vergnaud.

Na verdade, a Teoria dos Campos Conceituais aborda a maioria destes aspectos, mas não se detém em profundidade em relação ao primeiro deles, que trata da relação entre a gestualização e a verbalização, e também em relação ao segundo, que é intimamente dependente da maneira como se lida com os recursos didáticos-pedagógicos para a conformação da relação significante/significado.

7.2 Corpus 2 - Ergonomia

Os dados ergonômicos também devem convergir para tentar responder a questão de pesquisa, questão esta que evoca necessariamente o conceito de 'tecnologias assistivas'. Recordando este conceito já apresentado no Capítulo 4, segundo o Comitê das Ajudas Técnicas:

(...) é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (CAT, 2007).

Portanto, os dados deverão nos mostrar aspectos vinculados à funcionalidade do uso do equipamento Interface Cérebro-computador (ICC) Emotiv Epoc, bem como aquilo que tal aparelho contribuiu ou não para a independência, a qualidade de vida e a inclusão social dos sujeitos de pesquisa estudados (pessoas com deficiência visual, e ainda uma delas com deficiência física).

Os aspectos ergonômicos relacionados diretamente à interface cérebro-computador (ICC) não se constituíram um problema que tivesse dificultado a performance das situações didáticas onde esta tecnologia foi utilizada. Ainda que o treinamento cognitivo utilizado para permitir que o usuário conseguisse utilizar a ICC fosse algo necessária, e que isto pudesse parecer algo cansativo para o usuário, na verdade não se constituiu em problema para quaisquer sujeitos desta pesquisa.

Assim, a carga cognitiva imposta pelo uso do equipamento não parece ter afetado absolutamente qualquer tarefa que foi realizada durante o projeto.

Contudo, o projeto ergonômico da ICC pode ser melhorado, principalmente em função de certa dificuldade no ajuste do *head set* na cabeça de cada usuário.

Outro aspecto crítico já comentado foi com respeito à questão do *feedback* para o usuário. Repetimos que este equipamento não foi projetado para a finalidade que desenvolvemos. Mas o importante é que mesmo com esta

lacuna, constatamos que o sistema Emotiv Epoc permite ajustes de software, conforme o que apresentamos, em relação ao *feedback* sonoro (retorno auditivo da direção de deslocamento do robô LEGO).

Outras características da navegabilidade dos diversos softwares que vem originalmente de fábrica no Emotiv Epoc não chegaram a se constituir problema no que se refere ao seu uso. Muito pelo contrário. Contudo, conforme mencionado, o projeto original não foi pensado para pessoas com qualquer tipo de deficiência e, sendo assim, os necessários ajustes e adaptações deveriam ser realizados levando-se em consideração o tipo de usuário sem e/ou com deficiência (visual, física, auditiva, intelectual).

Diversas vezes afirmamos nesta pesquisa que o conjunto dos dados dos corpora deve ser direcionado para tentar responder ao problema de pesquisa e que, neste sentido, os dados da parte ergonômica deveriam constituir dados e informações que possam ser utilizados no contexto do ambiente escolar. Neste sentido, falando em adaptações ergonômicas no projeto original da ICC Emotiv Epoc, por exemplo, a “Emotiv Suite” poderia ser adaptada para traduzir os estados emocionais-afetivos do usuário, de modo que um professor tivesse uma informação ao mesmo tempo precisa e clara sobre a condição emocional-cognitiva do aluno. Isto é algo que será também mencionado no Corpus 3, mas é uma necessidade que é competência do projeto ergonômico, porque envolve simultaneamente os três parâmetros de análise ergonômica: carga cognitiva, usabilidade e navegabilidade em espaços virtuais.

Por exemplo, o equipamento poderia fornecer um indicativo gráfico, com *feedback* visual e ou sonoro quando o usuário (um aluno) estivesse atingindo determinado limiar de estresse mental. Assim, durante a realização de uma tarefa cognitiva (um cálculo matemático, a realização de um desenho, o treinamento da execução de uma partitura musical, etc.) o professor ou até o aluno poderiam decidir qual é o momento de parar com a tarefa. Desta maneira, a carga cognitiva seria assegurada, dando ao usuário a possibilidade de melhor otimização do equipamento.

E tudo isto poderia ser realizado também por comandos de voz, no caso de determinado usuário que tivesse (ou não) uma limitação motora dos membros superiores.

No conjunto, todas estas possíveis alterações, adaptações visam proporcionar maior conforto ou acessibilidade à pessoa com deficiência, tentando diminuir desvantagens que tais pessoas possuem frente aos recursos disponíveis.

Por outro lado, os diversos problemas encontrados na operação de controle do robô LEGO, necessariamente não ocorreram apenas por conta da ICC, e sim de toda configuração do computador, assim como da unidade de processamento central do LEGO Mindstorms NXT 2.0. Isto envolvia a sincronização entre vários softwares que se comunicavam, além também das conexões *wireless* e *Bluetooth* utilizadas.

Entretanto, a performance de funcionamento da ICC poderia ter sofrido muito menos interferências se as condições do ambiente escolar fossem mais adequadas, conforme relatado (ruído sonoro, alta temperatura, campos eletromagnéticos).

Esta foi uma variável que fugiu completamente do controle do pesquisador, mas que deveria ser levada a sério pela Secretaria de Estado da Educação. E isto principalmente quando estamos falando de uma Sala de Recursos para atendimento de pessoas com necessidades educacionais especiais, independentemente do uso de qualquer tipo de tecnologia neste tipo de ambiente de aprendizagem.

O quase-experimento realizado mostrou que o uso ergonômico deste tipo de equipamento (uma interface cérebro-computador) com tais características funcionais é altamente adequada para se trabalhar tarefas educacionais mais específicas como, por exemplo, o treino de habilidades físico-matemáticas, físicas-motoras, artísticas (como a musical), dislexia, transtorno de déficit de atenção e hiperatividade (TDAH), e também condições de comprometimento cognitivo mais grave como a síndrome do espectro autista. Tanto os parâmetros carga cognitiva quanto a usabilidade são extremamente facilitadas até mesmo considerando o projeto original da ICC Emotiv Eloc. Isto porque

toda sua configuração envolvendo o parâmetro navegabilidade em espaços virtuais mostrou-se bastante intuitiva em seu uso.

Isto corrobora precisamente o que está colocado na Norma ISO 9999, que trata das tecnologias assistivas, onde encontramos a Classe 5 - Produtos de apoio para treino de competências e os Produtos de apoio para treino de comunicação alternativa e aumentativa.

Incluem-se, p. ex., dispositivos concebidos para melhorar as capacidades físicas, mentais e sociais. Dispositivos cuja função principal não é o treino, mas que possam também ser utilizados para treino, deverão ser incluídos na classe que abrange a sua função principal (Portal Nacional de Tecnologia Assistiva⁶³).

Ou seja, temos aqui uma conveniente prerrogativa e excelente justificativa para que possamos pensar no uso de uma interface cérebro-computador para finalidades desta natureza.

Em resumo, o conjunto de dados ergonômicos pode ser arranjado de tal maneira que satisfaça o projeto geral de um ambiente de aprendizagem, tal qual já definido no Capítulo 4. De acordo com a terminologia que utilizamos naquele capítulo, onde falamos de ‘agentes’ que fazem parte do sistema escolar (ver o Quadro 11), como nosso principal referencial teórico da parte ergonômica, Jacques Leplat vai resumir qual seria então a síntese daquilo que podemos obter com esta inserção de uma interface cérebro-computador, observando-se toda configuração ergonômica do sistema:

As entradas do sistema cognitivo são as situações. Dentro daquilo que nos interessa, são as informações que são o resultado dos tratamentos dos sistemas sensoriais. Estas informações são de duas ordens: informações de natureza espaço-temporal (concernente aos objetos e eventos) e as informações de natureza simbólica (referentes à linguagem ou icônicas) que veiculam significações e são interpretadas no interior dos sistemas de signos e do contexto da situação (LEPLAT, 2000, p.55).

Transpondo esta explicação para nossa pesquisa, as entradas podem se referir as situações didáticas ou aulas de Física que foram aplicadas. As informações

⁶³ Disponível em < <http://www.assistiva.org.br/node/783>> , acesso em 15 de outubro de 2012.

que se referem aos sistemas sensoriais provêm tanto das aulas em si mesmo (que abarca a pedagogia, os recursos didáticos como a multissensorialidade, as estratégias de ensino, a relação aluno-professor, etc.) quanto de recursos assistivos como a Interface Cérebro-computador. E aqui entra também toda configuração ergonômica de uso da interface. Isto tudo opera dentro de um sistema semiótico, principalmente quando tais elementos vão se referir mais diretamente com ações vinculadas à linguagem.

Prossegue Leplat:

As saídas do sistema cognitivo são os movimentos, gestos e produções da linguagem. Para o que nos interessa, as saídas estão relacionadas com as ações, as decisões de ações, e ainda para as produções da linguagem, os conteúdos semânticos a serem transmitidos. A programação e a execução do gesto e do movimento, a formatação sintática, a tradução fonêmica ou grafêmica, a formatação vocálica e prosódica revelam processos cognitivos que não são figurados nas atividades mentais em si mesmas (ibidem).

Interpretando o que Leplat está dizendo, um sistema configurado dentro de determinada ergonomia (como o desenvolvido nesta pesquisa) produz como resultado (as 'saídas'), as produções gestuais e de linguagem, que se traduzem nos esquemas, invariantes operatórios e representações expressas pelos sujeitos de pesquisa. A última frase é mais significativa ainda, porque diz que todo este conjunto semiótico surge não exatamente das atividades mentais em si mesmas (talvez pensando-se apenas nas tarefas cognitivas, como as aulas de Física), mas sim da maneira como estas atividades foram desenvolvidas segundo uma configuração ergonômica cognitiva. Isto é particularmente importante para este trabalho, justamente porque releva a função que determinada pedagogia, didática (no caso, a multissensorialidade) e recurso tecnológico e, finalmente, uma tecnologia assistiva possui em relação à busca de funcionamento e soluções assistivas.

Segundo Bormio e Silva (2011)

o ambiente é responsável por fornecer estímulos sensoriais, que, de acordo com a maneira como se apresenta configurado, determinadas percepções despertam nos indivíduos que o ocupam, influenciando, condicionando e determinando o grau de conforto, satisfação e produção do usuário, assim como seu

comportamento e conduta, seja de maneira positiva ou negativa (BORMIO e SILVA, 2011, p.68).

Num estudo realizado em escolas (estaduais e particulares) os mesmos autores avaliaram o resultado que as condições ergonômicas do ambiente escolar (fatores lumínicos, térmicos e acústicos) podem ter sobre a aprendizagem dos alunos, chegando à conclusão que

As sensações despertadas no usuário frente ao ambiente ocupado constituem-se em mais do que reações fisiológicas, visto que também o influenciam psicologicamente, e condicionam seu comportamento e o desempenho de suas atividades. No caso do ambiente escolar, entende-se que a configuração física que esse assume exerce influência direta na adaptação do estudante ao meio e, conseqüentemente, na evolução do processo de aprendizado. Pode-se concluir que a complexidade desse ambiente muitas vezes ultrapassa os aspectos estipulados por normas e indicações propostas, uma vez que segurança, acessibilidade, qualidade de vida, bem-estar e conforto são obtidos a partir de uma adequada conjugação de conhecimentos interdisciplinares (ibidem, p.75).

Com esta citação concluímos as considerações sobre os dados ergonômicos.

7.3 Corpus 3 – Aspecto neurocognitivo

Curiosamente, estes dados foram os que apresentaram muito menos elementos dificultadores, interferências (ambientais, como a térmica, mecânica ou eletromagnética), ou algum tipo de mau funcionamento do equipamento.

Por outro lado, a grande dificuldade foi em relação à interpretação deste tipo de dado, em função de que os profissionais da área de Educação não serem preparados (ainda) para lidarem com isto. Estamos falando dos registros de eletroencefalograma e dos ritmos cerebrais (alpha, beta, delta e theta), registros estes que invariavelmente estão apenas no domínio especializado da medicina psiquiátrica e ou neurológica.

Isto aos poucos está mudando, porque já vemos grande quantidade de pesquisas na área da Educação desenvolvidas por investigadores desta mesma área, isoladamente ou em parceria com profissionais de outras áreas, como Psicologia, Medicina, Biologia, Biofísica e outras.

Os dados analisados mostram fortes evidências de correlação quando a atividade didática aplicada utilizou estratégias multissensoriais (percepção tátil, verbalização, expressão corporal). As correlações estatísticas estiveram em sua maioria acima de 70%, o que é um excelente resultado.

Além disto, encontramos vários indícios empíricos da ocorrência de neuroplasticidade, confirmando resultados tradicionais da literatura.

Mas o que foi mais importante (e também inédito neste tipo de abordagem) constatar é que a análise dos ritmos cerebrais constitui-se numa excelente técnica para se estudar variáveis diretamente relacionadas com o aspecto cognitivo (atenção, memória) quanto com o aspecto emocional. Esta relação não é ainda consenso na comunidade científica internacional, muito embora haja grande parcela de pesquisadores para os quais não há dúvida sobre a relação entre variáveis cognitivas e variáveis afetivo-emocionais.

Outro aspecto extremamente significativo para este tipo de análise é a possibilidade de se estudar um grupo singular de pessoas com determinado perfil, como foi o caso aqui estudado, e ainda conseguir avaliar as particularidades neurocognitivas de uma pessoa. Apesar da maioria das análises numéricas dos dados neurocognitivos terem sido muito similares, algumas ocorrências são mais particulares. Por exemplo, a constatação de eventos relacionados com o mecanismo atencional no sujeito Mariana, comparativamente aos outros sujeitos e, também, comparativamente a ela mesma, já que qualitativamente percebemos uma evolução de sua performance atencional no decorrer das situações didáticas. Uma análise estatística mais detalhada necessita ser realizada.

Contudo, pesquisadores como o próprio Professor Gérard Vergnaud fazem ressalvas quanto ao uso fragmentado, isolado, puramente pragmático, descontextualizado, mecanicista ou sem uma sustentação epistemológica

quando envolva tais tecnologias e metodologias neurocognitivas. Para Vergnaud é necessário sempre que haja uma criteriosa análise concomitante do comportamento, do desenvolvimento psicológico, cognitivo, heurístico da pessoa humana. E também que determinado parâmetro ou variável neurocognitiva não seja desmembrado de sua relação funcional com as demais funções neurocognitivas, o que é algo empiricamente muito complexo de ser efetuado.

Os dados gráficos, os diagramas, os histogramas e os dados numéricos, por si só, não dizem muita coisa se outros fatores não estiverem sendo avaliados simultaneamente.

Neste sentido, muitos questionamentos em contrário poderiam ser feitos quando verificamos, por exemplo, que nos três sujeitos avaliados, houve forte correlação estatística que confirma eventos relacionados com aprendizagem, demonstrados através de fortes atividades de alguns ritmos cerebrais (principalmente as ondas Alpha). Poderia ser contestada a natureza disto que estamos chamando 'aprendizagem'. Mas o que quisemos mostrar é sua relação funcional com o aspecto emocional, indicando uma predisposição a um estado cognitivo de relaxamento físico e mental ocorrendo num tipo de tarefa onde tal ritmo cerebral (ondas Alpha) não deveria estar ocorrendo, muito pelo contrário.

O que estamos dizendo é que, por exemplo, estados cerebrais de excitabilidade ou irritação jamais produziriam ondas do tipo Alpha, mesmo que pudesse estar ocorrendo eventos diretamente relacionados com o fenômeno da aprendizagem. Portanto, o fator emocional-afetivo parece ter estreita vinculação com o parâmetro (ou variável) aprendizagem. Agora, estudos mais detalhados, com técnicas de aquisição de dados diferenciada, com tarefas cognitivas discriminatórias e com uma amostra maior de sujeitos poderiam nos trazer outras informações.

Justamente o que temos discutido no decorrer de toda esta pesquisa é a questão da associação entre os processos de conceitualização e a metodologia didática empregada para ensinar-se Física. No caso, esta experimentação realizada através da metodologia de aquisição do eletroencefalograma e ritmos

cerebrais indicou um caminho bastante satisfatório, ainda que não totalmente completo e absoluto, na direção de mostrar fortes evidências de que procedimentos didáticos com características multissensoriais predispõem o indivíduo a estados emocionais-afetivos na direção de processos de aprendizagem.

E isto, possivelmente, associa-se ao mecanismo de organização dos invariantes operatórios.

7.4 Discussão geral dos corpora

Como este trabalho apresenta grande quantidade de variáveis (definidas no “Avant propos”), para que a análise do resultado dos corpora de pesquisa seja mais clara, consideramos necessário organizar tais variáveis numa tabela, depois estabelecermos uma relação quali-quantitativa entre estas variáveis (e parâmetros) para, posteriormente, proceder os devidos comentários analíticos.

Assim, na Tabela 2 organizamos as variáveis de pesquisa de acordo com os respectivos corpora.

Tabela 2 – Variáveis e corpora de pesquisa

Corpora	Variáveis dependentes	Variáveis independentes	Variáveis associadas
Corpus 1: didática	Esquemas: 1-Gesto motor próprio 2-Gesto motor orientado 3-Gesto motor metacognitivo 4-Expressão emocional 5-Fala autônoma 6-Fala confirmatória 7-Fala quase-simultânea Invariantes operatórios	Multissensorialidade	Raciocínio conjuntivo, dissonância cognitiva e disracionalidade

	(conceitos e teoremas-em-ação)		
Corpus 2: ergonomia cognitiva	<p>USABILIDADE Eficiência: tempo para completar uma tarefa; tarefas completadas dentro de uma unidade de tempo; custo para se chegar à determinada tarefa. Eficácia: porcentagem de objetivos alcançados; porcentagem de usuários completando a tarefa; Acurácia das tarefas completadas. Satisfação: facilidade de aprendizagem; desconforto no uso; tratamento de erros.</p> <p>NAVEGABILIDADE EM ESPAÇOS VIRTUAIS Habilidade espacial Habilidade verbal</p> <p>CARGA COGNITIVA Operações mentais Nível de atenção</p>	Usabilidade, navegabilidade em espaços virtuais, carga cognitiva	
Corpus 3: neurociência cognitiva	Atenção Memória Cognição emocional	Estimulação intermodal (cross-modal)	

Outra maneira mais simplificada de organizar tais elementos está apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Variáveis e corpora de pesquisa

Tipo de Variável	Cognitivas - Corpus 3 -	Didática operacional - Corpus 1 -	Ergonômicas - Corpus 2 -
Dependente	Atenção, memória, cognição emocional	Esquemas	Carga cognitiva
Independente	Estimulação modal, estimulação intermodal	Invariantes operatórios	Usabilidade
Associada	Raciocínio conjuntivo, dissonância cognitiva, disracionalidade	Cognição incorporada	Acessibilidade em espaços virtuais

Relação ponderada entre variáveis e parâmetros

Para cada variável estabelecemos um critério quali-quantitativo de peso, representando este 'peso' como a influência de uma variável sobre outra. Assim, um peso "1" indica pouca relação, e um peso "3" significa grande influência. Então, vemos pela Tabela que, por exemplo, a variável memória é fortemente dependente do mecanismo da cognição incorporada. A dissonância cognitiva produz forte interferência na elaboração dos esquemas. A leitura de determinados parâmetros e variáveis devem ser interpretadas com bastante cuidado. Por exemplo, as variáveis "esquemas" e a "atenção" (consideradas nesta tabela como sendo variáveis dependentes) possuem uma relação indireta, por este motivo o peso foi 1. Já na relação entre esquemas e memória (também duas variáveis consideradas dependentes) o peso foi atribuído como sendo 3, justamente porque consideramos que um esquema cognitivo se constitui enquanto tal somente se sua persistência no aparelho cognitivo ultrapassar a memória de trabalho (eventos que ocorrem num lapso de alguns minutos), episódica (em torno de eventos que ocorreram no mesmo dia) ou até a memória de médio prazo (em torno de semanas).

Assim, construímos a Tabela 4 onde a relação entre variáveis foi descrita a partir de pesos relativos.

Tabela 4 – Peso relativo entre variáveis

Variável	Esquemas	Invariantes operatórios	Cognição incorporada	Carga cognitiva	Usabilidade	Acessibilidade
Atenção	1	2	2	3	3	3
Memória	3	3	3	2	2	2
Cognição emocional	1	1	1	3	3	3
Estimulação intermodal	3	3	3	2	3	3
Raciocínio conjuntivo	2	2	1	3	1	1
Dissonância cognitiva	3	3	3	3	2	2

Assim, com isto, obtivemos o Gráfico 3 indicando quantitativamente estas relações.

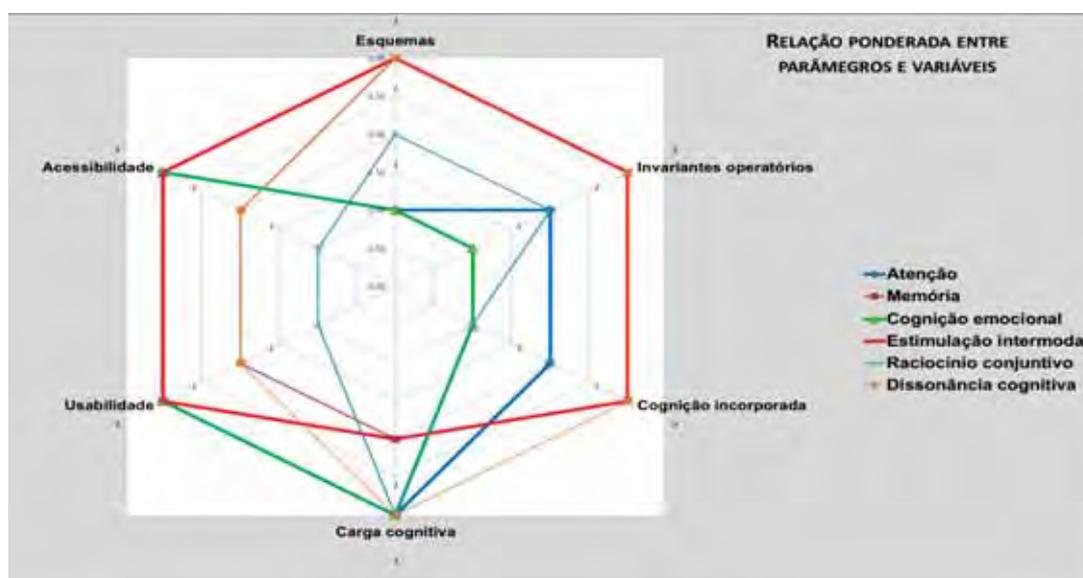


Gráfico 3 – Representação gráfica do peso entre variáveis

Sinteticamente, interpretando as Tabelas 2, 3 e 4, e o Gráfico 3, podemos dizer que:

- a) O tipo de estimulação possui grande correlação com o processo de conceitualização, que envolve a elaboração dos esquemas e dos invariantes operatórios, da mesma maneira que o mecanismo da cognição incorporada. Neste sentido, é preponderante também o papel que desempenha as condições ergonômicas dados pelos parâmetros (ou variáveis) carga cognitiva, usabilidade e acessibilidade em espaços virtuais;
- b) Da mesma maneira, a variável associada “dissonância cognitiva”, que não determina diretamente a aprendizagem, mas, sobretudo e inversamente, a “dificuldade na aprendizagem”, também incide diretamente na maneira como os esquemas e invariantes operatórios podem (ou não) ser mais bem elaborados. Neste mesmo sentido, os três parâmetros ergonômicos possuem um peso decisivo neste fator de dissonância. Assim, se tivéssemos um ambiente ergonomicamente adequando, poderíamos falar em “ressonância cognitiva”, ao invés de dissonância cognitiva;
- c) As variáveis atenção, memória e cognição emocional possuem uma modulação que varia de uma maneira mais indireta quando estudada em relação aos outros parâmetros e variáveis, já que esta associação e ou correlação pode se dar de forma indireta, principalmente porque, na maioria das vezes, esta fenomenologia ocorre a médio e longo prazo (numa grandeza temporal variando desde semanas, meses e, inclusive, de anos). Assim, outros instrumentos de coleta de dados (como questionários, por exemplo) poderiam ser aplicados ao longo de um intervalo de tempo;
- d) Os dados neurocognitivos relacionam-se diretamente com as variáveis cognição emocional, atenção, memória, bem como com a elaboração dos esquemas, invariantes operatórios e representações. Da mesma maneira, são também associados às variáveis ergonômicas (carga cognitiva, usabilidade e navegabilidade em espaços virtuais). O conjunto de todos estes parâmetros e ou variáveis são diretamente correlacionados ou associados com a aprendizagem, traduzível em termos do processo da conceitualização.

Pela relação entre as variáveis, constata-se que os *corpora* de pesquisa (dados didáticos, ergonômicos e neurocognitivos) mostraram-se compatíveis entre si no sentido de comporem um conjunto de conhecimentos que buscou convergência para solucionar um objetivo comum. Neste sentido, este conjunto de *corpora* configurou-se enquanto uma autêntica abordagem transdisciplinar, já que tivemos uma ação não apenas paralela, mas fundamentalmente epistemológica simbiótica convergindo no sentido de responder às questões comuns. Recordando que o objetivo geral da pesquisa era compatibilizar uma abordagem didática epistemológica para o Ensino de Física (fundamentada principalmente na Teoria dos Campos Conceituais) com o uso de uma tecnologia assistiva (interface cérebro-computador) para contribuir no processo de conceitualização de pessoas deficientes visuais.

Pensando-se na relação (associação e ou correlação) entre as variáveis e parâmetros estudados, para atingir o objetivo proposto, ficou evidente a necessária responsabilização dos “**agentes**” que fizeram parte da pesquisa (alunos e professores), bem como outros agentes implícitos, como o pesquisador, tanto em sua própria atribuição como tal, mas também assumindo papel de usuário da tecnologia, ao mesmo tempo se colocando no lugar de outros profissionais, como o Psicólogo e o Médico.

Algumas abordagens e pesquisadores em Ensino de Ciências e, especificamente em Ensino de Física, de algumas décadas para cá tem negligenciado o importante papel da interdisciplinaridade entre áreas afins, como a Psicologia, a Biologia e a própria Medicina, principalmente a Neurociência. Assim, evidenciar ou explicitar esta relação interdisciplinar em termos de parâmetros e variáveis pode contribuir para um melhor entendimento, controle, previsão e planejamento quando pensamos em ações do tipo transdisciplinar.

Neste sentido, não podemos deixar de enfatizar o papel central que a Ergonomia Cognitiva possui para o desenvolvimento de projetos na área educacional. Neste aspecto, os dados aqui apresentados mostram claramente que quando tratamos principalmente de tecnologias assistivas é necessário um profundo estudo sobre as condições particulares e singulares em relação à

pessoa com qualquer tipo de necessidade educacional. Para tanto, um melhor estudo, compreensão e aplicação no âmbito escolar em relação ao Código Internacional de Funcionalidades pode vir a auxiliar os procedimentos e estratégias pedagógicas e didáticas como, por exemplo, em relação a um tratamento mais aprofundado sobre o chamado Currículo Funcional. Mas também, pensando-se em procedimentos visando àquilo que em ergonomia se chama 'design universal', ou seja, produtos e serviços configurados para todo tipo de pessoa, não apenas aquelas com necessidades especiais.

Focando nas pessoas com necessidades especiais, baseado na Norma ISO 9999, poderíamos acrescentar uma categoria específica para tratar do uso de uma interface cérebro-computador em ambientes de aprendizagem para pessoas com deficiência visual (ou outros tipos de deficiências) com as seguintes especificações:

- **Produto de apoio para aprendizagem e comunicação bilateral cérebro-máquina:** interfaces cérebro-computador, para inserção em ambientes educacionais com a finalidade de acionamento de artefatos elétrico-eletrônicos-hidráulicos e dispositivos robóticos; acionamento de teclados, máquina e ou linha Braille, scanners e dispositivos de acionamento vocal; monitoramento de funções cognitivas através do uso do eletroencefalograma e ritmos cerebrais visando o treino da atenção, memória, funções espaciais, etc.

Uma interface cérebro-computador, nestas condições, poderia também ser empregada não apenas para o Ensino de Física, mas para outras disciplinas escolares.

Entretanto, pensemos agora que o Ensino de Física constitui-se num tipo absolutamente específico dentro das outras modalidades de ensino praticadas no ambiente escolar.

Assim, conforme constatado pelas situações didáticas em Ensino de Física apresentadas nesta pesquisa, verifica-se o quanto é necessário saber construir com o aluno seu repertório verbal, conceitual, gestual e representacional. Em relação a isto, abordagens que privilegiem a manipulação direta com

ferramentas educacionais ‘concretas’, através de estratégias multimodais (percepção tátil, desenvolvimento do gesto associado à compreensão conceitual, representação do conhecimento) parecem ter um efeito direto no mecanismo emocional/afetivo, na memória de trabalho, na memória de curto, médio e longo prazo, elementos estes que vão conformando a chamada cognição incorporada, ou mente incorporada.

A cognição incorporada (ou também cognição situada) poderia ocorrer dentro de um *umwelt*⁶⁴, para um ambiente educacional inclusivo para o Ensino de Física, levando em consideração um extenso espectro que possibilite a interação direta com o material didático multissensorial, na real possibilidade de produção de significado, tal qual aponta Gérard Vergnaud ao insistir que à escola cabe o papel de conduzir o aluno a lidar com seu próprio processo de conceitualização.

Como analogia disto que estamos falando, Bouyer (2008) exemplifica os ‘esquema-imagens’ (baseado no conceito de cognição incorporada) mais comumente encontrados em trabalhadores que operam máquinas térmicas, esquemas estes que se configuram enquanto verdadeiros invariantes operatórios sequentes em relação à maneira como o indivíduo interage com os sistemas que opera:

- ***The link image schema (esquema-imagem de ligação)***: “A temperatura do forno está ligada na vazão de ar dos ventiladores da grelha” (operador da cimenteira).
- ***The part-whole image schema (esquema-imagem parte-todo)***: “Um eletrodo desse é feito de blocos de grafite que se desgastam na reação” (operador de siderúrgica).
- ***The centre-periphery image schema (esquema-imagem centro-periferia)***: “O danguero tem que ficar esperto porque o material vai se esparramando em volta do eletrodo, e ele tem que ir empurrando ele para o meio novamente. Eu vejo isso também aqui na tela, mas principalmente na fumaça” (operador de siderúrgica).
- ***The mass-count image schema (esquema-imagem massa-conteúdo)***: “À medida que o material vai caindo na grelha, ela vai enchendo e o material vai pesando mais a grelha e ela vai ficando mais lenta” (operador de cimenteira).

⁶⁴ Sobre a definição de *umwelt* ver nota de rodapé número 26.

- ***The stand-verticality-horizontality image schema (esquema-imagem acima verticalidade-horizontaldade)***: “O material fundido vai rolando e forma uma lâmina fina em cima do lingote, e vai enchendo e subindo até a borda, mas sem transbordar” (operador de siderúrgica).
- ***The near-far image schema (esquema-imagem perto-longe)***: “À medida que ela balança, ela vai levando o material para longe da boca do forno (operador de cimenteira)”.
- ***The full-empty image schema (esquema-imagem cheio-vazio)***: “A panela vai esvaziando e o lingote vai enchendo” (operador de siderúrgica).
- ***The movement, activity and functionality image schemata (esquema-imagem movimento, atividade e funcionalidade)***: “Eu levanto a temperatura baixando a vazão de ar e ficando de olho no balanço da grelha, que não pode acumular material senão sobe a temperatura de novo...” (operador de cimenteira).
- ***The balance image schema (esquema-imagem balanço)***: “O forno tem que ficar equilibrado e para equilibrar ele tem que controlar o recuperador; quando o recuperador oscila ela faz alterar a temperatura e a pressão do sistema todo (operador de cimenteira)”. (BOUYER, 2008, p.138-140).

Observemos que todas estas descrições dizem respeito diretamente a fenômenos e propriedades físicas (ou químicas) dentro do contexto de algum tipo de equipamento que está sendo operado pela pessoa. Na verdade, poderíamos aqui utilizar os mesmos conceitos da Teoria dos Campos Conceituais: estruturas, esquemas, invariantes operatórios e representações.

Naquilo que esta pesquisa envolveu o registro da atividade cerebral durante atividades sensoriomotoras (háptico-cognitivas) ficou mostrada claramente a diferença significativa (correlação) entre o simples ‘escutar’ passivo e as estratégias multissensoriais, confirmando a noção anterior sobre a cognição incorporada e, mostrando ainda, o papel central que o aspecto cognitivo desempenha na elaboração de conteúdos considerados puramente de natureza ‘abstrato’. Mas isto também esteve na direta dependência (em termos de variáveis) das condições ergonômicas do ambiente de aprendizagem (principalmente quando foi utilizado o robô nas atividades didáticas, e também o uso da interface cérebro-computador nas mesmas), bem como na maneira como as situações didáticas foram aplicadas, mencionando, por exemplo, o

uso da estratégia de utilização do chamado 'raciocínio conjuntivo', contrapondo-se ao 'raciocínio disjuntivo'. Da mesma maneira, o controle da variável associada 'dissonância cognitiva', proporcionado pela maneira como as situações didáticas foram aplicadas, foi decisivo para a adequada manifestação dos esquemas e invariantes operatórios que foram expressos pelos sujeitos da pesquisa.

Mencionando agora um resultado direto para a pesquisa psicológica, biológica, biofísica ou fisiológica, o êxito empírico e teórico obtidos nesta investigação, mostrou que a complexa tarefa de utilização de uma interface cérebro-computador por uma pessoa cega é algo que foi superado nesta pesquisa. O sucesso desta operação pressupunha que tal pessoa fosse capaz de imaginar um objeto mentalmente, de tal sorte que seu cérebro construísse uma correspondência visual daquele objeto mental (imagem mental) para fazer deslocar este objeto mental. Esta construção mental do objeto (e seu equivalente 'visual') foi suficientemente interpretada por um algoritmo matemático (através do software/hardware da interface cérebro-computador) a ponto de ser capaz de acionar um dispositivo robótico.

Isto envolveu o recrutamento de grupos de neurônios absolutamente específicos para tal tarefa. Em outras palavras, os neurônios que participaram da tarefa cognitiva de construir um objeto mentalmente e imaginar que este objeto se deslocava no espaço, eram totalmente distintos de neurônios que são utilizados em outra tarefa como, por exemplo, imaginar o número 6 sendo somado ao número 3.

Este resultado empírico contribui para esclarecer alguns pontos críticos divergentes de algumas teorias sobre a constituição das imagens mentais e visuais, como as abordagens de Stephen Kosslyn e Zenon Pylyshyn, principalmente sobre a origem, a construção e a consequente manipulação das imagens mentais e sua correspondente associação com o atributo de natureza puramente visual.

Além disto, a investigação mostrou aspectos talvez nunca imaginados para esta área de pesquisa, pelo menos a nível de Brasil. Isto porque, normalmente, as pesquisas em Ensino de Física que utilizam algum tipo de tecnologia

(assistiva ou não) ainda não se voltaram para o chamado 'paradigma da consciência' (conforme mencionado no Quadro 9). Ainda muito menos quando este paradigma relaciona diretamente "ser-humano/tecnologia assistiva/ensino-aprendizagem".

Ou seja, estamos num momento singular na História da Humanidade, onde nosso cérebro se comunica com dispositivos robóticos, e vice-versa. E talvez possamos explorar e aprofundar isto exatamente dentro do sistema educacional vigente. Talvez nada melhor do que fazermos isto na Física que, durante séculos, foi considerada a mãe de todas as Ciências.

Assim, uma aplicação do paradigma da consciência para o ensino de Física poderia se transformar, na verdade, na possibilidade de ampliar o espectro de possibilidade para a aprendizagem da Física, onde o aprendiz é quem conduziria suas interações com os fenômenos físicos. Isto, talvez, pudesse propiciar uma compreensão sobre o funcionamento das leis da natureza.

Entretanto, conforme temos dito ao longo deste trabalho, nenhuma tecnologia subsiste por si mesma, ainda mais no campo humano da Educação.

No ambiente educacional brasileiro a pessoa deficiente visual está segregada e à parte de participar, de agir, de interferir, de ser agente, e se torna, assim, mero espectador, mero ouvinte passivo nas aulas de Física.

Neste sentido, este trabalho mostrou que estratégias didáticas que promovem a construção de processos perceptivos e sensoriais, de constituição de repertório conceitual e gestual, contribuem para o processo de conceitualização ou, ainda, para o fenômeno que chamamos de "**incorporação cognitiva**". Nisto, o uso de uma interface cérebro-computador pode, efetivamente, ser utilizada tanto como um recurso didático em geral, quanto como um recurso assistivo para pessoas com deficiência visual.

7.5 Conclusões

Embora o problema de pesquisa fosse investigar como inserir uma interface cérebro-computador segundo uma abordagem epistemológica no contexto de uma educação inclusiva, de tal maneira a fazer com que esta tecnologia pudesse ser considerada uma tecnologia assistiva para pessoas com deficiência visual em aulas de Física, outro problema de pesquisa estava subjacente a toda esta investigação: como o indivíduo aprende Física? Isto envolvia outras questões satélites, como:

- Como a pessoa realiza o processo de conceitualização, principalmente um indivíduo cego que não possui a experiência de visualização óptica de objetos para abstrair conceitos e fenômenos?
- O que difere um ensino considerado tradicional de um ensino com bases multissensoriais?
- Como poderiam ser as bases de um Ensino de Física pensando-se um ambiente educacional onde as pessoas com necessidades educacionais especiais (no nosso caso, deficientes visuais) realmente participassem das aulas?
- O que as Neurociências cognitivas podem contribuir efetivamente para o Ensino de Física?

Mas também porque estamos falando de pessoas deficientes visuais, há uma questão que subjaz nossos questionamentos: se um deficiente visual consegue aprender conceitos físicos sem utilizar-se de mecanismos visuais (estratégias visuais, modelos visuais), conforme demonstrado por Camargo (2011, 2008), então alguma coisa se passa no cérebro desta pessoa, de tal maneira que esta função ou este mecanismo de conceitualização não dependa do atributo visual. Se não depende do atributo visual, qual ou quais outros atributos poderão estar vinculados a este processo de conceitualização no deficiente visual e, conseqüentemente, na pessoa vidente?

Se não é apenas a visão que faz a pessoa compreender, então que mecanismos cognitivos estão participando do processo de elaboração conceitual?

Para responder a estas e outras questões, o uso da interface cérebro-computador apresentado nesta pesquisa coloca em evidência um dos achados teóricos e empíricos mais surpreendentes dos últimos anos na História da Ciência, que é a demonstração de que os instrumentos que utilizamos com mais habilidade para solucionarmos alguns problemas acabam como que sendo incorporados ao nosso próprio corpo, fazendo com que tais artefatos sejam compreendidos pelo cérebro como fazendo parte do corpo (O'DOHERTY et al., 2012).

Por detrás disto também está a superação do antigo paradigma cartesiano que separava o corpo da mente. É certo que não sabemos ainda se a mente é equivalente ao cérebro, e não vamos ser ingênuos em entrar nesta discussão.

Entretanto, uma coisa é certa: nosso corpo não é apenas sede passiva de estímulos e percepções sensoriais que se associam apenas à esta ou àquela reação fisiológica. Muito mais do que isto, somos uma complexa totalidade elaborativa, que transforma de maneira plástica (neuroplasticidade) a malha ou o rizoma da teia que conforma o meio ambiente.

Assim, se podemos imaginar que uma pessoa deficiente visual, ou cega de nascimento, com a adequada estimulação, é capaz de elaborar conceitos sobre fenômenos e objetos das quais seu mecanismo visual jamais experimentou, podemos ampliar esta perspectiva perguntando então o que falta para que alguns jovens (principalmente os videntes) se direcionem para a aprendizagem da Física. Deixemos isto em suspenso.

Mas a pesquisa não era e não queria ser apenas o uso mecânico da interface cérebro-computador, embora as contribuições apenas neste campo poderiam ser significativas.

Assim, a estratégia de utilizar três corpora de pesquisa mostrou ser possível estabelecer determinadas correlações entre parâmetros e variáveis de um corpus em relação a outro, e isto trazer como consequência direta grande

contribuição para o principal aporte da pesquisa, que é justamente o aspecto epistemológico didático em relação a mostrar como se dá o processo cognitivo de construção conceitual, segundo a noção presente na Teoria dos Campos Conceituais.

A insistência que seu autor, Gérard Vergnaud, nos fez conhecer (principalmente através do contato pessoal oportunizado pela fase da pesquisa junto ao mesmo), e compreender que o ensino deve essencialmente se preocupar com o aspecto do desenvolvimento do aluno, e não ter apenas e tão somente a motivação epistemológica (proporcionada pelos procedimentos metodológicos da pesquisa em ensino).

Neste sentido, o processo de conceitualização (manifestação dos invariantes operatórios, conceitos e teoremas-em-ação), bem como as representações (semióticas) da aprendizagem **em situação** deve respeitar aquilo que é criado e desenvolvido pelo próprio aluno, necessitando se constituir a máxima do ensino.

Mas isto não ocorre sozinho, é necessário que a escola, enquanto um sistema de cognição distribuída, com seus múltiplos agentes (explícitos e implícitos) propicie condições de inclusão, acessibilidade, *empowerment* e *mainstreaming*.

E isto também inclui o adequado uso das tecnologias assistivas, como o problema de pesquisa que se focava em responder como uma interface cérebro-computador poderia ser adaptada (ou não) para ser considerada uma tecnologia assistiva para contribuir com o processo de conceitualização em aulas de Física para pessoas deficientes visuais.

Então, a pesquisa coloca a necessidade de nos pautarmos também no aspecto de uma ergonomia cognitiva, já que tais elementos poderiam influenciar diretamente a aprendizagem do aluno, principalmente o aluno com necessidades educacionais especiais.

Assim, por exemplo, ficou evidente que determinadas condições ergonômicas (como usabilidade e carga cognitiva) podem influenciar diretamente os mecanismos de atenção, e isto causar alterações na aprendizagem. Mas mostrou também que é necessário que as pesquisas em Ensino de Física que

produzem como síntese final metodologias ou artefatos didáticos (ferramentas educacionais) devem levar em consideração a previsão de um projeto considerando a flexibilização da navegabilidade de seu espaço virtual, de acordo com o tipo de deficiência (física, intelectual, auditiva, visual), significando uma arquitetura ergonômica eficiente e voltada ao parâmetro cognitivo do usuário.

E nesta mesma direção, encontramos as possibilidades de uso de uma interface cérebro-computador para sua aplicação como recurso para extrairmos dados neurocognitivos (como por exemplo, o eletroencefalograma e os ritmos cerebrais), o que não apenas complementaria os dados didáticos e ergonômicos, mas ampliaria nossas possibilidades de um projeto mais profundo na área educacional, já que tratou de dados Neurocognitivos.

Mas exatamente a parte da pesquisa que tratou do Corpus 3, mostrou que o estudo dos aspectos neurocognitivos precisa ainda ser muito explorado e que, invariavelmente, dependerá de um forte processo comunicativo entre alunos, profissionais da educação (professores da sala convencional, professores das salas de recursos/especialistas, psicopedagogos, professores coordenadores e direção escolar) e profissionais da área de saúde (médicos, psicólogos, fonoaudiólogos, fisioterapeutas, etc.).

Com relação a isto, o uso de uma interface cérebro-computador mostra-se como uma ferramenta viável, exequível, eficiente e eficaz para tratamentos pedagógicos e didáticos mais controláveis, do ponto de vista científico-empírico. É óbvio que não pensaríamos em termos tais equipamentos realizando diagnósticos cerebrais nos alunos! Mas poderíamos pensar sim em discutir, propor e testar o uso destas tecnologias como formas de obter dados mais seguros, que possam complementar os métodos qualitativos em Educação (incluindo a pesquisa em Ensino de Física), tão bem dominados pela competente pesquisa na área.

Numa escola (ainda) utópica, todos estes agentes (enquanto pessoas e informações de pesquisa) estariam se **“comunicando”** no sentido de uma otimização dos processos de ensino-aprendizagem.

Mas, uma vez mais lembramos que toda esta complexidade que envolve pessoas, tecnologias e espaços foram sistemicamente e funcionalmente concatenados, nesta pesquisa, através de um approche epistemológico muito consistente: a Teoria dos Campos Conceituais. Outras abordagens poderiam ser utilizadas, mas consideramos que esta teoria é bastante robusta, eficiente e eficaz para nossos propósitos, já que diz respeito diretamente ao aspecto do desenvolvimento (psicossocial) do aprendiz.

Nesta vivência sobre a dinâmica desenvolvimentista do aprendiz, a pesquisa mostrou que é necessário que o Ensino de Física seja capaz de fazer emergir constructos cognitivos próprios, específicos da área. Isto pode conformar, no presente ou num futuro muito próximo, referências para que possamos identificar, explicitar, organizar, sintetizar e até prever um quadro sistêmico e funcional em direção a um possível **“protocolo semiótico para o Ensino de Física”**.

As bases para isto poderiam estar na busca de um refinamento meta-epistemológico e meta-heurístico em relação às próprias pesquisas que já existem na área de Ensino de Física, principalmente aquelas com aportes teóricos mais próximos da Teoria dos Campos Conceituais, da Epistemologia Genética e de referenciais teóricos compatíveis.

Dentro desta perspectiva teórica, constata-se por esta pesquisa que constructos cognitivos advindos de importantes enfoques como a Epistemologia Genética de Jean Piaget, em consonância com a Teoria dos Campos Conceituais, que se abre também para enfoques sócio interacionistas (Vygotsky e outros), podem ampliar a maneira de se ensinar Física.

Assim, constructos como **‘esquemas’, ‘invariantes operatórios – conceitos e teoremas-em-ação’, ‘equilíbrio’, ‘antecipação’** e outros, necessitariam fazer parte do repertório instrumental do docente de Física (e quiçá de outras disciplinas escolares), descrevendo o desenvolvimento da inteligência dos adolescentes em relação aos conceitos físicos, algo como fez Piaget (1936) em *“La naissance de l'intelligence chez l'enfant”*.

Precisamente porque detrás destes constructos está toda a elaboração operacional de como o indivíduo pensa, de como ele elabora sua percepção e sua relação cognitiva com o mundo, da qual a Física também está inserida: em outras palavras, como o indivíduo realiza seus processos metacognitivos.

Neste sentido, perguntaríamos se já não seria o momento (histórico) de discutirmos no nível de eventos como o ENPEC e o SNEF e instituições como a Academia Brasileira de Ciência, a Sociedade Brasileira de Física e a ANPED, o repensar sobre uma Matriz de Competências e Habilidades para a Física, desenvolvida com base naquilo que a pesquisa brasileira (e quiçá internacional) já produziu sobre constructos cognitivos específicos para o Ensino de Física, ao invés de ficarmos repetindo e reproduzindo um modelo teórico que foi construído muito mais como uma generalização.

Mas, paralelamente a isto, conforme mostrou-se com a noção de cognição incorporada, mente incorporada e outros, tal 'ação sócio-cognitiva' precisa fazer parte da vida do brasileiro. O Ensino de Física no Brasil necessita de investimentos mais sólidos em relação ao uso de um contingente de recursos didáticos que permitam ao jovem brasileiro a imersão sobre a ideia do que é fazer Ciência, do que é fazer Física. Isto envolve não apenas um possível (e desejável) retorno aos laboratórios de Física, mas, também, um incentivo quanto ao uso dos recursos didáticos proporcionados por linhas de investigação como Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio-ambiente, bem como tantas outras linhas de pesquisa que conformam o brilhante trabalho acadêmico desenvolvido na área de Ensino de Ciências e Física no país.

Ao mesmo tempo, concomitantemente, isto deveria confluir para que a pesquisa em Ensino de Física no Brasil se detivesse mais na investigação sobre a condição das pessoas com necessidades educacionais especiais, assim como ocorre em outros países onde esta temática está um pouco mais discutida.

Neste sentido, pesquisas como a de Camargo (2011, 2008, 2005) mostram a capital importância que as estratégias comunicativas desempenham na compreensão e expressão dos significados sobre os conceitos físicos, não

apenas para as pessoas com deficiência visual, mas sim para todo tipo de aprendiz, com ou sem qualquer deficiência.

Ao mesmo tempo, nesta mesma linha de pesquisa, as concepções teóricas ou empíricas que tratam do desenvolvimento e da aplicação didática das tecnologias assistivas deveriam ter grande prioridade nos programas de pesquisa das universidades e das agências de fomento a pesquisa brasileira, assim como vem ocorrendo em escala crescente em países como a França (ORES, 2005), Inglaterra, Japão, Estados Unidos, Finlândia e outros.

E nesta direção, iniciativas nacionais importantes como a criação do Portal Nacional de Tecnologia Assistiva, poderiam se somar ao trabalho específico do Ensino de Física para deficientes (visuais, auditivos, físicos, intelectuais).

Consonante a isto, uma maior aproximação entre a pesquisa em Ensino de Física com áreas como a Neurociência Cognitiva, a Psicologia Cognitiva, a Ergonomia Cognitiva, a Robótica, a Biomecânica, a Biônica, entre outras, seria de extrema importância.

Assim, resultados teórico-empíricos aparentemente pertencendo somente ao campo da Medicina, como o 'Princípio de Ação Multitarefa Neuronal', enunciado pelo neurocientista brasileiro Miguel Nicolelis poderia ser transposto para a pesquisa educacional.

Este princípio relaciona-se diretamente com o conceito de 'cognição incorporada' (ou cognição situada, mente incorporada, percepção incorporada) de que tanto falamos na análise do Corpus 1. Sobre isto, valeria a pena investir mais em proposições teóricas (e empíricas) decorrentes da Teoria dos Campos Conceituais como, por exemplo, a 'Didática Profissional' (segundo Pierre Pastré), que mostra exatamente como o indivíduo aprende 'em situação'.

Com isto, poderíamos estudar, como Vergnaud, os esquemas, as estruturas cognitivas e os processos pelos quais um indivíduo considerado *expert* lida com a conceitualização para solucionar problemas de natureza prática como, por exemplo, utilizar um torno mecânico para produzir um parafuso.

Tal proposição poderia ser comparável ao que se pretende no Ensino de Física (inclusive nas outras disciplinas científicas), ao revelar como poderiam ser desenvolvidas as capacidades cognitivas (competências, habilidades e constructos similares) dos aprendizes em situações didáticas. E assim, dirimir os pensamentos de senso comum que consideram que aprender Física ou Matemática é coisa para (poucas) mentes privilegiadas.

Indo mais adiante, uma investigação mais acurada poderia determinar a rede de conexões neurais (e também de células gliais) resultando em determinados padrões, os chamados 'connectomes' (SEUNG, 2012), revelando assim, correlação empírica com alguns dos constructos aqui mencionados, como os 'esquemas'.

Em síntese, este trabalho mostrou que os princípios ideológicos e filosóficos de grandes idealizadores da ideia de que o aprendiz, o jovem, no contexto de uma educação escolar formal, deve estar imerso num ambiente que lhe seja proporcionado o '**perceber**', o '**sentir**', o '**experimentar**', é fundamental não somente para sua 'aprendizagem' conceitual formal, mas, essencialmente, para que isto possibilite que o jovem exercite a capacidade de questionar, de argumentar.

Assim, caminhando desde Comenius, Rousseau, Pestalozzi, Merleau-Ponty, e chegando em Piaget até Vergnaud, transpormos os sistemas pedagógicos e didáticos naquilo que ainda permaneceu apenas como jargões (exemplo, 'educação dos sentidos', 'construção do conhecimento', e outros), e chegarmos à essência: educar é, antes de tudo, um ato de emoção, de sentimento, em que a razão segue irresoluta.

Talvez seja a hora de buscarmos um ensino (e um aprendizado) muito mais voltado àquilo que o conhecimento, que os conceitos físicos e matemáticos, possuam de **beleza**, de **estética dos sentidos**.

Assim, para concluir, refletimos em um pensamento de Albert Einstein, que será complementado por uma citação (de uma fonte não identificada) atribuída a Leonardo da Vinci:

“I very rarely think in words at all. A thought comes, and I may try to express it in words afterwards”. Albert Einstein (KURZWEIL, 2012).

E para finalizar:

“Ogni nostra cognizione, principia dai sentimenti”. Leonardo da Vinci.

APÊNDICE – Análise estatística

Considerações preliminares

Para o estudo de algumas funções relacionadas com o eletroencefalograma (EEG) e ritmos cerebrais, conforme mostrado na revisão da literatura no texto da tese (item 4.3.2), a interface cérebro-computador EMOTIV EPOC pode ser utilizada com confiabilidade para estudo de tais fenômenos, já que a acurácia do equipamento garante tanto a eficácia quanto a eficiência metodológica e a consequente qualidade dos dados (Duvinae, Castermans e Dutoit , 2012; Lievesley, Wosencroft e Ewins, 2011).

Entretanto, o que queremos destacar é que tanto o estudo utilizando o EEG quanto os ritmos cerebrais, que empregam técnicas consagradas há quase um século na Medicina, possuem vasta gama de possibilidades de procedimentos, protocolos e técnicas interpretativas.

Principalmente a análise dos ritmos alpha, beta, gama, theta (e delta, que não foi empregado neste estudo) pode ser realizada para estudar diversas funções fisiológicas e cognitivas, como: análise das emoções, estudo do perfil cognitivo relacionado com a inteligência, perturbações do sono, estados alterados de consciência, doenças neurológicas e psiquiátricas, etc.

Para cada um destes usos existem diversas técnicas de análise, assim como também existem rotinas de análise mais adequadas para o estudo médico-clínico e outras mais apropriadas para o estudo científico.

Portanto, as análises que serão aqui realizadas são apenas uma pequena amostra dentro dos estudos científicos, e que servem aos propósitos específicos para este trabalho acadêmico. Assim, por exemplo, o estudo das emoções através do EEG e dos ritmos cerebrais, um dos objetos de análise, cumpre seu papel no contexto da tese, precisamente para tentarmos avaliar sua aplicabilidade na área educacional, com o objetivo de compreendermos alguns aspectos relacionados com os mecanismos de aprendizagem conceitual.

Comparação da correlação entre o mesmo fenômeno.

Os três sujeitos de pesquisa foram comparados, dois a dois, em relação ao mesmo tipo de tratamento metodológico (Base e Aquisição Háptica). Avaliou-se a correlação entre cada par de sujeitos. Sendo assim, os dados numéricos para cada sujeito transformam-se numa variável e, com isto, podemos analisar o comportamento de duas variáveis. Isto é possível porque os dois sujeitos (ou seja, as duas variáveis) receberam o mesmo tratamento metodológico.

Uma correlação estatística próxima de 1 significa que o tratamento aplicado teve efeito muito próximo para ambos os sujeitos.

Estamos adotando o critério estatístico internacional que considera variações para p em torno de 5%.

Os sujeitos são identificados da seguinte maneira: Paulo (*PAU*), Mariana (*MAR*) e Patrícia (*PAT*).

Neste quase-experimento, consideraremos duas fases: Base e Aquisição Háptica. A Fase Base foi quando o sujeito permaneceu por 3 minutos relaxado, sem conversar ou movimentar membros inferiores e superiores.

Na Fase de Aquisição Háptica, a pessoa tocou taticamente o objeto (experimento com peças LEGO), procurando identificar propriedades que eram explicadas pelo pesquisador. Nesta condição o sujeito também podia falar, tecer algum comentário, etc.

Os registros do Eletroencefalograma são tomados com base no sinal de atenuação, dado em decibel (dB). Os dados numéricos plotados numa tabela correspondem a 513 pontos.

Assim, para cada sujeito, tivemos uma tabela com os respectivos eletrodos localizados nos pontos AF3, AF4, F3, F4, F7, F8, FC5, FC6, T7, T8, P7, P8, O1 e O2.

Fase Base

Os valores das correlações estão expressos na Tabela 1

Tabela 5 – Valor das correlações para cada par de sujeito analisado

	PAU/MAR	PAU/PAT	MAR/PAT
AF3	0,83	0,84	0,86
AF4	0,87	0,86	0,90
F3	0,80	0,77	0,81

F4	0,46	0,46	0,42
F7	0,59	0,67	0,64
F8	0,85	0,85	0,86
FC5	0,85	0,87	0,83
FC6	0,80	0,83	0,82
T7	0,82	0,87	0,80
T8	0,80	0,86	0,85
P7	0,82	0,79	0,75
P8	0,83	0,86	0,85
O1	0,81	0,86	0,84
O2	0,57	0,59	0,65
MÉDIA	0,76	0,78	0,78

Maiores correlações nos pontos: AF3, AF4, F8, FC5, T7, T8, P8, O1.

Menores correlações nos pontos: F4, F7, O2.

Apesar das altas correlações para vários pontos, as médias foram equivalentes. Mas isto apenas significa que o comportamento médio dos três sujeitos parece ter sido muito semelhante.

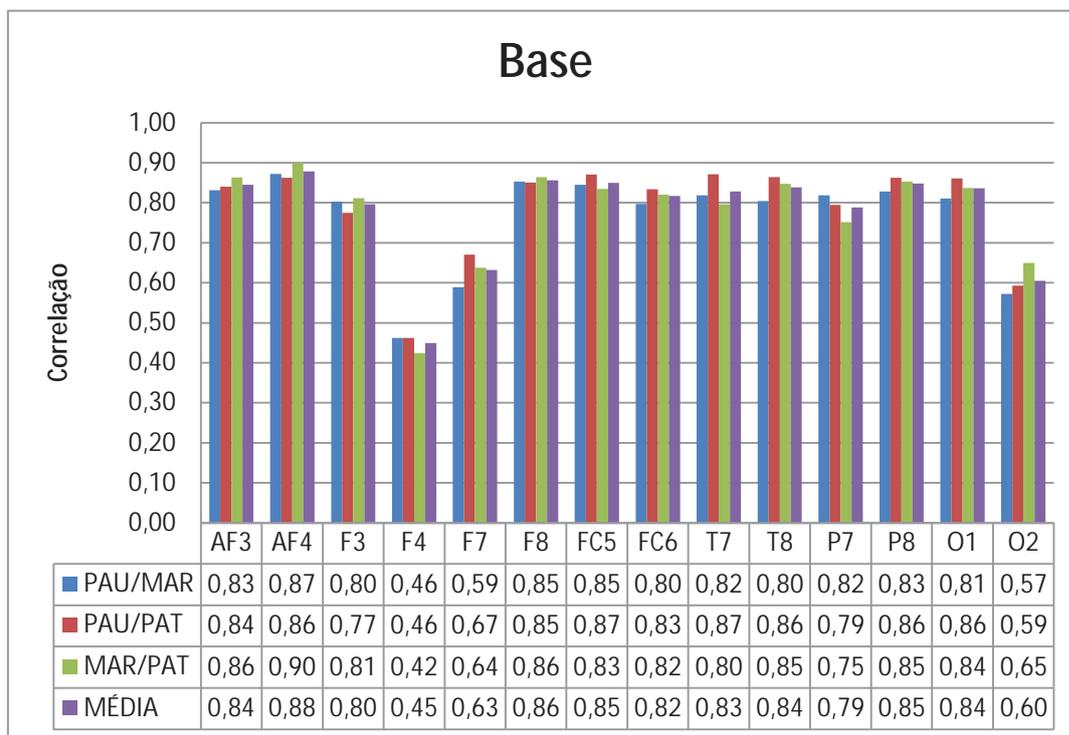


Gráfico 4 – Correlações par a par para a Fase Base.

Tabela 6 – Dados das correlações para a Fase de Aquisição Háptica

	PAU/MAR	PAU/PAT	MAR/PAT
AF3	0,91	0,83	0,83
AF4	0,34	0,75	0,36
F3	0,75	0,67	0,70
F4	0,41	0,48	0,46
F7	0,46	0,45	0,50
F8	0,83	0,84	0,84
FC5	0,44	0,45	0,24
FC6	0,72	0,75	0,79
T7	0,78	0,83	0,81
T8	0,52	0,66	0,53
P7	0,45	0,83	0,40
P8	0,78	0,83	0,87
O1	0,77	0,83	0,80
O2	0,39	0,44	0,53
MÉDIA	0,61	0,69	0,62

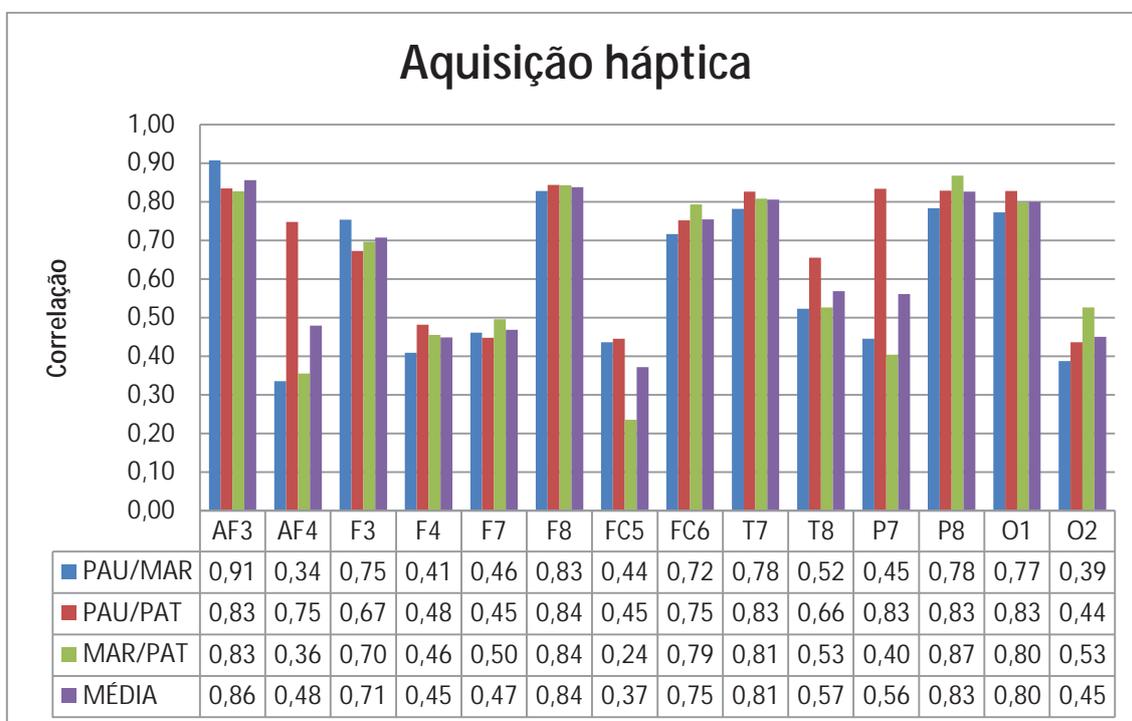


Gráfico 5 – Correlações par a par para a Fase de Aquisição Háptica

Maiores correlações nos pontos: AF3, F3, F8, FC6, T7, P7 (apenas para o par PAU/PAT), P8 e O1.

As menores correlações ocorreram nos pontos: AF4 (exceto para o par PAU/PAT, cuja correlação foi 0,75), F4, F7, FC5, T8, P7 (exceto para o par PAU/PAT) e O2.

O interessante é constatar uma assimetria de correlações em todos os pares de pontos (hemisférios esquerdo e direito, respectivamente), ou seja, todos pontos onde tivemos maiores correlações, também tivemos as menores correlações no ponto simétrico.

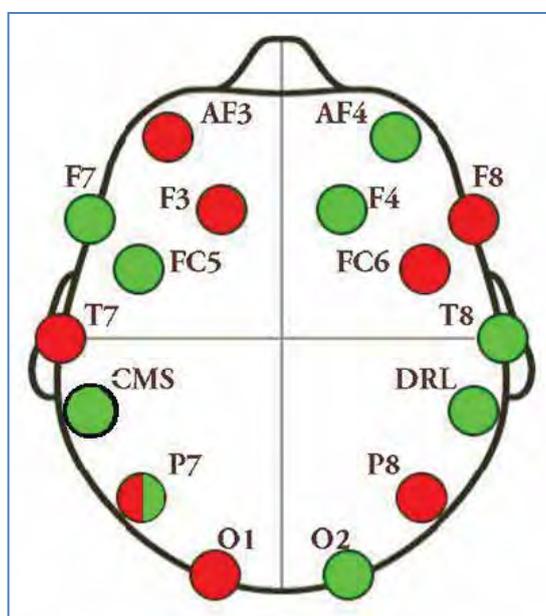


FIGURA 104 – Correlações maiores (acima de 0,60) em cor vermelha, e correlações menores (abaixo de 0,60) em cor verde. Os pontos CMS e DRL não são considerados. O ponto P7 apresentou os dois tipos de correlações (ler comentário acima).

Análise

Os dois tipos de fenômenos, completamente diferentes entre si, demonstram, entretanto, valores significativos de correlações (considerando o valor 0,60 como referência estatística), o que corresponderia a um valor de $p < 0,005$ (ou seja, menor que 5% de erro). De fato, isto mostra que uma vez considerado que cada um dos pares avaliados foi adotado como sendo uma variável, a análise das correlações mostram que o mesmo fenômeno afetou de maneira

idêntica as duas variáveis. Mas, no caso, o que estamos chamando de 'variáveis' são precisamente os dados elétricos do Eletroencefalograma, medidos em potência de atenuação em decibel de cada sujeito de pesquisa.

Conclusão

Ambos os tipos de tratamentos metodológicos (Fase Base e Fase de Aquisição Háptica) mostraram terem sido aplicados com significativa semelhança ou proximidade em termos de seus efeitos. Isto sugere um grau suficiente de confiabilidade nas metodologias aplicadas, já que o efeito sobre as variáveis foram estatisticamente significativos, pelo menos nos pontos indicados. Isto faz com que os procedimentos metodológicos adotados possuem boa repetitividade.

Assim, com esta semelhança estatística pode-se afirmar, com segurança, que este tipo de tratamento metodológico pode ser utilizado para a avaliação deste tipo de fenômeno que, em nosso caso, refere-se ao estudo direto e indireto de funções cognitivas superiores como memória, atenção, cognição emocional.

Contudo, outras medidas e avaliações estatísticas entre as variáveis, assim como outros delineamentos empíricos podem revelar características distintas que não foram aqui consideradas, principalmente o estudo qualitativo e ou quantitativo dos ritmos cerebrais, já que tais informações complementam esta primeira abordagem puramente numérico-estatística.

Estudo estatístico 2

Análise das correlações: Base/Ouvindo, Base/Háptico, Ouvindo/Háptico

Neste estudo, consideraremos o efeito de cada tratamento, porém comparando sujeito por sujeito separadamente. No Estudo estatístico 1 tivemos certa confiabilidade na aplicação dos tratamentos, mostrado pelos relativos valores de correlações muito próximos.

O delineamento experimental agora será realizado em três fases: Base, Ouvindo e Háptico.

As fases Base e Háptico já foram explicadas anteriormente. Chamamos de Fase Ouvindo, o momento em que o sujeito de pesquisa ouvia uma explicação teórica sobre determinado conteúdo de Física. Neste momento o sujeito não tocava o material didático, e tampouco emitia argumentos para o pesquisador.

Base e Ouvindo



Gráfico 6 – Correlações comparativa das fases Base/Ouvindo

Destacam-se maiores correlações e pontos coincidentes: AF4, F8, F3, FC6, T7, P8, O1.

Menores correlações e pontos coincidentes: F7, F4, FC5, O2.

Base e Háptico

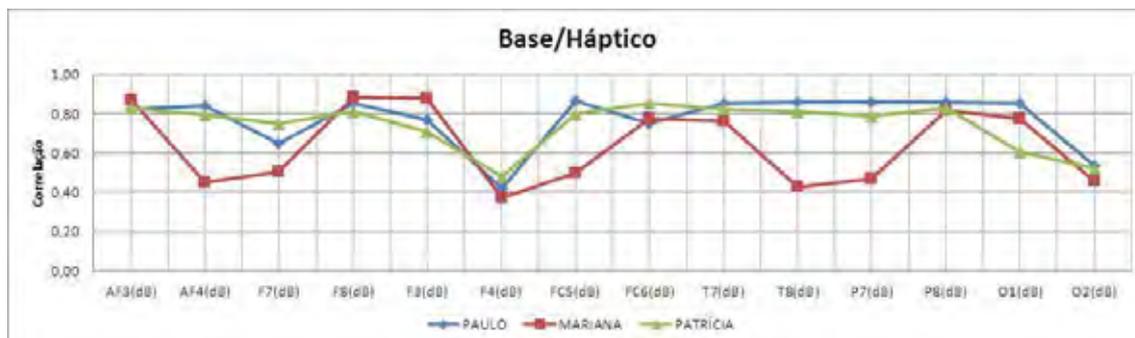


Gráfico 7 – Correlações comparativas das fases Base/Háptico

Maiores correlações e pontos coincidentes: AF3, F8, F3, FC6, T7, P8, O1

Menores correlações e pontos coincidentes: F4, O2.

Ouvindo e Háptico

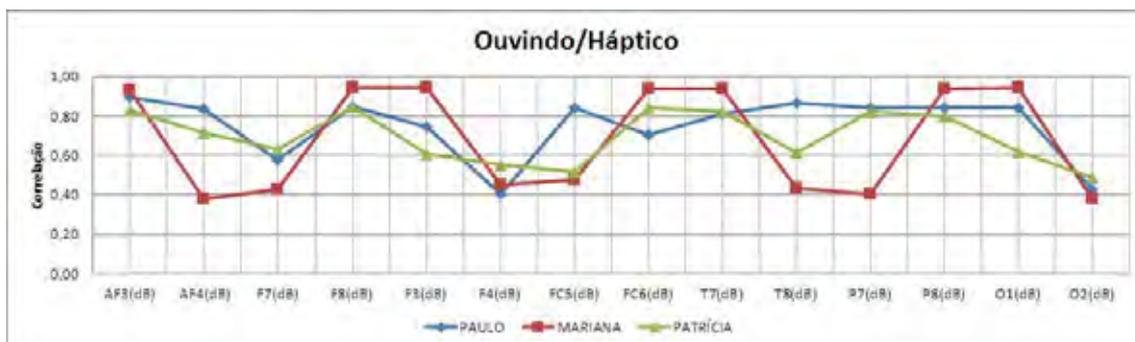


Gráfico 8 – Correlações comparativas das fases Ouvindo/Háptico

Maiores correlações e pontos coincidentes:

- **F8** : memória/audição/compreensão a partir do verbal;
- **F3** (Paulo e Mariana): pensamento abstrato
- **FC6** : processamento de tomada de decisão, integração sensorial, reforço afetivo;
- **T7** : processamento da fala, do discurso, compreensão e memória verbal, associado fortemente a respostas emocionais; também relacionado com o reconhecimento de palavras e números;
- **P7 (Paulo e Patrícia)**: integra a percepção para formar uma interpretação/função cognitiva, relação espacial-corporal;
- **P8**
- **O1**: região responsável predominantemente pelos mecanismos relacionados com a visão, mas também envolve funções cognitivas pertencentes ao raciocínio lógico estruturado.

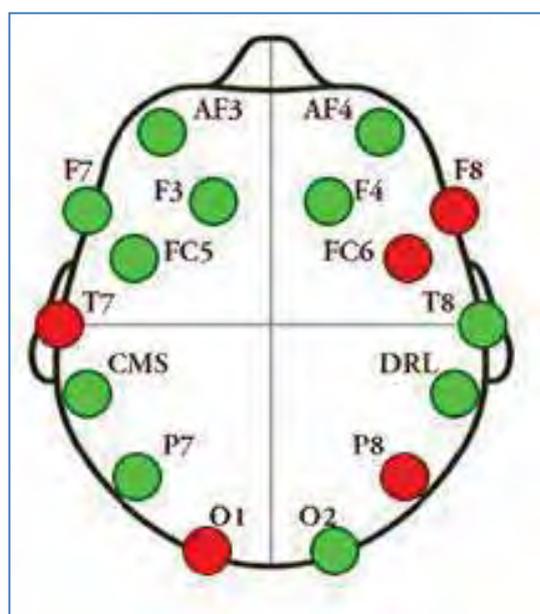


FIGURA 105 - Processamento das correlações mais significativas para a relação Ouvindo/Háptico: F8, F3, FC6, T7, P7, P8, O1

Menores correlações e pontos coincidentes: F7, F4, O2.

Particularidades dos sujeitos

Para o sujeito Paulo, as maiores correlações foram: AF4, F8, FC6, F3, FC5, T7, T8, P7, P8, O1. Foi o sujeito com mais pontos de correlação (total de 10). Seus três primeiros pontos de correlação maior, do lado direito (AF4, F8 e FC6), estão praticamente adjacentes.

Há um equilíbrio quantitativo de pontos de maior correlação entre ambos os hemisférios (5 de cada lado).

Patrícia teve correlações mais significativas em: AF4, F8, FC6, T7, P7, P8.

O interessante é que os três primeiros pontos de maior correlação (AF4, F8 e FC6) estão próximos e coincidem com os mesmos pontos de alta correlação do sujeito Paulo. Há predominância de correlação no hemisfério direito.

Mariana possui as maiores correlações: AF3, F3, F8, FC6, T7, P8 e O1. Apesar da quantidade de pontos serem apenas um maior do que os de Patrícia, seus valores foram maiores.

Interessante notar que apesar da cegueira, Mariana apresentou forte correlação para o ponto O1, o que não seria normal de esperar, a não ser que, provavelmente, associássemos algum tipo de plasticidade, da mesma forma como ocorreu com Paulo, também com boa correlação em O1. Isto já não aconteceu com Patrícia, provavelmente em função de que sua deficiência visual ser bem mais recente, comparativamente aos outros dois sujeitos. Neste caso, Patrícia apresentaria uma menor plasticidade cerebral para os pontos O1 e O2.

Ainda em Mariana, os pontos F8 e FC6 coincidem com os mesmos pontos de maior correlação dos sujeitos Paulo e Patrícia. São quatro pontos de maior correlação para o hemisfério esquerdo contra três para o hemisfério direito.

Mas Mariana também apresenta as menores correlações para os pontos: AF4, F7, T8, P7 e O2.

Estudo quali-quantitativo 1

Análise temporal dos ritmos cerebrais

Neste delineamento foram recolhidas amostras de 30 em 30 segundos, dentro de um intervalo de tempo de 5 minutos. Este procedimento de coleta de dados estatísticos é bastante utilizado na técnica estatística, pois confere um padrão fixo de amostragem definido temporalmente.

Duas fases serão consideradas, a primeira é a Fase de Aquisição auditiva, onde o sujeito de pesquisa ouvia uma explicação oral sobre um conteúdo de Física. Nesta situação, o sujeito não interagiu com nenhum objeto, e também procurava não argumentar sobre aquilo a respeito da explicação que lhe era fornecida pelo pesquisador. A análise será realizada nos três sujeitos de pesquisa.

A outra fase analisada é a Fase de Aquisição Háptica, onde o sujeito era conduzido para explorar tátil-cognitivamente o material didático construído especificamente para a aula de Física, com as peças LEGO.

Fase de Aquisição Auditiva

Sujeito Paulo

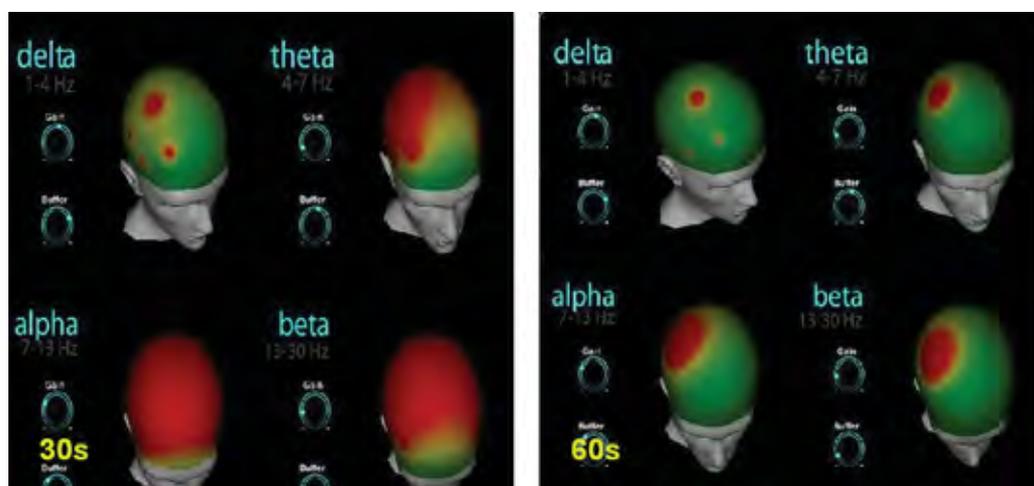


FIGURA 106 – 30 e 60 segundos



FIGURA 107 – 90 e 120 segundos

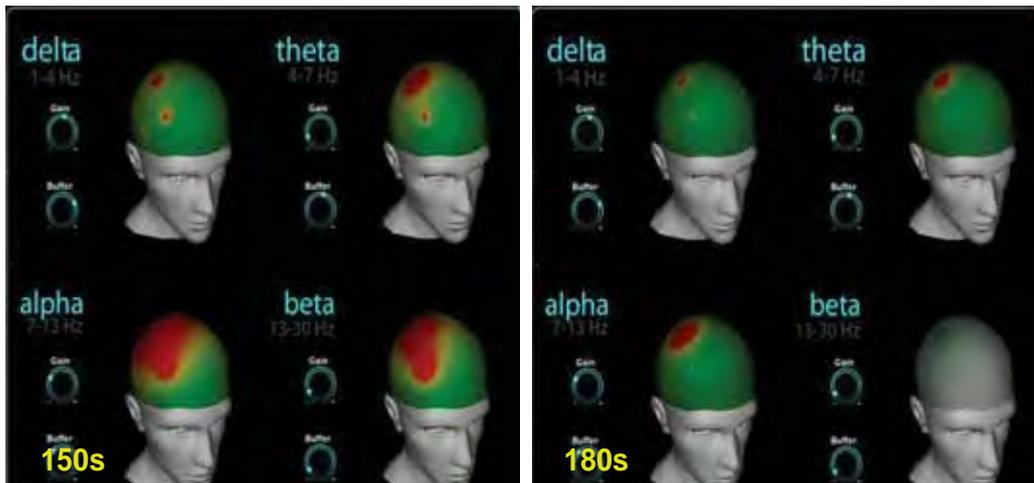


FIGURA 108 – 150 e 180 segundos

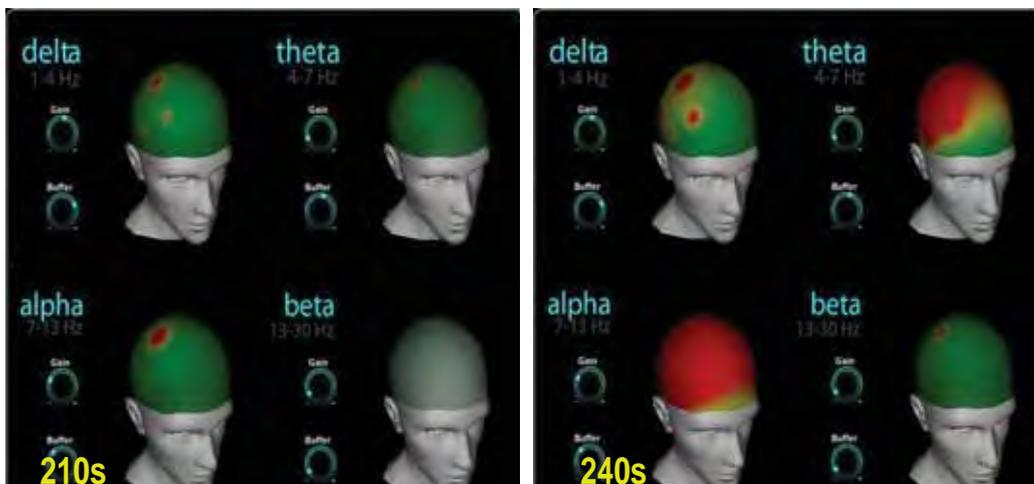


FIGURA 109 – 210 e 240 segundos

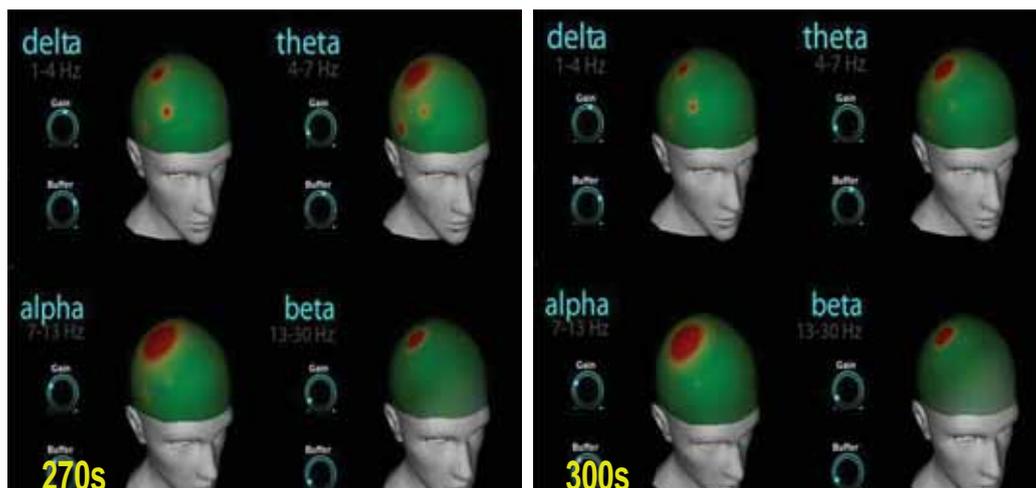


FIGURA 110 – 270 e 300 segundos

Comentário

No primeiro minuto de audição, os ritmos mais proeminentes foram Alpha, Beta e Theta, já no minuto seguinte a atividade Alpha ainda permanece com maior intensidade, o que vai ocorrer até o quarto minuto, onde houve a maior atividade deste ritmo até este momento, mas também verifica-se grande ocorrência no ritmo Theta (em 240 segundos).

Nos últimos 60 segundos, tivemos um pico maior do ritmo Theta em 270 segundos, que logo atenuou até 300 segundos, mas a atividade Alpha permaneceu proeminente.

Sujeito Mariana

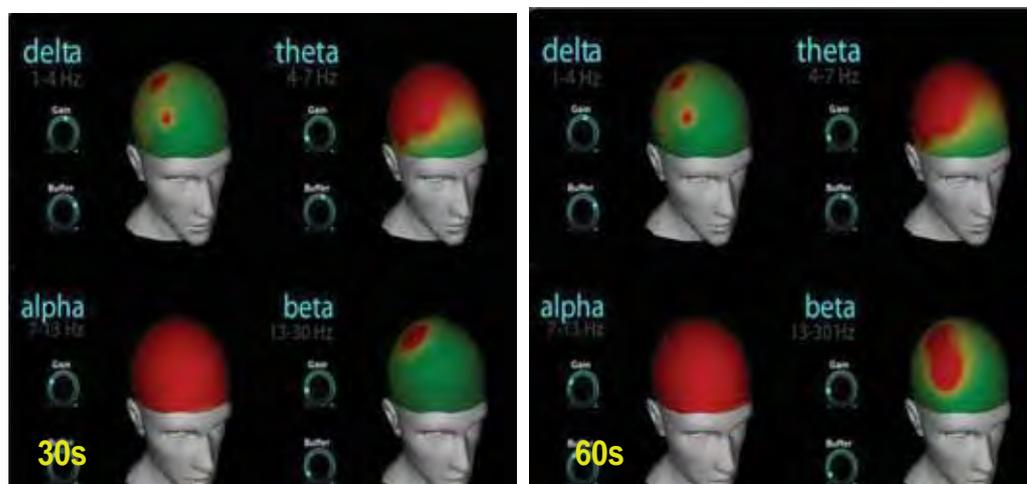


FIGURA 111 – 30 e 60 segundos – predominância de ondas Alpha e Theta

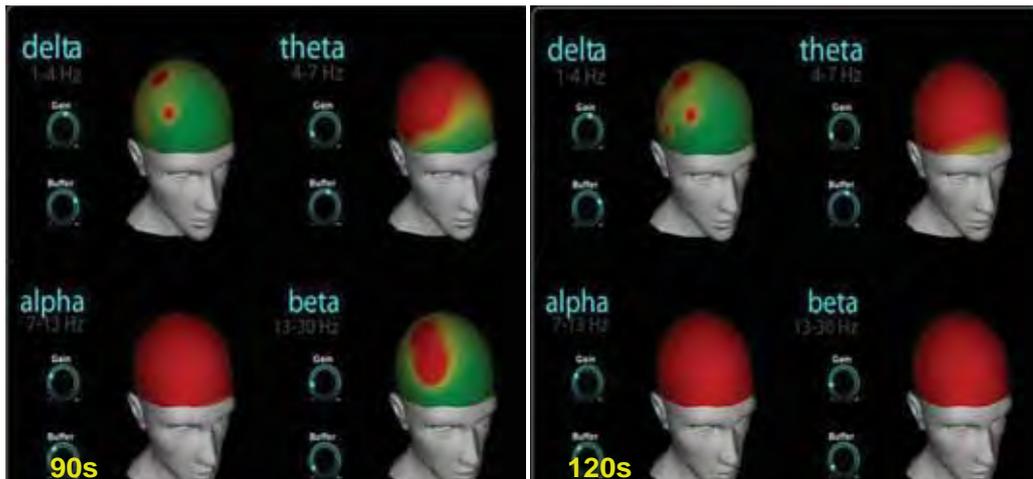


FIGURA 112 – 90 e 120 segundos: completa atividade Alpha, Beta e Theta

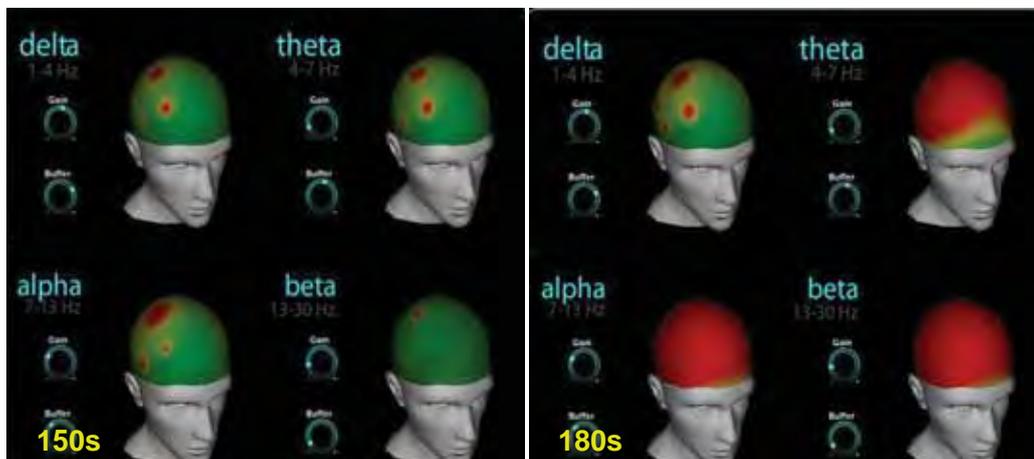


FIGURA 113 – Em 150 segundos maior ocorrência em Alpha, mas novamente em 180 segundos grande atividade Alpha, Beta e Theta

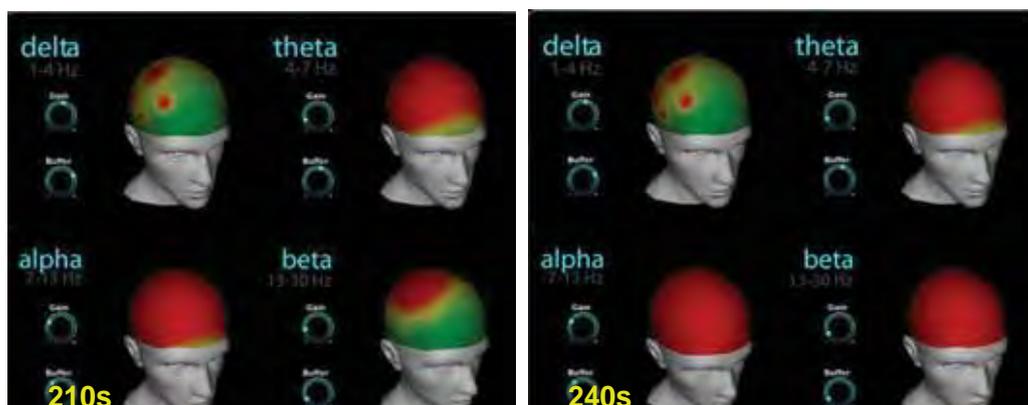


FIGURA 114 – Em 210 segundos Alpha e Theta predominam, mas Beta também é intenso. Em 240 segundos Alpha, Beta e Theta novamente vão ao máximo

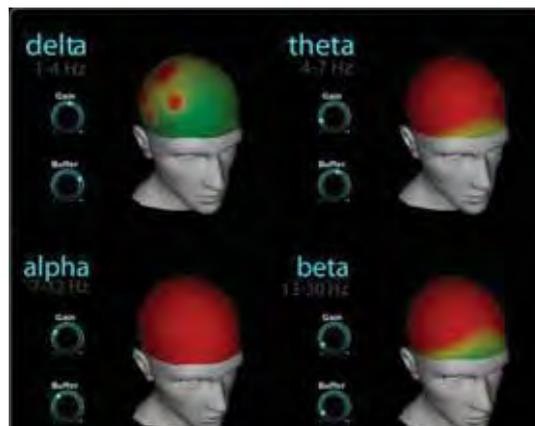


FIGURA 115 – Em 270 segundos, Alpha e Theta permanecem com um pico máximo, mas Beta também é intenso.

Comentário

É patente a grande atividade dos ritmos Alpha, Beta e Theta durante todo o experimento, mesmo que em alguns instantes um destes ritmos tenha decaído momentaneamente. Mesmo diminuindo o ajuste de ‘ganho’ no software, estes ritmos permaneceram sempre altos. A atividade na faixa espectral do ritmo Delta praticamente se manteve constante. Comparativamente ao sujeito Paulo, por exemplo, esta atividade Delta no sujeito Mariana, foi muito mais intensa em praticamente todas regiões cobertas pelos eletrodos.

Sujeito Patrícia

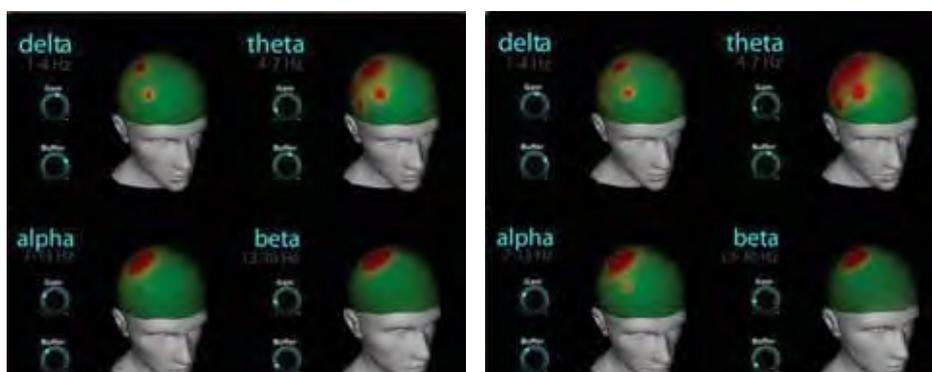


FIGURA 116 – 30 e 60 segundos: Predominam os ritmos Alpha e Theta, este último mais proeminente no primeiro minuto.



FIGURA 117 – 90 e 120 segundos: diminuição do ritmo Theta, preservando ritmo Alpha e intensificando Beta.

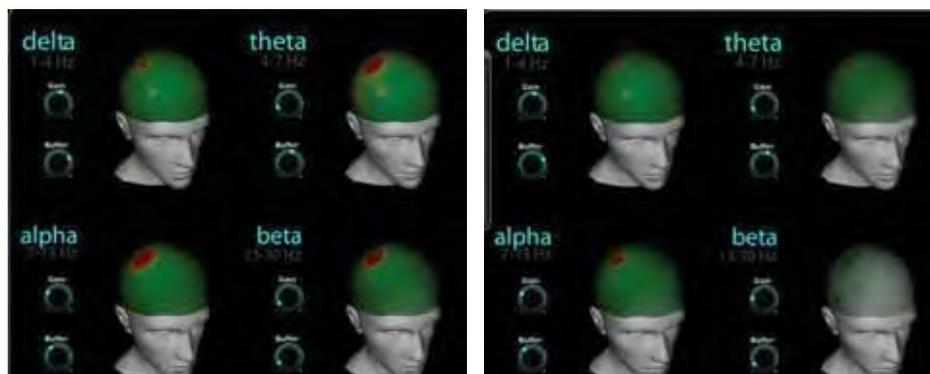


FIGURA 118 – 150 e 180 segundos: diminuição de todos ritmos, inclusive Alpha, mas ainda intenso que os demais.

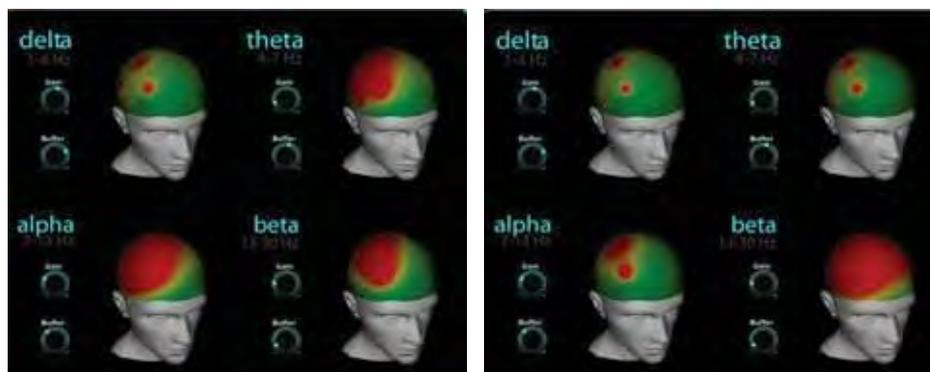


FIGURA 119 – Em 210 e 240 segundos: Em 210 segundos Alpha, Beta e Theta são fortemente intensificados. Aos 240 segundos Beta é ainda maior, diminuindo Alpha e Theta.

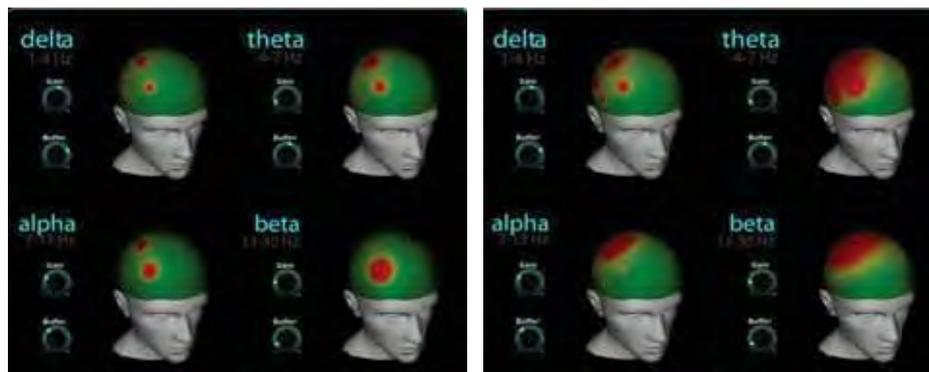


FIGURA 120 -270 e 300 segundos, todos ritmos (exceto Delta) com sinal forte em 270 segundos. Mas aos 300 segundos Beta e Theta são mais intensos, Alpha também é incrementado.

Comentário

Neste sujeito também tivemos fortes picos de atividade nos ritmos Alpha, Beta e Theta, mas muito menos intensos comparativamente ao sujeito Mariana. Destaca-se ainda que no ritmo Delta também se encontra algumas regiões com maior intensidade do sinal, o que poderia ser investigado com maior detalhe, conforme mostraremos no próximo estudo.

Discussão geral

Na média os três sujeitos apresentaram sempre ritmo Alpha sempre em níveis significativamente altos, principalmente se comparado ao ritmo Delta que, praticamente, manteve-se constante, mas em níveis relativamente significativos. A variação nos ritmos Theta e Beta também foram mais fortes, principalmente nos sujeitos Mariana e Patrícia, comparando-se ao sujeito Paulo.

As ondas Beta e Theta estão fortemente correlacionadas com processos emocionais. O ritmo Alpha pressupõe um nível de relaxamento mental (e físico) bastante intenso, mas também pode ocorrer no estado de vigília, como foi o caso aqui estudado (ouvindo). Normalmente quando o indivíduo está com a atenção dirigida, a atividade Alpha é suprimida. Inclusive, na aquisição dos dados do EEG, como protocolo, os olhos permanecem fechados e, se abertos,

inibem a ocorrência do ritmo Alpha. No nosso caso, todos três sujeitos estavam de olhos abertos, embora Mariana seja cega total, assim como também o sujeito Paulo. Já o sujeito Patrícia consegue perceber vultos, mas, mesmo assim, foi registrada atividade do ritmo Alpha com os olhos abertos.

Também convém destacar que parece não ter ocorrido nenhum momento de sonolência para qualquer um dos sujeitos, mesmo estando no estado de estarem ouvindo passivamente o pesquisador fornecer as explicações verbalmente. A sonolência inibe o ritmo Alpha.

Existe uma associação entre o ritmo Alpha e o grau de inteligência, o que não pôde ser aqui avaliado diretamente. Entretanto, maior atividade Alpha é diretamente correlacionada com maior predisposição para aprendizagem. Assim, podemos supor que os episódios com maior intensidade do ritmo Alpha sugere que o sujeito estava num estado cognitivamente mais propício para aprendizagem.

Em vários momentos, principalmente no sujeito Mariana, a atividade Beta foi bastante intensa, o que sugere realmente forte estado cognitivo de concentração na atividade em estado de vigília, já que ondas Beta são caracteristicamente mais presentes neste tipo de tarefa. Mas estas ondas estão diretamente correlacionadas a uma condição afetiva muito favorável (e prazerosa), quando a memória é evocada fazendo emergir conteúdos emocionais experimentados anteriormente (AFTANAS *et al*, 2004) .

No que se refere às ondas Theta, alguns autores consideram que estão associadas a algumas patologias neurológicas. Entretanto, estas ondas também sugerem forte estado de relaxamento, indicando grande estado de alegria, satisfação e criatividade. De qualquer maneira, se não estiver associada com uma condição patológica, as ondas Theta se manifestam somente se existe algum tipo de estímulo prazeroso.

Estudo quali-quantitativo 2

Análise temporal dos ritmos cerebrais – amostragem proposital

Para este estudo utilizaremos a técnica da amostragem proposital (ou *purposive sampling*). A justificativa principal para a adoção desta técnica é que, como vimos anteriormente, a coleta de dados com determinação padronizada de tempo traz como desvantagem o fato de que os eventos que sejam eventualmente significativos, do ponto de vista da observação do histórico ou do desenvolvimento ‘clínico’ do indivíduo, pode passar completamente despercebido, já que mascara os efeitos que ficam fora daquele momento temporal.

Entretanto, com a amostragem proposital, que é um método muito semelhante ao que os médicos utilizam na prática clínica, o registro completo do evento (no nosso caso, o arquivo contendo o registro elétrico do EEG e dos ritmos cerebrais) é estudado por completo, ou seja, do início ao fim, por várias vezes, até que o profissional selecione apenas os eventos que foram significativamente diferenciados em relação àquilo que se esperaria para aquele tipo de evento.

Assim, como procedimento metodológico, pode-se registrar (ou não) a duração temporal de ocorrência de determinado evento, bem como também o intervalo de tempo entre dois eventos semelhantes. Com o uso do software Emotiv EPOC 3D BrainActivity Map, é possível registrar simultaneamente tanto o mapa com o EEG, quanto o mapa com a atividade dos ritmos.

Assim, para o caso aqui considerado, onde estudaremos o comportamento elétrico em uma tarefa motora que envolve a percepção háptica, é esperado que determinados ritmos cerebrais sejam sincronizados e outros estejam dessincronizados. Por exemplo, normalmente, neste tipo de tarefa motora não é esperado eventos de ritmo Alpha e Theta. Passemos, portanto, à esta análise, sujeito por sujeito.

Sujeito Paulo

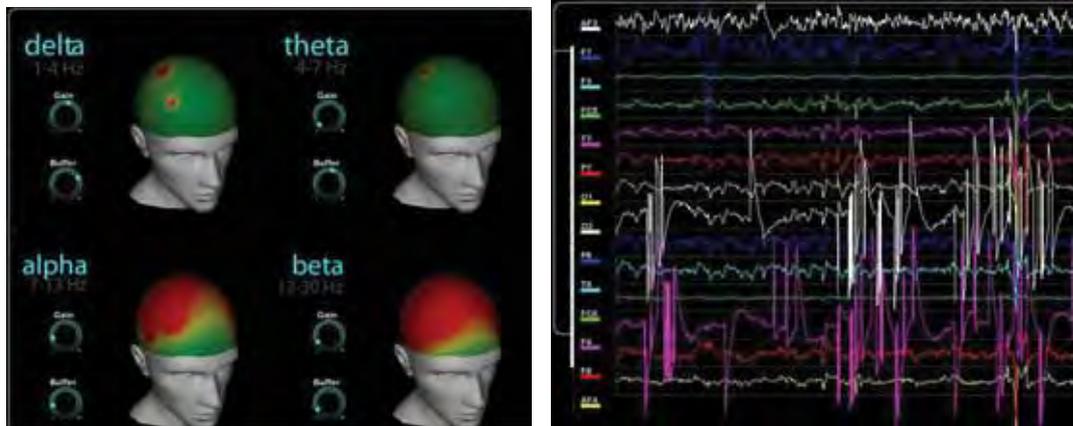


FIGURA 121 – Episódio 1: grande atividades nos ritmos Alpha e Beta

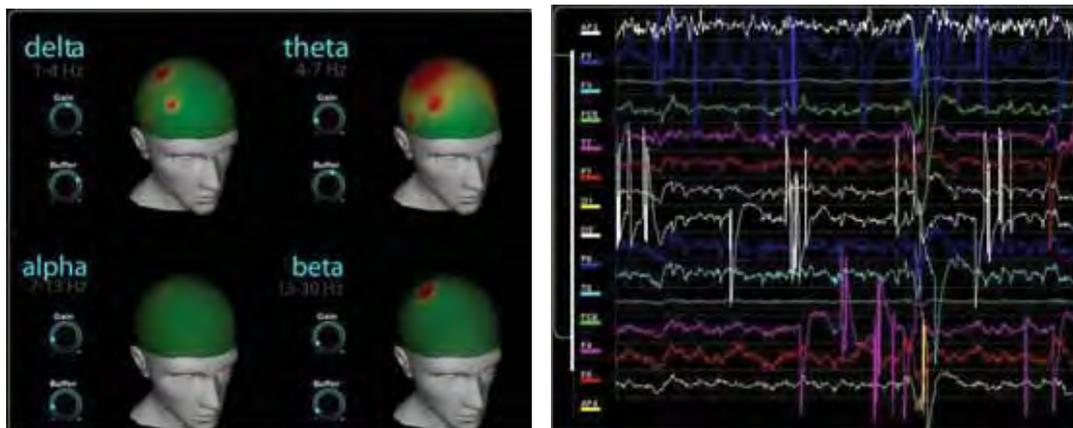


FIGURA 122 – Episódio 2: Atividade forte em Theta

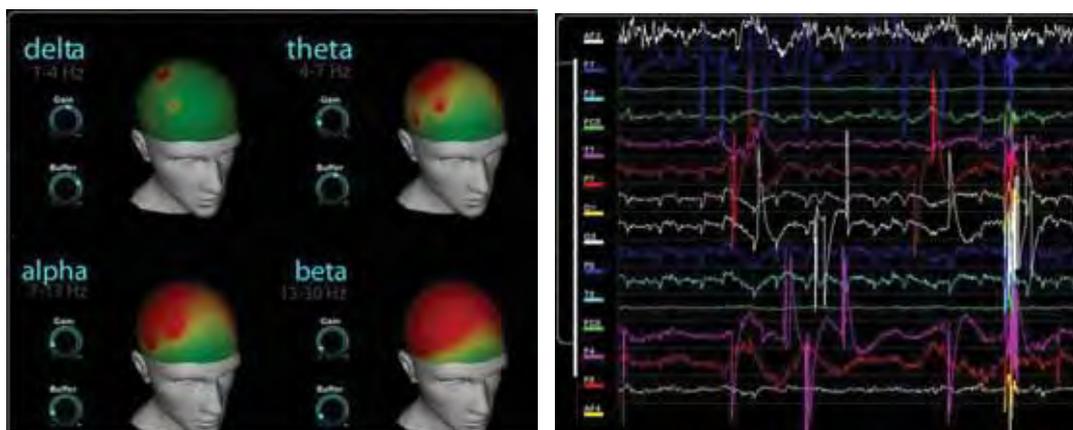


FIGURA 123 – Episódio 3 – Intensa atividade em Alpha e Beta

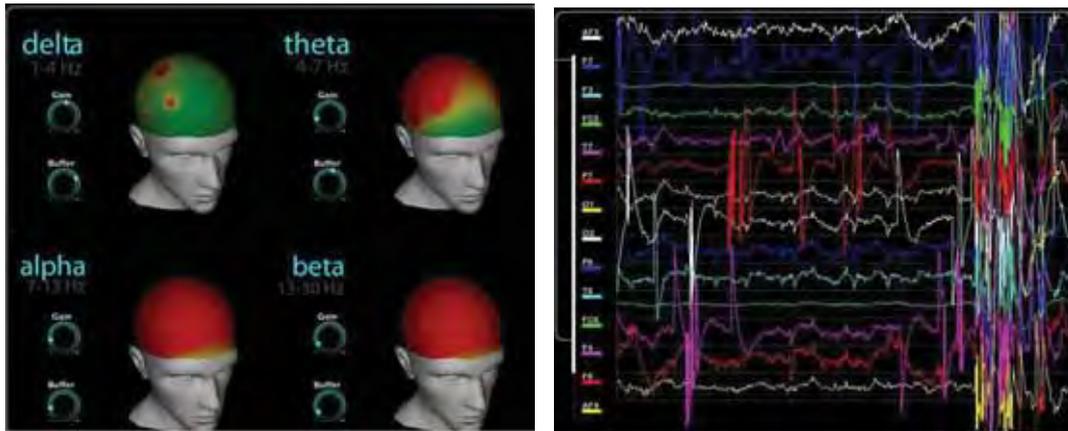


FIGURA 124 – Episódio 4: Atividade máxima nos ritmos Alpha e Beta e intensa atividade em Theta

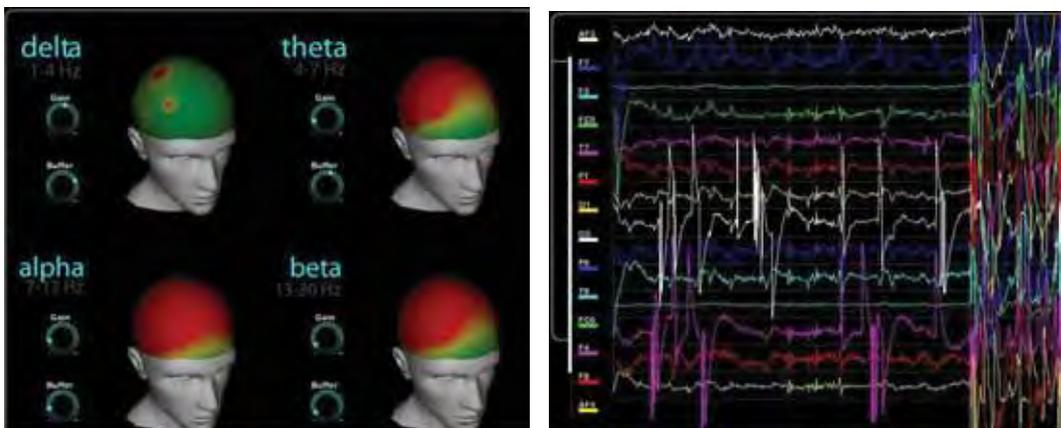


FIGURA 125 – Episódio 5: Persistência de atividades próximo do máximo em Alpha, Beta e Theta.

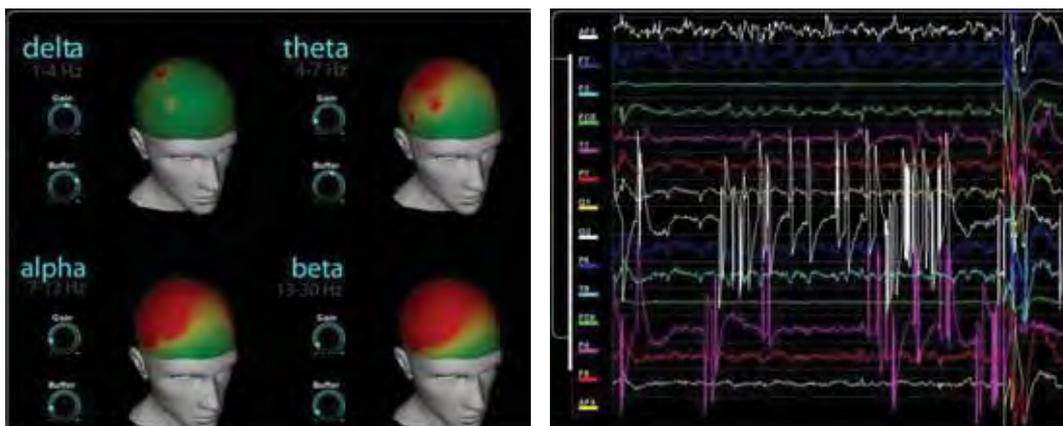


FIGURA 126 – Episódio 6: Ainda grande atividade em Alpha e Beta, mas também em Theta.

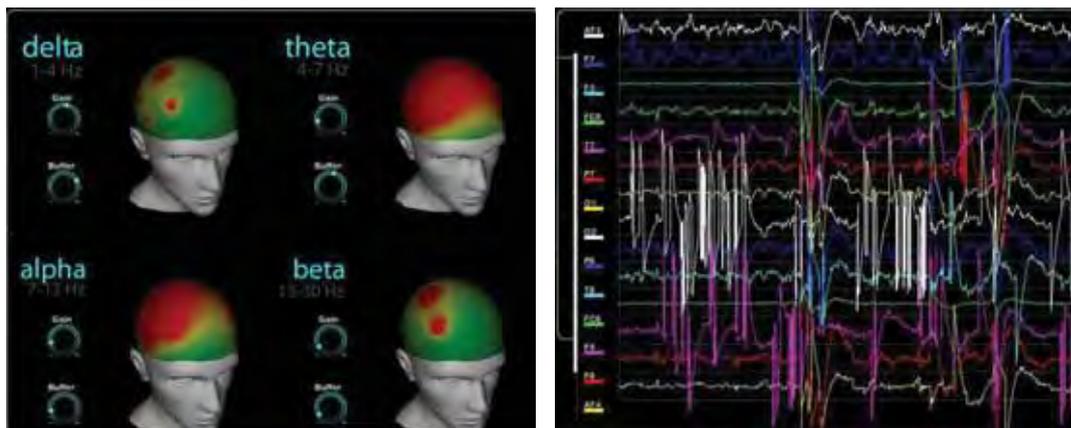


FIGURA 127 – Episódio 7: Aumento no ritmo Theta, diminuição em Beta e Alpha permanece idêntico ao Episódio 6.

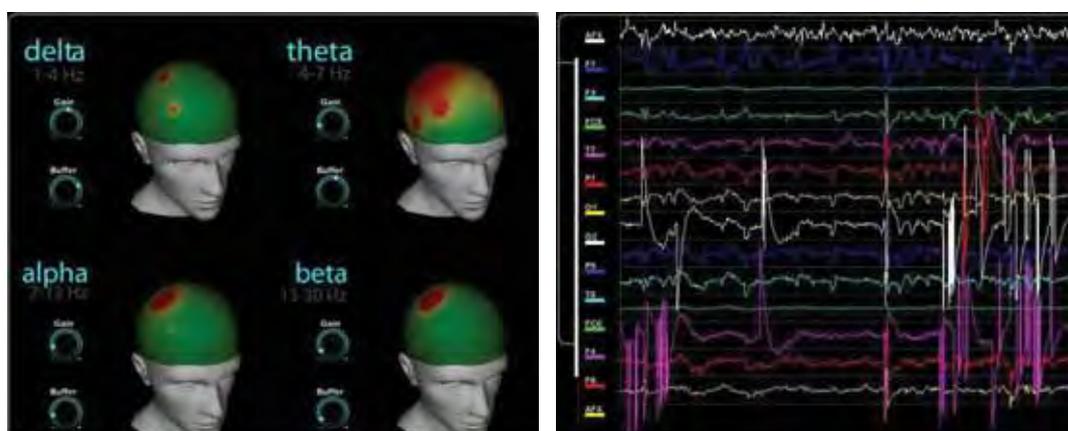


FIGURA 128 – Episódio 8: Diminuição em Alpha e Beta, Theta diminui mas permanece intensa.

Comentário

Conforme vimos no Estudo Quali-quantitativo 1, o sujeito Paulo apresentou na fase de Aquisição Auditiva (enquanto apenas ouvia uma explicação oral fornecida pelo pesquisador a respeito de determinado conteúdo de Física), dois picos máximos de atividade no ritmo Alpha, bem como apenas um pico em Theta outro em Beta.

Para esta nova tarefa cognitiva, que envolveu a percepção tátil e ainda a própria verbalização por parte do sujeito Paulo, tivemos vários instantes onde a atividade dos ritmos Alpha, Beta e Theta foram máximas (cor vermelha). Mas, mais interessante do que isto é o fato de que em vários episódios tal condição permanecia nestes picos de alta intensidade por aproximadamente 5 segundos

e, ainda mais, com diferença temporal entre um episódio e o seguinte de aproximadamente 20, 30 ou 40 segundos.

Reforçamos que as atividades Beta e Theta são fortemente correlacionadas com o atributo emocional. As ocorrências das ondas Theta também não seriam comuns para este tipo de tarefa cognitiva.

Sujeito Mariana

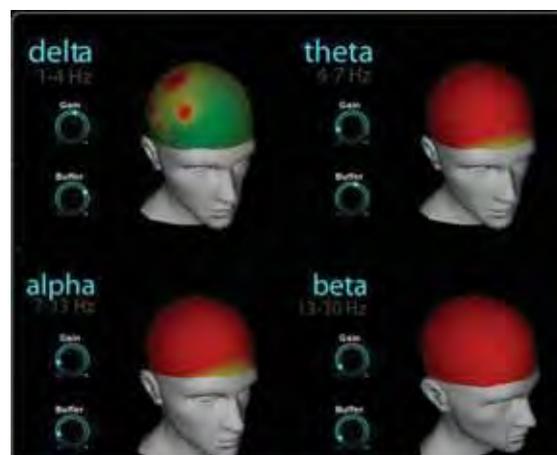


FIGURA 129 – Estado cognitivo entre os instantes de tempo 5 até 65 segundos (com algumas flutuações em Alpha, Beta ou Theta)



FIGURA 130 – Atividade no ponto AF3 – em 10 segundos



Figura 131 – Atividade no ponto AF3 – no instante 10 segundos

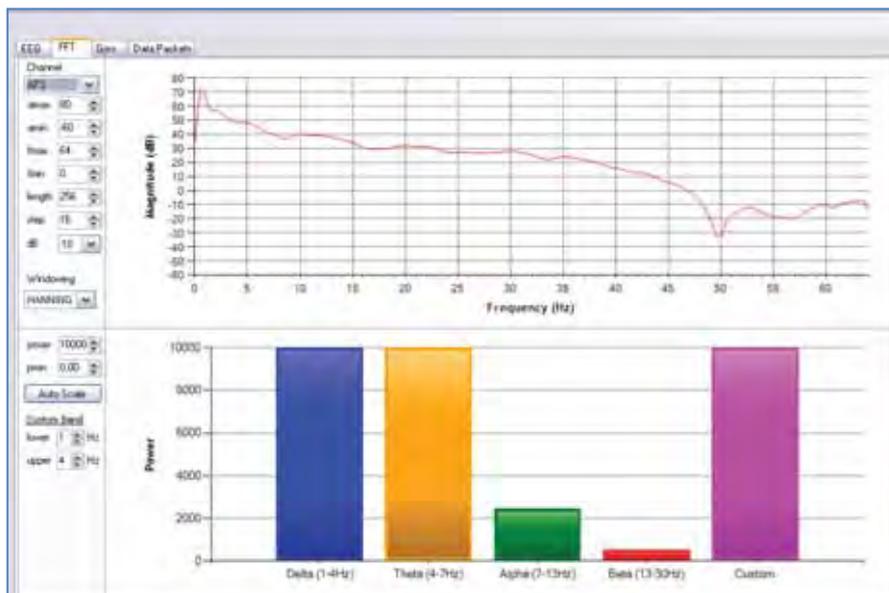


FIGURA 132 – Atividade no ponto AF3 – no instante 15 segundos

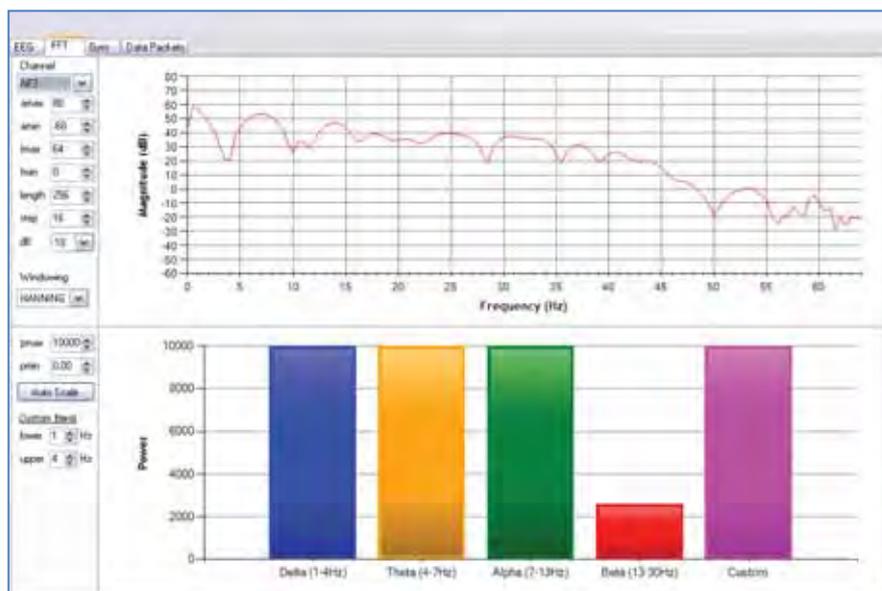


FIGURA 133 – Atividade no ponto AF3 no instante 25 segundos

No caso do sujeito Mariana, após estudar o registro de toda tarefa tátil-cognitiva, verificamos que houve predominância nos ritmos Alpha, Beta e Theta, sofrendo algumas flutuações num destes ritmos por apenas alguns segundos. Então, outra possibilidade é escolhermos alguma região em particular para uma análise mais detalhada. Assim, nas figuras 31, 32 e 33, foi estudados as regiões occipitais O1 e O2, que correspondem a região responsável pelo mecanismo da visão.

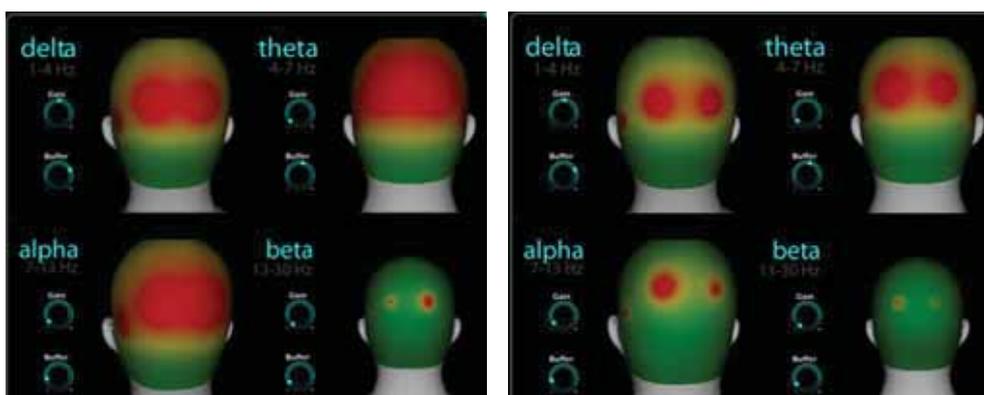


FIGURA 134 – Estudo da região occipital nos pontos O1 e O2 mostrando grande atividade nos ritmos Delta, Alpha e Theta.

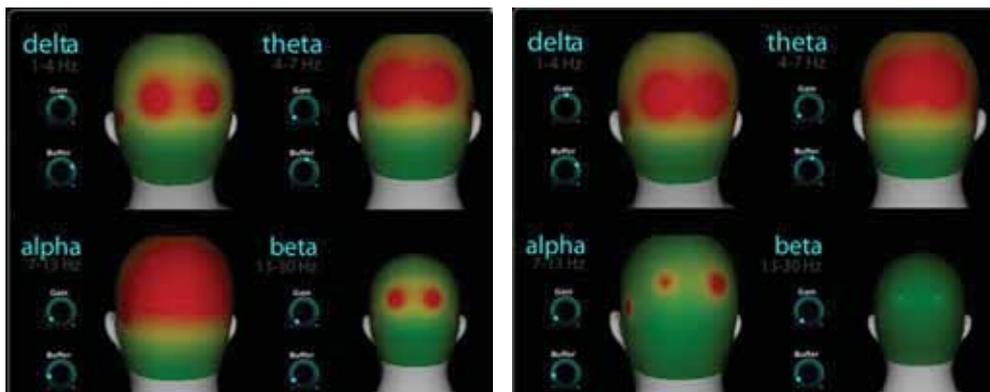


FIGURA 135 - Ainda forte atividade nos ritmos Alpha, Delta e Theta nos pontos O1 e O2, com diminuição em Beta.

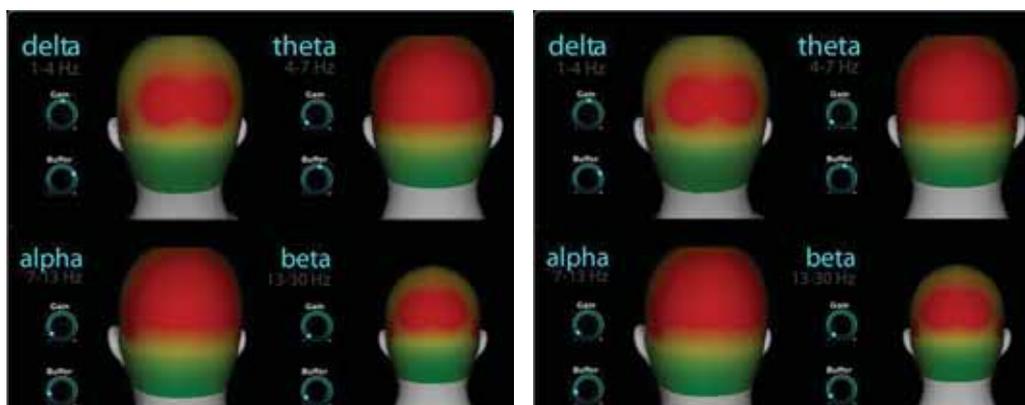


FIGURA 136 – Intensificação dos ritmos Alpha e Theta (atingindo quase o nível máximo), e aumento em Beta. Delta permaneceu constante. Análise nos pontos occipitais O1 e O2.

Da mesma maneira, uma análise quantitativa pode ser realizada somente num único eletrodo, por exemplo, o O1, conforme mostrado na Figura 34.



FIGURA 137 – Estudo detalhado da atividade no ponto occipital O1, mostrando intensa atividade em Delta, e relativa atividade em Alpha.

Comentário

O sujeito Mariana também apresentou nesta tarefa cognitiva motora, com estimulação predominante na parte tátil, grande atividade dos ritmos cerebrais Alpha, Beta, Theta e, inclusive, em Delta, o que não havia ocorrido com tanta ênfase durante a fase de Aquisição Verbal/oral.

Fica evidente que a ocorrência do ritmo Theta nas duas fases aqui analisadas (aquisição verbal e aquisição háptica) sugere um estudo mais pormenorizado desta pessoa, em relação a outros fatores que, eventualmente, possam estar induzindo a este estado, o que não seria considerado normal, mesmo considerando que a frequência Theta está correlacionada com emoções com valência positiva e predisposição de aprendizagem. Em outras palavras, haveria necessidade de uma análise mais apurada para descartarmos se esta ocorrência do ritmo Theta tão frequente neste indivíduo é uma condição associada exclusivamente à aplicação da metodologia de ensino adotada, ou então se é uma característica intrínseca desta pessoa. Inclusive, no caso do sujeito Mariana, o uso de medicação que a mesma faz pode afetar a ocorrência deste ritmo Theta. Neste caso, isto sugeriria uma avaliação clínica médica mais detalhada?

Sujeito Patrícia

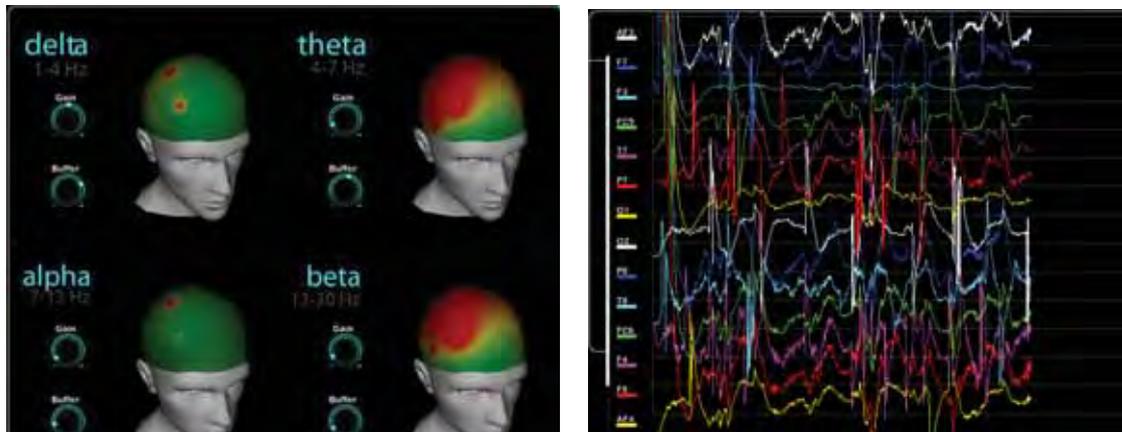


FIGURA 138 – Atividade intensa nos ritmos Beta e Theta

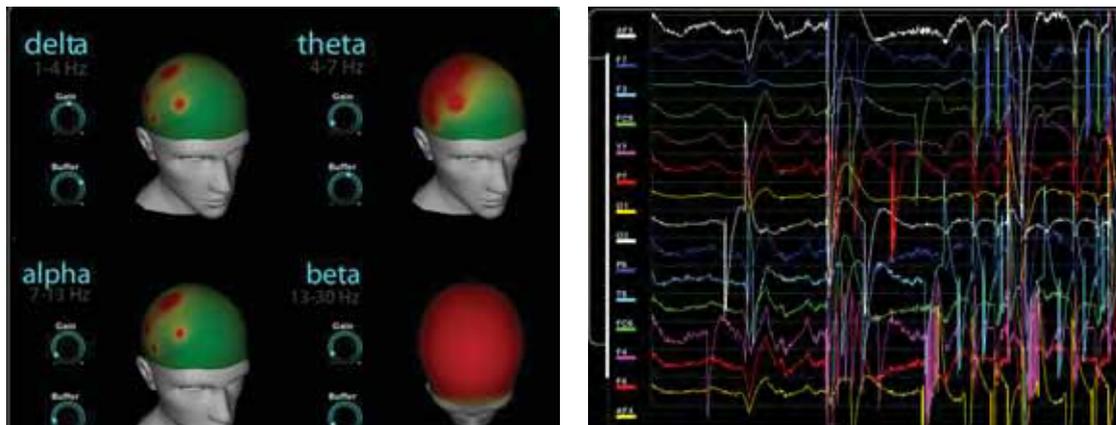


FIGURA 139 – Observamos aumento no ritmo Alpha, e máxima atividade em Beta, com intensa atividade em Theta.

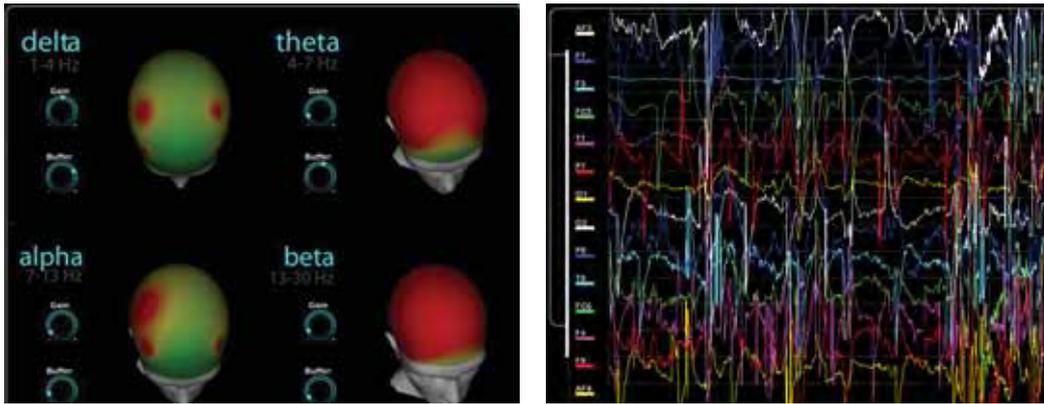


FIGURA 140 – Máxima atividade nos ritmos Beta e Theta, e ainda significativa atividade em Alpha.

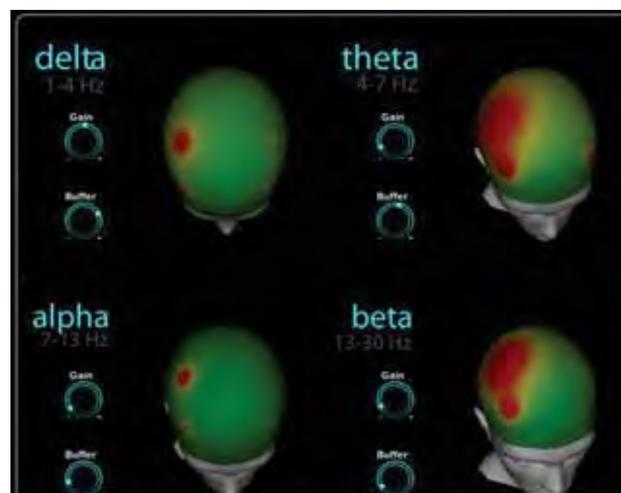


FIGURA 141 –Intensa atividade em Beta e Theta. As figuras abaixo mostram este mesma mapa em diferentes ângulos.

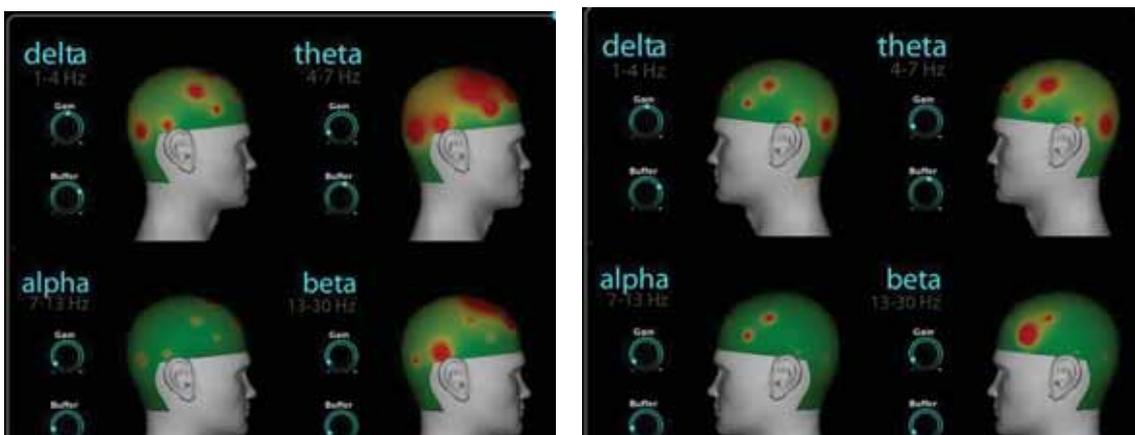


FIGURA 142 – Observemos a completa assimetria entre as ativações quando comparados os lados direito e esquerdo dos hemisférios cerebrais.

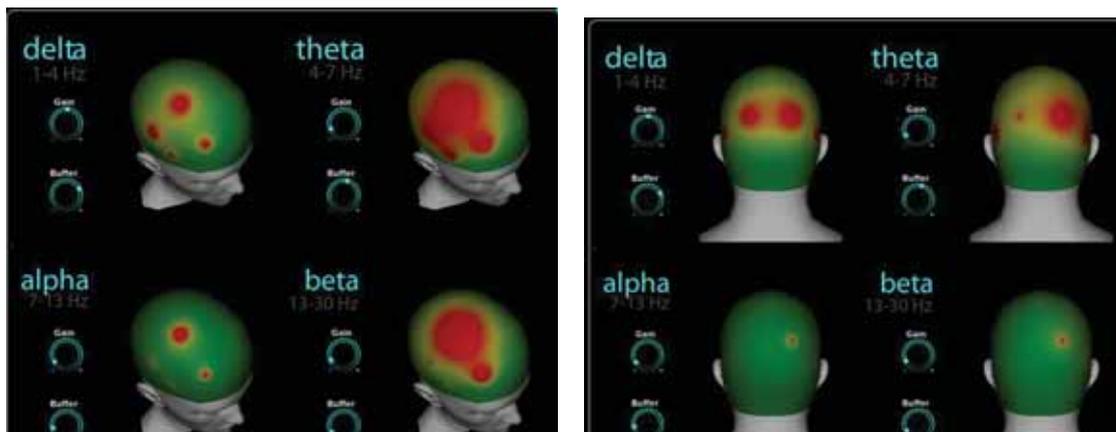


FIGURA 143 – A vista da parte anterior do cérebro (principalmente os pontos O1 e O2) estão fortemente ativos para os ritmos Theta e Delta. Em Beta a atividade anterior é pequena, mas nas regiões frontal F4 e AF4 são intensas.

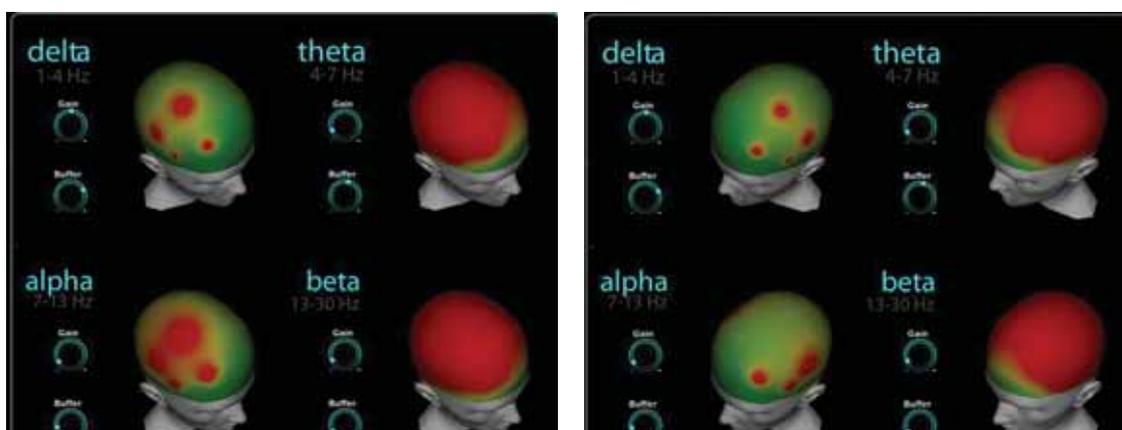


FIGURA 144 – Atividades máximas em Beta e Theta, mas em Alpha há uma assimetria, com maior intensidade no lado direito cerebral.

Comentário

O sujeito Patrícia apresenta lesão cerebral no hemisfério esquerdo, causado por um acidente vascular cerebral. Assim, na maioria dos mapas de atividade elétrica dos ritmos, fica muito evidente uma assimetria na intensidade elétrica dos sinais estudados. Contudo, mesmo assim, o sujeito também apresentou diversos instantes de atividade máxima nos ritmos cerebrais Alpha, Beta e, principalmente, Theta.

Conforme comentamos anteriormente em relação ao sujeito Mariana, esta ocorrência persistente do ritmo Theta poderia ser considerado uma condição patológica, a não ser que algum evento fosse significativamente relevante a ponto de disparar uma grande atividade elétrica para aquele ritmo.

Isto ocorreria para os três sujeitos de pesquisa aqui estudados, embora apresentasse diferenças na intensidade e no tempo da persistência do evento em relação a cada sujeito.

Síntese dos dados

1. Ocorrência de ondas Alpha mesmo nas fases de Aquisição Auditiva e Percepção Tátil. Isto contraria resultados como os estudos de Rösler *et al* (1993), para o qual ocorre uma redução da amplitude na área occipital de cegos congênitos. Da mesma maneira, segundo Könönen e Partanen (1993), o EEG com olhos abertos (como foi o caso dos dois sujeitos cegos e um deficiente visual estudado) deveria apresentar a supressão de ondas alfa (efeito Berger), o que não ocorreu. Ainda para aqueles autores, existe correlação negativa entre a amplitude e a idade na situação com olhos abertos (com olhos fechados não existe correlação significativa);
2. Na fase de “Aquisição”, os sinais mais significativos (todos com $p < 0,005$) foram AF3, F8 e P8, respectivamente com correlação 0,90/0,84/0,86.
3. Em relação a parte emocional, a fase de “Percepção Tátil” confirma parte dos resultados da literatura (cortical posterior direita – F8, mas ainda AF3 – lado esquerdo, e ainda a região P8 (parietal anterior direita), com respectivas correlações 0,78/0,91/0,83, todos com **$p < 0,005$** .
4. Confirmação de resultados da literatura de que as faixas Theta e Beta (Gama não foi analisada) são as que possuem maior variação com estímulos emocionais (Aftanas L. I., Reva, Savotina, & Makhnev, 2006).
5. Estudando a estimulação tátil em quatro atividades do sujeito Mariana (peças LEGO, fita métrica, régua e leitura de palavras em braile) verificou-se que as medianas da correlações do lado direito do cérebro (AF4, F8, F4, FC6, T8, P8 e O2) são maiores em comparação com o lado esquerdo (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7 e O1).
6. Para o mesmo experimento anterior, estabelecendo correlações entre as atividades LEGO/FITA, LEGO/RÉGUA, LEGO/PALAVRAS, FITA/RÉGUA, FITA/PALAVRAS, RÉGUA/PALAVRAS, houve uma maior

ocorrência de correlação em pares onde aparecia a percepção de 'palavras escritas em Braile'.

7. Na mesma tarefa anterior, os valores das correlações O1 e O2 estiveram entre os menores medidos, entretanto, o desvio padrão para estes dois pares foram os menores. Será que este resultado contrasta com pesquisas como a de Amedi *et al* (2003), que confirmam maior atividade na região occipital em cegos congênitos do que em pessoas videntes?

Discussão geral e Conclusões

Como as ondas alphas normalmente estão associadas ao estado de vigília com relaxamento, a presença destas ondas são suprimidas (efeito da dessincronização) pela abertura dos olhos (em pessoas videntes). Entretanto, nos deficientes visuais avaliados (sendo dois deles cegos totais e outro com visual residual), houve predominância de ondas Alpha em todas as fases do experimento, inclusive na fase de "Percepção Tátil". Mas a presença de ondas Alpha também pode sugerir aprendizagem, bem como uma adaptação do sistema nervoso à tarefa. A aprendizagem, neste caso, é o evento comportamental associado à produção do 'estímulo' que, no caso, foram as situações didáticas que geraram o evento que chamamos de 'estímulo'.

Da mesma maneira, houve também vários picos de ondas Theta para esta mesma fase, o que não seria normal de se esperar para este tipo de atividade cognitivo-motora-motora. Estas ondas indicam sempre um estado profundo de relaxamento, ou melhor, ainda, início de sono. Mas, por outro lado, segundo a literatura, associa-se a este nível de ritmo cerebral estados de aprendizagem em graus diferenciados da aprendizagem no estado de vigília (ondas Alpha, Beta).

Assim, em relação à análise da influência dos estímulos emocionais/afetivos proporcionados pela atividade didática, ficou evidente pela análise que as faixas Theta e Beta foram fortemente afetadas nos três sujeitos da pesquisa.

Como dissemos anteriormente, principalmente na fase de “Percepção Tátil”, não seria normal esperar a ocorrência de eventos na faixa Theta, a não ser que o evento fosse tão significativamente robusto para induzir este tipo específico de ritmo cerebral. De fato, isto sugere que o tipo de atividade didática aplicada (aulas de Física com base numa didática multissensorial) afeta positivamente a variável dependente ‘cognição emocional’. Conforme extensa bibliografia na área, esta variável se associa (correlação positiva) às variáveis ‘atenção’ e ‘memória’.

De fato, pela análise comportamental dos três sujeitos da pesquisa, houve frequentemente manifestações que demonstraram que o mecanismo da atenção e, posteriormente, a memória (de trabalho, curto e médio prazo) esteve presente no decorrer das situações didáticas. Este fato é demonstrável por eventos comportamentais como a ‘antecipação’ cognitivo (com manifestação verbal e cognitivo-motora) do Sujeito Mariana, na maioria das aulas de Física que foram aplicadas. Análises de conteúdo epistemológico, empreendidos por técnicas como *‘think aloud method’*, assim como a aplicação semiótica da ‘Teoria dos Campos Conceituais’, de Gérard Vergnaud, demonstram que neste sujeito de pesquisa houve uma organização em termos das ‘estruturas’ cognitivas, em direção à processo de constituição de invariantes operatórios (conceitos e teoremas-em-ação), acompanhados ou sustentados por gestos e percepção e expressão tátil acompanhada da verbalização conceitual (própria) da pessoa avaliada.

Estudando-se o comportamento do ritmo cerebral e atividade elétrica do EEG do mesmo sujeito Mariana, através de quatro atividades de percepção tátil, constatou-se que seu lado predominante cerebral era o direito, provavelmente confirmando o fato de que este sujeito é canhoto, principalmente em atividades envolvendo a leitura braile. De fato, através do mesmo experimento constatou-se que as correlações pareadas foram maiores onde estava presente a leitura braile, atividades que envolveram a percepção e interpretação tátil de vários objetos diferentes (peças do robô LEGO, régua, fita métrica e texto em braile, respectivamente).

Em todas estas tarefas estudadas, é bom lembrar, o ‘estímulo’ proporcionado para tais tarefas adveio da configuração das variáveis cognitivas-emocionais trabalhadas nas situações didáticas.

Variáveis dependentes: atenção, memória, cognição emocional.

Variáveis independentes: estimulação intermodal, cross-modal.

Variáveis associadas: raciocínio conjuntivo (ou, em contraposição, raciocínio disjuntivo), dissonância cognitiva e disracionalidade.

Entretanto, nosso foco neste trabalho recaiu sobre a variável ‘cognição emocional’, com a finalidade de mostrar que a configuração das situações didáticas proporcionou praticamente todos os resultados mostrados na análise da atividade elétrica do EEG e dos ritmos cerebrais.

As correlações positivas entre os eventos analisados mostram significativas alterações em regiões que estão diretamente ou indiretamente relacionados com o aspecto emocional da cognição. Não seria óbvio crer que estas correlações existissem de maneira tão acentuada em um ambiente onde houvesse, por exemplo, estímulos de natureza emocional ou afetiva ‘negativos’ (incluindo variáveis como a dissonância cognitiva).

Destaca-se ainda, a utilização da estratégia de utilização da temática ‘biônica’ como background conceitual e, principalmente, o uso da multissensorialidade nas situações didáticas (aulas de Física).

A formação da conceitualização em Física é algo extremamente complexa e, obviamente, pelo menos neste estudo, não está nem próximo de ser elucidado em toda sua abrangência epistemológica e fenomenológica. Entretanto, consideramos que as variáveis que foram consideradas foram suficientes para mostrar que existe um quadro absolutamente realista e otimista no que diz respeito à utilização deste tipo de metodologia e delineamento para o estudo da influência dos fatores emocionais e afetivos na aprendizagem escolar.

Agradecimentos: agradecemos a Professora Doutora *Maria Lúcia Marçal Mazza Sundefeld* (Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Araçatuba – Faculdade de Odontologia) pela

contribuição no que se refere à análise e discussão de parte dos dados estatísticos aqui apresentados.

REFERÊNCIAS

ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS. **O Ensino de Ciências e a educação básica**: propostas para superar a crise. Academia Brasileira de Ciências. – Rio de Janeiro : Academia Brasileira de Ciências, 2008.

AFTANAS, L.I.; VARLAMOV, A.A.; PAVLOV, S.V.; MAKHNEV, V.P.; REVA, N.V. Time-dependent cortical asymmetries induced by emotional arousal: EEG analysis of event-related synchronization and desynchronization in individually defined frequency bands. **International Journal Psychophysiology**, 2002 Apr; v. 44, n.1, p. 67-82, 2002.

ALARY, F. *et al.*. Tactile acuity in the blind: A closer look reveals superiority over the sighted in some but not all cutaneous tasks. **Neuropsychologia**, v. 47, n. 10, p. 2037-2043, Aug 2009. ISSN 0028-3932. Disponível em: < <Go to ISI>://WOS:000267189200003 >.

ALEMAN, A.; VAN LEE, L.; MANTIONE, M.; VERKOIJEN, I.; DE HAAN, E. H. D. Visual Imagery Without Visual Experience: Evidence from Congenitally Totally Blind People. **NeuroReport**, v. 12, p. 2601-2604, 2001.

ALMEIDA, M.E.B.de. **Informática na Formação de Professores**. PROINFO. Programa Nacional de Informática na Educação. Coleção Informática para mudança na educação. MEC. Brasília, 1999.

ALTY, J. L. ; COOMBS, M. J. University computing advisory services: The study of the man—computer interface. **Software Practice and Experience**, v. 10, p.919-934, 1980.

ALVEZ-MAZZOTTI, A.J. A relevância e aplicabilidade da pesquisa em educação. **Cadernos de Pesquisa**, n. 13, p.39-50, 2001.

AMEDI, A.; RAZ, N.; PIANKA. P.; MALACH, R.; ZOHARY, E. Early ‘visual’ cortex activation correlates with superior verbal memory performance in the blind, **Nature Neuroscience**, v.6, n. 7, p.758-66, 2003.

AMEDI, A.; MALACH, R.; HENDLER, T.; PELED, S.; ZOHARY, E. Visuo-haptic objectrelated activation in the ventral visual pathway, **Nature Neuroscience**. v. 4, n. 3,

March, 2001.

AMEDI, A.; von KRIGSTEIN, K.; van ATEVELDT, N.M.; BEAUCHAMP, M.S.; NAUMER, M.J. Functional imaging of human crossmodal identification and object recognition, **Exp. Brain Research**. v. 166, p. 559-571, 2005.

ANDRADE NETO, A. S.; RAUPP, D.; MOREIRA, M. A. A evolução histórica da linguagem representacional química: uma interpretação baseada na teoria dos campos conceituais. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. n. 7, 2009, Florianópolis, **Anais do VII ENPEC**. Florianópolis: ENPEC, 2009.

ANDRÉ, M. Pesquisa em educação: buscando rigor e qualidade. In: **Cadernos de Pesquisa**. São Paulo: Fundação Carlos Chagas/Cortez, v. 113, p. 51-64, jul. 2001.

ANPED. Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Educação. **Avaliação e perspectivas na área da educação: 1982-1991**. Porto Alegre: ANPED, 1993.

ARAUJO NETO, W. N.; GIORDAN, M. Metodologia para Estudo de um Campo Conceitual na Química: Representação Estrutural no Ensino Superior. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2005, Baurú. **Anais do V Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2005.

ARAUJO NETO, W.N. **Formas de uso da noção de representação estrutural no Ensino Superior de Química**. Tese de doutorado. Orientador: Prof. Dr. Marcelo Giordan. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, Ano de obtenção: 2009.

ARCHANGELO, A.; PERES, B.A.; CUNHA, J.E.B. da; AMON, M.C.I. Os aspectos afetivos no processo de aprendizagem da Matemática e da Física. **Anais 31ª Reunião Anual da ANPEd**, 19-22 de Outubro, Caxambú, Minas Gerais, 2008.

ARDITI, A. ; HOLTZMAN, J. D. ; KOSSLYN, S. M. Mental Imagery and Sensory Experience in Congenital Blindness, **Neuropsychologia**, v. 26, p.1-12. 1988.

AUSUBEL, D.P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva**. Lisboa, Portugal: Plátano, Edições Técnicas, 1999.

BAPTISTA, M.N. **Metodologias de pesquisa em ciências : análises quantitativa e**

qualitativa . Makilim Nunes Baptista, Dinael Corrêa de Campos. Rio de Janeiro : LTC, 2007.

BACCINO, T.; BELLINO, C.; COLOMBI, T. **Mesure de l'utilisabilité des interfaces**. Paris : Lavoisier, 2005.

BACHELARD, G. **A epistemologia**. Tradução de Fátima Lourenço Godinho e Mário Cármino Oliveira. Portugal: Edições 70, 1971.

BACHELARD, G. **Filosofia do Novo Espírito Científico**. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1976.

BARD, P. A diencephalic mechanism for the expression of rage with especial reference to the central nervous system. **American Journal of Physiology**, n. 84, p.490-513, 1928.

BARDIN, L. **L'Analyse de contenu**. Paris : Presses Universitaires de France, 1977.

BATLINER, A. ; STEIDL, S. ; SCHULLER, B. ; SEPPI, D. ; LASKOWSKI, K. ; VOGT, T. ; DEVILLERS, L. ; VIDRASCU, L. ; AMIR, N. ; KESSOUS, L. ; AHARONSON, V. Combining efforts for improving automatic classification of emotional user states. In Erjavec, T. and Gros, J. (Ed.), **Language Technologies**, IS-LTC 2006 (pp. 240-245). Ljubljana, Slovenia: Informacijska Druzba (Information Society), 2006.

BECK-WINCHATZ, B. ; OSTRO, S. J. Using Asteroid Scale Models in Space Science Education for Blind and Visually Impaired Students. **The Astronomy Education Review**, v. 2, n. 2., p.118-126, 2003.

BENDIXEN, A. et al.. The time-course of auditory and visual distraction effects in a new crossmodal paradigm. **Neuropsychologia**, v. 48, n. 7, p. 2130-2139, Jun 2010.

BENHYON, D. Navigating Information Space: Web site design and lessons from the built environment. **PsychNology Journal**, v. 4, n. 1, p.7-24, 2006.

BERTALANFFY, L.Von. **Teoria Geral dos Sistemas**. São Paulo: Vozes, 1975.

BÉRTOLO, H; PAIVA, T. Conteúdo visual em sonhos de cegos. **Psicologia, Saúde e Doenças**, v. II, n. 1. 2001.

BEYSSADE, C. **Sens et savoirs** : des communautés épistémiques dans le discours.

Rennes : Presses Universitaires de Rennes, 1998.

BIDEAUD, J.; HOUDÉ, O.; PEDINIELLI, J-L. **L'homme en développement**. Paris : PUF Quadrige, 2004.

BOCIANSKI, D.; MÜSSELER, J. ; ERLHAGEN, W. Effects of attention on a relative mislocalization with successively presented stimuli. **Vision Research**, v. 50 , p. 1793-1802, 2010.

BOLFE, L.E.R.; BARLETTE, V.E. Ensino de conceitos de Física Térmica a partir de situações: uma aproximação aos invariantes operatórios de Vergnaud. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. **Anais do VII ENPEC**. Florianópolis, 2009.

BONNARDEL, N. **Créativité et conception** : Approches cognitives et ergonomiques. Marseille : Solal Editions. 2006.

BONINI-ROCHA, A.C.; TIMM, M.I.; CHIARAMONTE, M.; ZARO, M.; RASIA-FILHO, A.A.; WOLFF, D.; AYRES, E. DE P.; PETERSEN, R.D.DE S. Metodologia para observação e quantificação de sinais de EEG relativos a evidências cognitivas de aprendizagem motora. **Ciências & Cognição**, v. 13, n. 2, p.27-50, 2008.

BOOTH, P.A. Errors and theory in human-computer interaction. In Cognitive ergonomics: contributions from experimental psychology, Editors Gerrit C. van der Veer, Sebastiano Bagnara, Gerard A.M. Kempen. Based on **papers at the Fifth European Conference on Cognitive Ergonomics held in Urbino**, Italy, in sept. 1991. Amsterdam : Elsevier Science Publishers, 1992 .

BORMIO, M.F.; SILVA, J.C.P.da. Estudo ergonômico ambiental de escolas das cidades de Bauru e Lençóis Paulista. In: PASCHOARELLI, LC., MENEZES, MS., orgs. **Design e ergonomia: aspectos tecnológicos** [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009.

BORST, G. ; POIREL, N. ; PINEAU, A. ; CASSOTTI, M. ; HOUDÉ, O. Inhibitory control in number-conservation and class-inclusion tasks: A neo-Piagetian inter-tasks priming study. **Cognitive Development**, v.27, n.3 p. 283-298, Jul-Sep 2012.

BOTVINICK, M. ; COHEN, J. Rubber hands 'feel' touch that eyes see. **Nature**, v. 391, p.756, 1998.

BOUYER, G.C. **Ergonomia cognitiva e mente incorporada**. São Paulo: Blucher Acadêmico, 2008.

BOWEN, C.W. Think-aloud methods in chemistry education. Understanding student thinking. **Journal of Chemical Education**, v. 71, n. 3, p.184, 1994.

BRASIL. **Decreto 5296 de 2 de dezembro de 2004**: Regulamenta as Leis nos 10.048, de 8 de novembro de 2000, que dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e 10.098, de 19 de dezembro de 2000, que estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências. Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos. 2004.

BRONCKART, J-P. **Atividade de linguagem, textos e discursos – por um interacionismo sociodiscursivo**. 2. ed. São Paulo: Educ, 2009.

BRUNO, S. ; BOVET, M. ; PARRAT-DAYAN, S. Lectures de l'image mentale chez Piaget et les auteurs contemporains. In Braga-Ilia (Ed.) **A proposito di rappresentazioni - Alla ricerca del senso perduto**, Pendragon, Bologna, Italie. p. 137-171, 2007.

BÜCHEL, F.P., PAOUR, J-L. Déficience intellectuelle: deficits et remediation cognitive. **PUF Enfance**. v. 57, p.227-240, 2005.

BURLESON, W. ; PICARD, R.W. Evidence for Gender Specific Approaches to the Development of Emotionally Intelligent Learning Companions, **IEEE Intelligent Systems, Special issue on Intelligent Educational Systems**, v. 22, n. 4, p. 62-69, 2007.

CACHEFFO, V.A.F.F. A afetividade nas produções do GT 20 – Psicologia da Educação – da ANPED. **Anais do Congresso Nacional de Psicologia Escolar e Educacional**. 3 a 6 de julho d 2011. Universidade Estadual de Maringá.

CALDEIRA, A. M. A. **Semiótica e relação pensamento e linguagem no Ensino de Ciências naturais**. 175f. Tese (Livre-Docência) – Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, 2005.

CAMARGO, E. P. **Ensino de Física e deficiência visual: dez anos de investigações no Brasil**. São Paulo: Plêiade/FAPESP, 2008.

CAMARGO, E.P. de; AGOSTINI, M.M.; SILVA, R.P.; ALCÂNTARA, D. de; SANTOS, G.F.S.; VIVEIROS, E.R.de. Artefatos Tátil-visuais e Procedimentos Metodológicos de Ensino de Física para Alunos com e sem Deficiência Visual: Abordando os Fenômenos Presentes na Fibra Óptica e em Espelhos Esféricos. **Revista Benjamim Constant**, Edição 51, Abril 2012.

CAMARGO, E.P. de. **O Ensino de Física no contexto da deficiência visual:** elaboração e condução de atividades de Ensino de Física para alunos cegos ou com baixa visão. Universidade Estadual de Campinas. Departamento de Educação. Tese de doutorado. Orientador: Dirceu da Silva, 2005.

CAMARGO, E.P. de.; VIVEIROS, E.R.de. **Pressupostos e critérios pedagógicos para uma prática inclusiva para o Ensino de Física.** In: Docência e formação de professores na Educação Superior: múltiplos olhares e múltiplas perspectivas. Organizadores: Armindo Quillici Neto e Sílvia Ester Orrú. Curitiba: CRV Editora, 2009.

CAMARGO, E.P.; NARDI, R. (a) Planejamento de Atividades de Ensino de Física para alunos com deficiência visual: dificuldades e alternativas. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, n. 2, p. 378-401, 2007(a).

CAMARGO, E.P.; NARDI, R. (b) Dificuldades e alternativas encontradas por licenciandos para o planejamento de atividades de ensino de eletromagnetismo para alunos com deficiência visual. **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 12. n. 1, p.55-69, 2007(b).

CAMARGO, E.P.de; SILVA, D.da; BARROS FILHO, J.de. Ensino de Física e deficiência visual: atividades que abordam o conceito de aceleração da gravidade. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 11, n. 3, p. 343-364, 2006.

CAMARGO, E.P.de. A comunicação como barreira à inclusão de alunos com deficiência visual em aulas de Mecânica. **Ciência e Educação**. v. 16, n. 1, p.259-275, 2010.

CAMARGO, E.P.de. **Ensino de óptica para alunos cegos:** possibilidades. Curitiba: Editora CRV, 2011.

CAMPBELL, A.T. ; CHOUDHURY, T. ; HU, S. ; LU, H. ; MUKERJEE, M. ; RABBI, M. ; RAIZADA, R.D.S. NeuroPhone: Brain-Mobile Phone Interface using a Wireless EEG Headset. **MobiHeld 2010**, August 30, 2010.

- CANGUILHEM, G. **La connaissance de la vie**. Paris : Librairie Hachette. 1952.
- CANNON, W.B. The James-Lange theory of emotions: a critical examination and an alternative theory. **American Journal of Psychology**, n. 39, p.106-124, 1927.
- CAPES. **Brasil competitivo** – Estudo encomendado pela CAPES visando maior inclusão da física na vida do País. Brasília: Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, 2007.
- CARD, S. ; MORAN, T.P. ; NEWELL, A. **The Psychology of Human Computer Interaction**. Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates. 1983.
- CAROFIGLIO, V. ; DE ROSIS, F. In favour of cognitive models of emotions. In **Proc. AISB'05 Workshop on Virtual Social Agents**, track "Mind-Minding Agents". Hatfield, UK, April 12-15, 2005.
- CAROFIGLIO, V. ; DE ROSIS, F. ; GRASSANO, R. Dynamic Models of Multiple Emotion Activation. In L. Cañamero and R. Aylett (Eds.), **Animating Expressive Characters for Social Interaction**. John Benjamins Publishing Co., 2006.
- CARVALHO JÚNIOR, G.D. de. **Trajectoria de aprendizagem de estudantes de ensino médio**: produção de significados em um curso introdutório de Física Térmica. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Educação, UFMG, Belo Horizonte, 2005.
- CARVALHO JÚNIOR, G.D.de; AGUIAR JÚNIOR, O. Os Campos Conceituais de Vergnaud Como Ferramenta Para o Planejamento Didático. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, p.207-227, 2008.
- CARVALHO, C.R.da S. **Simulação Computacional**: um instrumento que influencia e potencializa conceitos nas representações simbólicas no ensino da geometria molecular. 2009. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Luterana do Brasil, 2009.
- CARVALHO, J.O.F.de. **Referenciais para projetistas e usuários de interfaces de computadores destinadas a deficientes visuais**. Dissertação de Mestrado. Orientadora: Profa. Dra. Beatriz Mascia Daltrini. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica. Departamento de Engenharia de Computação e Automação Industrial. Campinas, 1994.
- CHAPMAN, A.H.; ALMEIDA, S.V.; REIS, M.A.dos. **Leitura e interpretação de**

eletroencefalograma. Petrópolis: Epub, 2006.

CHANGEUX, J-P. **O homem neuronal**. Tradução de Artur Jorge Pires Monteiro. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1991.

CHATERJI, M. Models and Methods for Examining Standards-Based Reforms and Accountability Initiatives: Have the Tools of Inquiry Answered Pressing Questions on Improving Schools ? **Review of Educational Research**, v. 72, p.345-386, 2002.

CHOI, B.C.K.; PAK, A.W.P. Multidisciplinarity,interdisciplinarity, and transdisciplinarity in health research, services, education and policy: Promoters, barriers, and strategies of enhancement. **Clinical and Investigative Medicine**, v. 30, n. 6, 2007.

CID-10. **Classificação Estatística Internacional de Doenças e Problemas Relacionados à Saúde**. Versão: 1.6c. Data da versão: 30/09/1998. Fonte: <<http://www.datasus.gov.br/cid10/download.htm>>. Acesso em: 20 de novembro de 2012.

COLIN, V. Images mentales et déficience visuelle : ecrits psychomoteurs. **Evolutions psychomotrices**, n. 65, p.141-146. 2004.

COSENZA, R.M.; GUERRA,L.B. **Neurociência e educação**: como o cérebro aprende. Porto Alegre: Artmed, 2011.

COLLIGNON, O. et al.. Early visual deprivation alters multisensory processing in peripersonal space. **Neuropsychologia**, v. 47, n. 14, p. 3236-3243, Dec 2009.

COMITÊ DE AJUDAS TÉCNICAS. **Anais** da VII Reunião do Comitê de Ajudas Técnicas. Secretaria Especial dos Direitos Humanos. Coordenadoria Nacional Para Integração da Pessoa Portadora de Deficiência. Presidência da República, 13 e 14 de Dezembro de 2007.

COSTA, L.G.; NEVES, M.C.D.; BARONE, D.A.C. O Ensino de Física para deficientes visuais a partir de uma visão fenomenológica. **Revista Ciência e Educação**. v. 12, n. 2, p.143-153, 2006.

COVOLAN, R; ARAUJO, DB de; SANTOS, AC dos; CENDES, F. Ressonância magnética funcional: as funções do cérebro reveladas por spins nucleares. **Ciência Cultura**. v. 56, n. 1, 2004.

CUNHA, L.A. Os (Des)caminhos da pesquisa na pós-graduação em educação. In: **Seminário sobre a produção científica nos programas de pós-graduação em Educação**. Brasília, MEC/CAPES, 1979, p.3-15.

CUNHA, L.A. Pós-graduação em educação: ponto de inflexão? **Cadernos de Pesquisa**, n.77, p.63-80, maio, 1991.

CUNNINGHAM, C. Science, technology and math issues for k-12 students with disabilities. **Information Technology and Disabilities E-Journal**, v. IV, n. 4, 1997.

DALBOSCO, C.A. Primeira infância e educação natural em Rousseau: as necessidades da criança. **Educação**. Porto Alegre/RS, ano XXX, n. 2 (62), p. 313-336, maio/ago. 2007.

DARWIN, C. **The expression of the emotions in man and animals**. John Murray, Londres, 1872.

DAS, A.; FRANCA, J.G.; GATTASS, R.; KAAS, J.H.; NICOLELIS, M.A.L.; TIMO-IARIA, C.; VARGAS, C.D.; WEINBERGER, N.M.; VOLCHAN, E. The brain decade in debate: VI. Sensory and motor maps: dynamics and plasticity. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 34: p. 1497-1508, 2001.

DE GELDER, B.; TAMINETTO, T.; VAN BOXTEL, G.; GOEBEL, R.; HAHRAIE, S.; VAN DEN STOCK, J.; STIENEN, B.M.C.; WEISKRANZ, L.; PEGNA, A. Intact navigation skills after bilateral loss of striate cortex. **Current Biology**, v. 18, n. 24, p.1128-1129, 2008.

DEHAENE, S. ; DEHAENE-LAMBERTZ, G.; GENTAZ, E.; HURON, C.; SPRENGER-CHAROLLES, L. **Apprendre à lire - des sciences cognitives à la salle de classe**. Paris: Odile Jacob, 2011.

DEHANE, S. ; DEHAENE-LAMBERTZ, G. ; COHEN, L. Abstracts representations of numbers in the animal and human brain. **Trends in Neuroscience**, 21, p.355-361, 1998.

DEHAENE, S. **La Bosse des Maths : Nouvelle édition revue et complétée**. Paris, Odile Jacob, 2010, 2e éd. (1^{re} éd. 1996), 2010.

DEHAENE, S. **La Bosse des Maths**. Paris: Odile Jacob, 1997a.

DEHAENE, S. **Les Neurones de la Lecture**. Odile Jacob, 2007.

DEHAENE, S. Precis of the number sense. **Mind & language**. v.16, n.1, p.16-36, 2001.

DEHAENE, S. **Reading in the brain**. Penguin Viking, September 2009.

DEHAENE, S. **The number sense**. New York: Oxford University Press, 1997; Cambridge (UK): Penguin press, 1997b.

DEHANE, S. ; CHANGEUX, J.P. Development of elementary numerical abilities : A neural model. **Journal of Cognitive Neuroscience**, 5, p.390-407, 1993.

DEHAENE, S., MOLKO, N., COHEN, L., WILSON, A.J. Arithmetic and the brain. **Current Opinion in Neurobiology**, n. 14: p.218–224, 2004.

DEHAENE, S.; PIAZZA, M.; PINEL, P.; COHEN, L. Three parietal circuits for number processing. **Cognitive Neuropsychology**, v. 20(3/4/5/6), p.487-506, 2003.

DEHAENE, S; COHEN, L ;SIGMAN, M; VINCKIER, F. The neural code for written words: a proposal. **Trends in Cognitive Sciences**, v. 9, n. 7. 2005.

DEHAENE, S; SPELKE, E;PINEL, P; STANESCU, R; TSIVKIN, S. Sources of Mathematical Thinking: Behavioral and Brain-Imaging Evidence. **Science**, p.284, 970, 1999.

DENNING, P.J. ; COMER, D.E. ; GRIES, D. ; MULDER, M.C. ; TUCKER, A. ; TURNER, A.J. ; YOUNG, P.R. Computing as a discipline. **Communications of the ACM**. v. 32, n. 1, January 1989.

DIX, A. ; FINLAY, J. ; ABOWD, G. ; BEALE, R. **Human Computer Interaction**. Harlow: Prentice Hall, 1997.

D'MELLO, S. ; PICARD, R.W. ; GRAESSER, A. Towards An Affect-Sensitive AutoTutor, **IEEE Intelligent Systems, Special issue on Intelligent Educational Systems**, v, 22, n. 4, July 2007, p. 53-61

DUPIRE, J. ; KRAHE, J.L. ; TIGER, G. L'interdisciplinarité au service de la personne en quête d'autonomie. **Actes de la conférence Handicap 2012**. Paris. June 2012, IFRATH, p. 240.

DURGIN, F.H.; EVANS, L. ; DUNPHY, N. ; KLOSTERMANN, S. ; SIMMONS, K. Rubber Hands Feel the Touch of Light. **Psychological Science**. v. 18, n. 2, p.152-157, 2007.

DUVAL, R. **Semiósis e pensamento humano** : registros semióticos e aprendizagens intelectuais (Fascículo 1).Tradução Lênio Fernandes Levy e Marisa Roâni Abreu da Silveira. 1 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009.

DUVAL, R. **Ver e ensinar a matemática de outra forma** – entrar no modo matemático de pensar: os registros de representações semióticas. Organização: Tania M.M.Campos; [tradução Marlene Alves Dias]. 1.ed. São Paulo: PROEM, 2011.

DUVINAGE, M.; CASTERMANS, T.; DUTOIT, T. A P-300 quantitative comparison between the Emotiv EPOC Headset and a medical EEG device. **Proceedings 9th. IASTED International Conference on Biomedical Engineering (BioMed)**. 15-17 feb.2012, Austria, 2012.

EASON, K.D. Understanding the naive computer user. **The Computer Journal**, v. 19, p.3-7., 1976.

EHRlich M.F. ;TARDIEU H. ; CAVAZZA, M. **Les modèles mentaux**: approche cognitive des représentations . Paris: Masson. 1992.

ERICSSON, K. A., SIMON, H. A. **Protocol analysis** - Verbal reports as data (revised edition). Cambridge, MA: Bradford books/MIT Press, 1993.

ERICSSON, K. A., SIMON, H. A. Verbal reports on thinking. In: FAERCH, C.; KASPER, G.; (Eds.) **Introspection in second language research**. Clevedon: Multilingual Matters, 1987, p.24-53.

ERICSSON, K. A. ; SIMON, H. A. Verbal reports as data. **Psychological Review**, v. 87, p.215-251, 1980.

FESTINGER, L. **A theory of cognitive dissonance**. Stanford, CA: Stanford University Press, 1957.

FONSECA, G. da. **Construção de signos ecológicos no projeto “Meio ambiente e o processo educacional: os ecossistemas a cultura de Ilha Comprida”**. Dissertação de Mestrado. Orientadora: Professora Doutora Ana Maria de Andrade Caldeira. Programa de Pós-graduação da Faculdade de Ciências da Universidade

Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Bauru, 2008.

FONSECA, L.C.; TEDRUS, G.M.A.S.; MORAES, C.de.; MACHADO, A.V. de; ALMEIDA, M.P.de; OLIVEIRA, D.O.F.de. Epileptiform abnormalities and quantitative EEG in children with attention-deficit / hyperactivity disorder. **Arquivos Neuro-Psiquiatria**, v. 66, n. 3a, p. 462-467, 2008.

FRAGA, T. **Caracolomobile neural**. 2010. Disponível em <http://taniafraga.art.br/2010/06/19/caracomobile-neural-portugues/>>, Acesso em 10 de agosto de 2012.

FRAGA, T. Caracolomobile: affect in computer systems. **AI & Society**. Springer-Verlag London Limited, 2012.

FRANSELLA, F., BANNISTER, D. **A manual for repertory grid technique**. London: Academic Press, 1977.

GALVÃO FILHO, T. **Tecnologia Assistiva para uma Escola Inclusiva: apropriação, demandas e perspectivas**. Tese de doutorado. Orientadora Profa. Doutora Theresinha Guimarães Miranda. Universidade Federal da Bahia, UFBA, 2009.

GALVÃO FILHO, T.; DAMASCENO, L.L. **Tecnología asistida en entorno informático: recursos para la autonomía e inclusión socioinformática de la persona con discapacidad**. Obra Social Irmã Dulce. Programa InfoEsp. Premio Reina Sofía 2007 de Rehabilitación y de Integración. Real Patronato sobre Discapacidad. Gobierno de España. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. 2008.

GALVÃO FILHO, T.; MIRANDA, T.G. Tecnologia assistiva e paradigmas educacionais: percepção e prática dos professores. **Anais** da 34ª Reunião Anual da ANPEd – Associação Nacional de Pós- Graduação e Pesquisa em Educação. Natal: ANPEd, 2011, ISSN: 2175-8484.

GANDARA, M. **A expressão corporal do deficiente visual**. Brasília. Secretaria de Desportes, 1994.

GARDNER, J. A. Tactile Graphics: an overview and resource guide. (Science Access Project, Department of Physics, Oregon State University). **Information Technology and Disabilities EJournal**. v. III, n. 4, December, 1996.

GAUNET, F.; THINUS-BLANC, C. Les représentations spatiales chez Le déficient

visuel : apprendre à apprendre l'espace. Enfance et cécité. [Dossier]. **Empan**, n. 23, 62-64, septembre 1996.

GINDIS, B. The social cultural implication of disability – Vygotsky paradigm for specialeducation. **Educational Psychologist**, v. 30, n. 2, p.77-81, 1995.

GÓES, M.C.R.F. de. A abordagem microgenética na matriz histórico-cultural: Uma perspectiva para o estudo da constituição da subjetividade. **Cadernos Cedes**, Ano XX, nº 50, p.9-25, Abril, 2000.

GOUÉDARD, C. **Espace & Langage** : conceptualisations et malentendus dans la communication d'un trajet par téléphone entre de jeunes aveugles. Thèse doctorat. Directeur de Thèse : Gérard Vergnaud. Université Paris 8 – Vincennes Saint-Denis, U.F.R.7, Psychologie, Pratiques Cliniques et Sociales, Ecole doctorale : cognition, langage, interaction. Laboratoire Paragraphe E.A. 349, Equipe Ergonomie et Psychologie « Conception, Création, Compétences, Usages » (C3U), 2006.

GRADY, C.A.; FARLEY, N.; ZAMBONI, N.; AVERY, F.; CLARK, B.; GEIGER, N.; WOODGATE, B. Accessible Universe: Making Astronomy Accessible to All in the Regular Elementary Classroom. **The Astronomy Education Review**, v. 2, n. 2, p.1-19, 2003.

GRAESSER, A.C.; CHIPMAN, P.; HAYNES, B.C.; OLNEY, A. AutoTutor: An intelligent tutoring system with mixed-initiative dialogue, **IEEE Transactions in Education**, v. 48, p. 612-618. 2005.

GRINGS, E.T.de O.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M.A. Possíveis indicadores de invariantes operatórios apresentados por estudantes em conceitos da termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 4, p. 463-471, 2006.

GRUSH, R. The Emulation Theory of Representation: Motor Control, Imagery, and Perception. **Behavioral And Brain Sciences**, v. 27, n.3, p. 377-396, 2004.

HAMANN, S. Cognitive and neural mechanisms of emotional memory. **Trends in Cognitive Sciences**, v. 5, n. 9, p. 394-400, Sep 2001.

HERCULANO-HOUZEL, S. The human brain in numbers: a linearly scaled-up primate brain. **Front. Hum. Neuroscience**, v.3, p. 3-31, 2009.

HOFSTADTER, D.R. **Gödel, Escher, Bach**: an eternal golden braid. New York:

Basics Book, 1999.

HOLLINS, M. Styles of mental imagery in blind adults. **Neuropsychologia**, v. 23, n. 4, p. 561-566, 1985.

HORLACHER, R. Schooling as a means of popular education: Pestalozzi's method as a popular education experimente. **Pædagogica Historica**, v. 47, n. 1-2 Special Issue: SI, p. 65-75, 2011.

HOUDE, O. ; TZOURIO-MAZOYER, N. Neural foundations of logical and mathematical cognition. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 4, p. 507-514, 2003.

HWANG H.J.; KWON K, IM C.H. **Neurofeedback-based motor imagery training for braincomputer interface**. Journal Neuroscience Methods, v. 179, n. 1, 2009.

IEA – **International Ergonomics Association**. Disponível em <http://www.iea.cc/01_what/What%20is%20Ergonomics.html> , Acesso em: 14 de agosto de 2012.

INCONTRI, D. **Pestalozzi**: educação e ética. São Paulo: Scipione, 1996.

ITS – Instituto de Tecnologia Social. Microsoft Educação. **Tecnologia Assistiva nas Escolas** – recursos básicos de acessibilidade sócio digital para pessoas com deficiência. Publicação digital. 2008.

JAMES, W. What is an emotion ? **Mind**, n. 9, p.188-205, 1884.

JANSWEIJER, W. N. H. **PDP: An artificial intelligence approach to problem solving and learning by doing in a semantically rich domain**. PhD thesis, University of Amsterdam, Amsterdam, 1988.

JAROSIEWICZ, B. ; CHASEA, S.M. ; FRASERA, G.W. ; VELLISTE, M. ; KASS, R. ; SCHWARTZ, A.B. Functional network reorganization during learning in a brain-computer interface paradigm. **Proceedings of the National Academy of Science**, v. 105, n. 49, December, 2008.

JENNINGS, F. ; BENYON, D. ; MURRAY, D. Adapting systems to differences between individuals. Acta Psychologica 78(1991) 243-256, North-Holland. In : **Cognitive Ergonomics** – contributions from experimental psychology. Editors Gerrit C. van der Veer, Sebastian Bagnara, Gerard A.M.Kempen, 1992. Amsterdam:

Elsevier Science Publishers, 1992.

JOHNSON-LAIRD, P.N. **Mental Models**: Towards a Cognitive Science of Language, Inference, and Consciousness. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

KANT, I. **Logique**. Traduits de l'alemand par Joseph Tissot (1801-1876). In-8º, VII, 248p. 1862. Paris : Ladrangue. Fonte : Bibliothèque Nationale de France, Département Philosophie, Histoire, Sciences de l'homme, R-39849, Disponível em <http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k5400803z>. Acesso em 17 de julho de 2012.

KELLY, G.A. **The psychology of personal constructs**. Volume one. A theory of personality. 5. ed. New York: W.W. Norton & Company, Inc., 1955.

KENNEDY J. M.; JURICEVIC, I. Foreshortening, convergence and drawings from a blind adult. **Perception**, v. 35, n. 6, p. 847-851, 2006.

KINDLEIN JÚNIOR, W; COLLET, I. B; DISCHINGER, M. C. T. Development of tactile perceptive textures as factor of emotion design. In: **Proceedings** of The International Conference on Design and Emotion, Gothemburg.. Gothemburg, Chalmers, 2006.

KLIMESCH, W.; SCHIMKE, H.; SCHWAIGER, J. Episodic and semantic memory – an analysis in the EEG theta-band and alpha-band. **Electroencephalography and Clinical Neurophysiology**, v. 91, n. 6, p. 428-441, Dec 1994.

KNAUFF, M. ; MAY, E. Mental imagery, reasoning, and blindness. **The Quarterly Journal of Experimental Psychology**, v. 59, p. 161-177, January 2006.

KÖNÖNEN, M. ; PARTANEN, J.V. Blocking of EEG alpha activity during visual performance in healthy adults. A quantitative study. **Electroencephalography and Clinical Neurophysiology**, 87, p. 164-166, 1993.

KNOPS, A; THIRION, B; HUBBARD, EM; MICHEL, V; DEHAENE, S. Recruitment of an Area Involved in Eye Movements During Mental Arithmetic. **Science express**, 7 may 2009.

KORT, B. ; REILLY, R ; PICARD, R.W. An Affective Model of Interplay Between Emotions and Learning: Reengineering Educational Pedagogy-Building a Learning Companion, In **Proceedings** of International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2001), August 2001, Madison, WI, 2001.

KOSSLYN, S. M. Reflective thinking and mental imagery: A perspective on the development of Posttraumatic Stress Disorder. **Development and Psychopathology**, v. 17, p. 851-863, 2005.

KOSSLYN, S. M. ; THOMPSON, W. L. ; KIM, I. J. ; ALPERT, N. M. Topographical representations of mental images in primary visual cortex. **Nature**, v. 378, p. 496-498. Reprinted in M. S. Gazzaniga (Ed.), (2000), *Cognitive Neuroscience: A Reader*. Malden, MA: Blackwell Publishers, Inc, 1995.

KOSSLYN, S. M.; ALPERT, N. M.; THOMPSON, W. L.; MALJKOVIC, V.; WEISE, S. B.; CHABRIS, C. F.; HAMILTON, S. E.; RAUCH, S. L.; BUONANNO, F. S. Visual-mental imagery activates topographically-organized visual cortex: PET investigations. **Journal of Cognitive Neuroscience**, v. 5, p. 263–287, 1993.

KOSSLYN, S. M.; BEHRMANN, M.; JEANNEROD, M. The cognitive neuroscience of mental imagery. **Neuropsychologia**, v. 33, n. 11, p.1335-1344, November 1995.

KOSSLYN, S.M. **Image and brain: the resolution of the imagery debate**. MIT Press, Cambridge, MA, 1994.

KOVÁCS, B. ; GAUNET, F. ; BRIFFAULT, X. **Les techniques d'analyse de l'activité pour l'IHM**. Paris : Lavoisier, 2004.

KRIEGSEIS, A.; HENNIGHAUSEN, E.; RÖSLER, F.; RÖDER, B. Reduced EEG alpha activity over parieto-occipital brain areas in congenitally blind adults. **Clinical Neurophysiology**, v. 117, p.1560-1573, 2006.

KUCERA, T.J. **Teaching chemistry to students with disabilities**. Information Technology and Disabilities E-journal .Rochester Institute of Technology. ISBN 0-8412-2734-9. December, 18, 1996.

KUMAR, David D.; STEFANICH, Greg. P.; RAMASAMY, Rangasamy. Science for Students with Visual Impairments: Teaching Suggestions and Policy Implications for Secondary Educators. **Electronic Journal of Science Education**, v. 5 , n. 3 , March 2001.

KURZWEIL, R. **How to create a mind : the secret of human thought revealed**. London: Penguin, 2012.

- KURZWEIL, R. **The age of spiritual machines**. New York : Viking Press, 1999.
- LAMBERT, S; SAMPAIO, E; MAUSS, Y; SCHEIBER, C. Blindness and brain plasticity: contribution of mental imagery? An fMRI study. **Brain Research. Cognitive**, v. 20, n. 1, p. 1-11, 2004.
- LANGE, C. **The emotions**. Willians & Wilkins, Baltimore, 1885.
- LARA, A.M.de B. **Johann Heinrich Pestalozzi (1746-1827)**: Cartas sobre a educação infantil. Grupo de Estudos e Pesquisas "História, Sociedade e Educação no Brasil" Faculdade de Educação – UNICAMP. Disponível em <http://www.histedbr.fae.unicamp.br/acer_histedbr/seminario/>, Acesso em: 18 de julho de 2012.
- LAROCCA, P.; ROSSO, A. J.; SOUZA, A. P. de. A formulação dos objetivos de pesquisa na pós-graduação em Educação: uma discussão necessária. **Revista Brasileira de Pós-Graduação**, v. 2, n. 3, p. 118-133, Mar. 2005.
- LEBEDEV, M.A, ; NICOLELIS, M. Brain-machine interfaces: past, present and future. **Trends Neuroscience**. 2006 Sep;29(9), p.536-46. Epub 2006 Jul 21.
- LECLERC, C. *et al.*. EEG coherence in early-blind humans during sound localization. **Neuroscience Letters**, v. 376, n. 3, p. 154-159, Mar 16 2005. ISSN 0304-3940. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000227409000002 >.
- LÉCUYER, A. Simulating Haptic Feedback using Vision: a Survey of Research and Applications of Pseudo-Haptic Feedback, **Presence: Teleoperators and Virtual Environments**, MIT Press, v. 18, n. 1, p. 39-53, 2009.
- LEE, Y.S.; BAILEY, C.H.; KANDEL, E.R.; KAANG, B.K. Transcriptional regulation of long-term memory in the marine snail *Aplysia*. **Mol Brain**, v. 1, n. 3, 2008.
- LEMEIGNAN, G. ; WEIL-BARAIS, A. **Construire des concepts en physique**. Paris : Hachette Éducation, 1993.
- LEPLAT, J. **L'analyse psychologique de l'activité en ergonomie – aperçu sur von évolution, ses modèles et ses méthodes**. Toulouse : Octares Éditions, 2000.
- LEPLAT, J. L'analyse du travail en psychologie ergonomique : recueil de textes. Tome 2. Toulouse : Octares Éditions, 1993. L'exploration visuelle dans le travail .**Numéro**

spécial de Le Travail Humain, v. 46, n. 1, 1993.

LIEVESLEY, R. ; WOZENCROFT, M. ; EWINS, D. The Emotiv EPOC neuroheadset: an inexpensive method of controlling assistive technologies using facial expressions and thoughts? **Journal of Assistive Technologies**, v. 5, n. 2, p. 67. Jun. 2011.

LIPPE, E.M.O.; CAMARGO, E.P.de. Educação Especial nas atas do ENPEC e em revistas brasileiras e espanholas relevantes na área: delineando tendências e apontando demandas de investigação em Ciências. **Anais VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 8-13 de novembro de 2009.

LOPES, R. ; FICHEMAN, I. K. ; MARTINAZZO, A. A. G. ; CORREA, A. G. D.; VENÂNCIO, V. ; YIN, H. T. ; BIAZON, L. C. . O uso dos computadores e da Internet em escolas públicas de capitais brasileiras. **Estudos e Pesquisas Educacionais**, v. 1, p. 275-335, 2010.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M.E.D.A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo : EPU, 1986.

MACHADO FILHO, F.; THOMAZ, P. As dez classes principais de signos segundo Charles Sanders Peirce. **Anais VII Jornada Multidisciplinar: Humanidades em Comunicação**. FAAC/ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – UNESP -. Bauru, outubro 2005.

MACHADO, A.C.S. **Ensino de Física para Deficientes Visuais: uma revisão a partir de trabalhos em eventos**. Trabalho de conclusão de curso. Orientadora: Professora MSc. Roseline Beatriz Strieder. Universidade Católica de Brasília, 2010.

MACHADO, A.R. Entrevista com Jean-Paul Bronckart. **Delta: documentação de estudos em linguística teórica e aplicada**, v. 20, n. 2, p.311-328, 2004.

MACLEAN, P.D. Psychomastic disease and the visceral brain : recent developments bearing on the Papez theory of emotion. **Psychosomatic Medicine**, n. 11, p. 338-353, 1949.

MAGINA, S. A Teoria dos Campos Conceituais: Contribuições da Psicologia para a Prática Docente. **Anais do ERPM**, maio de 2005.

MANTOAN, M.T.E. O direito de ser, sendo diferente, na escola. **Revista CEJ Conselho da Justiça Federal/Centro de Estudos Judiciários da Justiça Federal**.

Ano VIII/Setembro de 2004 Brasília/DF - ISSN 1414-008X.

MARYVONNE, M. **Activité humaine et conceptualisation** : Questions à Gérard Vergnaud. Toulouse : Presses universitaires du Mirail, 2007.

MELO, G.N. A pesquisa educacional no Brasil. **Cadernos de Pesquisa**, n. 46, p. 67-72, ago. 1983.

MENDES, E.G. A radicalização do debate sobre inclusão escolar no Brasil. **Revista Brasileira de Educação**. v. 11, n. 33, Rio de Janeiro, Setembro/Dezembro, 2006.

MERABET, L.B.; SWISHER, J.D.; McMAINS, S.A.; HALKO, M.A.; AMEDI, A.; PASCUALLEONE, A.; SOMERS, D. Combined activation and deactivation of visual cortex during tactile sensory processing. **Journal of Neurophysiology**, v. 97, February, 2007.

MERRI, M. **Actitivité humanine et conceptualisation** : questions à Gérard Vergnaud. Toulouse : Presses Universitaires du Mirail, 2007.

MIGUEL, P.V.de O. **ECOLIG o protocolo semiótico para comunicação homem-máquina que utiliza interfaces do tipo cérebro-computador**. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação – FEEC. Orientador: Prof. Dr. Gilmar Barreto. UNICAMP, 2010.

MONTMOLLIN, M.de. **L'intelligence de la tâche** - Eléments d'ergonomie cognitive. Deuxième édition. Berne; Francfort-s. Main; New York: Lang, 1986.

MONTOYA, A.O.D. Representações e construção do conhecimento. **Schème Revista Eletrônica de Psicologia e Epistemologia Genéticas**, v. 1, n. 1, 2008.

MORAES, M. C. Informática educativa no Brasil: um pouco de história. **Em Aberto**, Brasília, ano 12, n. 57, jan.-mar., 1993.

MOREIRA, M.A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 1, 2002.

MORIN, E. La Complexité. **Colloque sur les interrelations entre la biologie, les sciences sociales et la société**. Organisation des Nations Unies pour l'Education, la Science et la Culture. SHC-74/CONF.801/4, Paris : UNESCO, 12 Mars 1974.

MORIN, E. **O problema epistemológico da complexidade**. 3. ed. Portugal: Europa-

América, 1996.

MORIN, Edgar. **Introdução ao Pensamento Complexo**. Lisboa: Instituto Piaget, 1991.

MORIN, Edgar. **Os sete saberes necessários à Educação do futuro**. Tradução de Catarina Eleonora F. da Silva e Jeanne Sawaya. 6 ed., São Paulo: Cortez, 2002.

MUTHUKUMARASWAMY, SD; SINGH, KD. Modulation of the human mirror neuron system during cognitive activity, **Psychophysiology**, v. 45, n. 6, 2008.

NARDI, R. Memórias da educação em Ciências no Brasil: a pesquisa em Ensino de Física. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 1, pp. 63-101, 2005.

NEJATI, V.; ASADI, A. Semantic and Phonemic Verbal Fluency in Blinds. **Journal of Psycholinguistic Research**, v. 39, n. 3, p. 235-242, Jun 2010.

NEUPER, C ; SCHERER, R; REINER, M; PFURTSCHHELLER, G. Imagery of motor actions: differential effects of kinesthetic and visual-motor mode of imagery in single-trial EEG. **Brain Res Cogn Brain Res**, v. 25, n. 3, 2005.

NEUPER, C; SCHERER, R; WRIESSNEGGER, S; PFURTSCHHELLER, G. Motor imagery and action observation: modulation of sensorimotor brain rhythms during mental control of a braincomputer interface. **Clinical Neurophysiology**, v. 120, n. 2, 2009.

NEWELL, F.N. ; BÜLTHOFF, H. ; ERNST, M.O. Cross-Modal Perception of Actively Explored Objects. in: H.S. Oakley, & S. O'Modhrain (Eds.), **Proceedings EuroHaptics 2003**. Dublin, Ireland: Trinity College Dublin, p.291- 299, 2003.

NICOLELIS, M. A. L.; LEBEDEV, M. A. Principles of neural ensemble physiology underlying the operation of brain-machine interfaces. **Nature Reviews Neuroscience**, v. 10, n. 7, p. 530-540, Jul 2009.

NICOLELIS, M. **Beyond boundaries: the new neuroscience of connecting brains with machines – and how it will change our lives**. New York: Times Book, 2011.

NICOLESCU, B. Projet CIRET-UNESCO : Évolution transdisciplinaire de l'Université. **Bulletin du CIRET**, n. 9-10, Février 1997.

NICOLESCU, Basarab *et al.*. **Educação e Transdisciplinaridade**. Brasília: UNESCO,

2000.

NORMAN, D. **Design emocional** : por que adoramos (ou detestamos) os objetos do dia-a-dia. Tradução Ana Deiró. Rio de Janeiro : Rocco, 2008.

NUNES, M.; SANTOS, L. M. P. L. dos; SOARES, E. C. Noções de conservação das quantidades físicas em alunos do ensino fundamental: diagnóstico preliminar. **Revista de Educação Pública**. Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso, v. 9, n. 15, p. 43-52, jan./jun. 2000.

OCHOA, J.B. **EEG Signal Classification for Brain Computer Interface Applications**. Tese de doutorado. École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Suisse., 2002.

OCHS, M.; NIEWIADOMSKI, R; PELACHAUD,C.; SADEK, D. Intelligent Expression of Emotions. In **Proceedings** First International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII2005), p. 708-714. Heidelber & Berlin: Springer LNCS 3784, 2005.

O'DOHERTY, J.E. ; LEBEDEV, M.A. ; IFFT, P.J. ; ZHUANG, K.Z. ; SHOKUR, S. ; BLEULER, H. ; NICOLELIS, M.A.L. Active tactile exploration enabled by a brain-machine-brain interface. **Nature**, 479, p. 228-231, 2012.

O'DOHERTY, J.E. ; LEBEDEV, M.A. ; IFFT, P.J. ; ZHUANG, K.Z. ; SHOKUR, S. ; BLEULER, H. ; NICOLELIS, M.A.L. Active tactile exploration using a brain-machine-brain interface. **Nature**, 05 October, 2011.

O'DOHERTY, JE, LEBEDEV, M.A. ; LI, Z. ; NICOLELIS, M.A.L. Towards a brain-machine interface: active touching using randomly patterned intracortical microstimulation. **IEEE Trans Neur Syst Rehab Eng**. v. 20, p. 85-93, 2011.

OECD. **First High-Level Forum on Learning Sciences and Brain Research: Potential Implications for Education Policies and Practices**. Brain Mechanisms and Early Learning, Sackler Institute, New York, June 16–17, organized by the OECD. 2000.

OLIVEIRA, R.de. **Informática Educativa** : dos planos e discursos a sala de aula. Campinas: Papirus, 1997.

ORES. **Observatoire Régional de la Santé des Pays de la Loire**. La population en

situation de handicap visuel en France. Importance, caractéristiques, incapacités fonctionnelles et difficultés sociales. Observatoire régional de la santé des Pays de la Loire. Juillet 2005.

OMS - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Classificação Internacional de Funcionalidade, Incapacidade e Saúde**. Organização Mundial da Saúde, Direção Geral da Saúde, Lisboa, 2004.

OSGOOD, C.E. The representational model and relevant research methods, in I. de S. Pool (ed.), **Trends i content analysis**, Urbana, University of Illinois Press, 1959.

OTERO, M.R. Psicología cognitiva, representaciones mentales e investigación en enseñanza de las ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 4, n. 2, p.93-119, 1999.

OWEN, A.M. ; Hampshire, A. ; Grahn. J.A. ; Stenton, R. ; Dajani, S. ; Burns, A.S. ; Howard, R.J. ; Ballard, C.G. Putting brain training to the test. **Nature**. 2010 Jun 10; 465(7299):775-8.

PAGEL, B.; HEED, T.; ROEDER, B. Change of reference frame for tactile localization during child development. **Developmental Science**, v. 12, n. 6, p. 929-937, Nov 2009.

PAPERT, S.M. **Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas**. New York: Basic Books, 1980.

PAPERT, Seymour M. **A Máquina das Crianças: Repensando a escola na era da informática (edição revisada)**. Nova tradução, prefácio e notas de Paulo Gileno Cysneiros. Porto Alegre, RS: Editora Artmed, 2007 (1ª edição brasileira 1994; edição original EUA 1993).

PASCHOARELLI, LC.; MENEZES, MS., orgs. **Design e ergonomia: aspectos tecnológicos** [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. 279 p. ISBN 978-85-7983-001-3. Available from SciELO Books <http://books.scielo.org>.

PASCUAL-LEONE, A.; AMEDI, A.; FREGNI, F.; MERABET, L.B. The Plastic Human Brain Cortex. Publisher: **Annual Review of Neuroscience**, v. 28, p. 377-401, 2005.

PASTRÉ, P. ; MAYEN, P. ; VERGNAUD, G. La didactique professionnelle. **Revue**

française de pédagogie. n.156, janvier-mars, 2006.

PAUL P., PINEAU, Gaston. **Transdisciplinarité et formation** (ouvrage collectif), coll. Interfaces et transdisciplinarités, Paris: Ed. l'Harmattan, 2005.

PEIRCE, C. S. **Semiótica**. São Paulo : Perspectiva, 2000.

PELACHAUD, C. **Systèmes d'interaction émotionnelle**. Paris : Lavoisier, 2010.

PENA, F.L.A. Por que, apesar do grande avanço da pesquisa acadêmica sobre Ensino de Física no Brasil, ainda há pouca aplicação dos resultados em sala de aula? **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 26, n. 4, São Paulo, Outubro./Dezembro. 2004.

PEREZ, J.dos. ; MAIA, H. Representações sociais de saberes da experiência e processos de resignificação individual: um estudo no campo do trabalho docente. X Congresso Nacional de Educação EDUCERE. **Anais I Seminário Internacional de Representações Sociais, Subjetividade e Educação – SIRSSE**. Pontifícia Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 7 a 10 de novembro de 2011.

PETERMAN, R. **Uma abordagem sobre interface cérebro-computador e suas aplicações na computação**. Trabalho de conclusão de curso. Orientador: Prof. Dr. Wyllian Fressatti. Universidade Paranaense/UNIPAR, 2010.

PEZALLA-GRANLUND, M.; RUSK, N.; RESNICK, M.; BERG. R. **Rethinking Robotics: Learning through Creative Engineering**. MIT - Massachusetts Institute of Technology. A Proposal to National Science Foundation, Informal Science Education Program, December 2005.

PREECE, J. **Design de interação: além da interação homem-computador**. Tradução: Viviane Possamai. Porto Alegre : Bookman, 2005.

PIAGET, J. ; INHELDER, B. **O desenvolvimento das quantidades físicas na criança**. 3. ed., Rio de Janeiro : Zahar Editores, 1983.

PIAGET, J. **La formation de la notion de force**. Presses universitaires de France, Paris, 1973.

PIAGET, J. **La naissance de l'intelligence chez l'enfant**. Neuchâtel ; Paris : Delachaux et Niestlé, 1936.

PIAGET, J. ; INHELDER, B. **Le Développement des quantités physiques chez l'enfant** : conservation et atomisme. Neuchâtel ; Paris : Delachaux et Niestlé, 1968.

PIAGET, J. ; INHELDER, B. **L'image mentale chez l'enfant** : étude sur le développement des représentations imagées. Paris : PUF, 1966.

PIAGET, J. ; INHELDER, B. Le développement des images mentales chez l'enfant. **Journal de Psychologie Normale et Pathologique**, v. 59, n. 1-2, p. 75-108, 1962.

PIATELLI-PALMARINI, M. **Teorias da linguagem, teorias da aprendizagem: o debate entre Jean Piaget e Noam Chomsky**. Organizado e compilado por Massimo Piatelli-Palmarini. Tradução de Álvaro Cabral. São Paulo: Cultrix: Editora da Universidade de São Paulo, 1983.

PICARD, R.W. **Affective Computing**. Cambridge, MA: The MIT Press, 1997.

PICARD, R.W. Future Affective Technology for Autism and Emotion Communication, **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, doi: 10.1098/rstb.2009.0143 Phil. Trans. R. Soc. B 12 December 2009, v. 364 n. 1535 3575-3584, 2009.

PICHILIANI, M. ; HIRATA, C.M. ; FRAGA, T. Exploring a brain controlled interface for emotional awareness. SBSC 2012. **Proceedings** 2012 Brazilian Symposium on Collaborative Systems. 15-18 October, 2012. São Paulo

PINEDA, J.A. ; BRANG, D ; HECHT, E. ; EDWARDS, L. ; CAREY, S. ; BACON, M. ; FUTAGAKI, C. ; SUK, D. ; TOM, J. ; BIRNBAUM, C. ; RORK, A. Positive behavioral and electrophysiological changes following neurofeedback training in children with autism. **Research in Autism Spectrum Disorders** , v. 2, n.3, p. 557-581. 2008.

PINKERS, S. A computational theory of the mental imagery medium. **NATO advanced research workshop on imagery and cognition**, n. 42, p.17-32, 1988.

PRINCE, V. **Vers une informatique cognitive dans les organisations** : le rôle central du langage. Paris : Masson, 1996.

PYLYSHYN, Z.W. **Things and places: how the mind connects with the world**. Cambridge: A Bradford Book/The MIT Press, 2007.

QIAO, E.T. **Bases cérébrales de la lecture des mots manuscrits** : Etude

comportementale et en IRM fonctionnelle. Master de Sciences Cognitives. EHESS/ENS/Université PARIS 5. 2007.

RAMON, O. **Informática Educativa**. Campinas: Papirus, 1997, 176 p.

RAYNARD, F. **Se mouvoir sans voir. Education et rééducation fonctionnelle des aveugles et des malvoyants**. Éditions : Corcelles-le-Jorat (Suisse) : Yva Peyret, 1991.

RAZ, N; AMEDI, A; ZOHARY, E. V1 Activation in Congenitally Blind Humans is Associated with Episodic Retrieval. **Cerebral Cortex**, v. 15, n.9, 2005.

REA-RAMIREZA, M.A.; CLEMENT, J. In search of dissonance : the evolution of dissonance in Conceptual Change Theory. Paper presented at the **Annual Meeting of the National Association of Research in Science Teaching**. 71 st., San Diego, CA, april 19-22, 1998.

RECOPE, M. Conceptualisation et normativité vitale : L'exemple de la conceptualisation du temps en situation chez les volleyeurs. In MERRI, M. **Actitivité humaine et conceptualisation** : questions à Gérard Vergnaud. Toulouse : Presses Universitaires du Mirail, 2007.

REGO-MONTEIRO, P.; MANHÃES, L.P.; KASTRUP, V. Questões Acerca da Teoria da Compensação no Campo da Deficiência Visual. **Revista Benjamin Constant**, n. 36, Abril, 2007.

ROCON E, BELDA-LOIS JM, RUIZ AF, MANTO M, *et al.*. Design and validation of a rehabilitation robotic exoskeleton for tremor assessment and suppression. **IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering**, v. 15, n. 3, p.367-78, 2007.

RÖDER, B.; RÖSLER, F.; Hennighausen, E.; NÄcker, F. Event-related potentials during auditory and somatosensory discrimination in sighted and blind human subjects. **Cognitive Brain Research** , v. 4, p. 77-93. 1996.

ROGERS S.J.; HEPBURN, S.L.; STACKHOUSE, T.; WEHNER, E. Imitation performance in toddlers with autism and those with other developmental disorders. **Journal of Child Psychology and Psychiatry and allied disciplines**, v. 44, p.763–781, 2003.

ROS, T.; MUNNEKE, M.A.M.; DIANE, R.; GRUZELIER, J. H.; ROTHWELL, J. C. Endogenous control of waking brain rhythms induces neuroplasticity in humans. **European Journal of Neuroscience**, v. 31, n. 4, 2010.

RÖSLER, F. ; RÖDER, B. ; HEIL, M.; HENNINGHAUSEN, E. Topographic differences of slow event-related brain potentials in blind and sighted adult human subjects during haptic mental rotation. **Cognitive Brain Research**, 1, p. 145-159, 1993.

SADATO, N.; PASCUAL-LEONE, A.; GRAFMAN, J.; DEIBER, M.P.; IBAÑEZ, V.; HALLETT, M. Neural networks for Braille reading by the blind. **Brain**, v. 121, p. 1213-1229, 1998.

SADATO, N.; PASCUAL-LEONE, A.; GRAFMAN, J.; IBAÑEZ, V.; DEIBER, M.P.; DOLD, G. et al.. Activation of the primary visual cortex by Braille reading in blind subjects. **Nature**, v. 380, p. 526-528, 1996.

SAFATLE, V. O que é uma normatividade vital ? Saúde e doença a partir de Georges Canguilhem. **Scientifiæ Studia**, v. 9, n. 1, p.11-27, 2011.

SAMPIERI, R.H. **Metodologia de pesquisa**. Roberto Hernández Sampieri, Carlos Fernández Collado, Pilar Baptista Lucio ; tradução Fátima Conceição Murad, Melissa Kassner, Sheila Clara Dystyler Ladeira ; revisão técnica e adaptação Ana Gracinda Queluz Garcia, Paulo Heraldo Costa do Valle. São Paulo : McGraw-Hill, 2006.

SANO, A.; HERNANDEZ, J.; DEPREY, J.; ECKHARDT, M.; PICARD, R.W.; GOODWIN, M.S. Multimodal Annotation Tool for Challenging Behaviors in People with Autism Spectrum Disorders, **Workshop on Ubiquitous Mobile Instrumentation at the International Conference on Ubiquitous Computing**, Pittsburgh, PA, September 5-8, 2012.

SANTAELLA, L. **Matrizes da linguagem e pensamento**. São Paulo: Iluminuras, 2001.

SANTAROSA, L.M.C. Escola Virtual" para a Educação Especial: ambientes de aprendizagem telemáticos cooperativos como alternativa de desenvolvimento. **Revista de Informática Educativa**, Bogotá/Colombia, UNIANDES, v. 10, n.1, p. 115-138, 1997.

SANTOS, L. T. O olhar do deficiente visual para o Ensino de Física. In: **Anais do VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, Florianópolis. São Paulo: Sociedade

Brasileira de Física. p. 113, 2000.

SASSAKI, R.K. **Inclusão**: construindo uma sociedade para todos. Rio de Janeiro: WVA Editora e Distribuidora, 1999.

SCAPIN, D.L. ; BASTIEN, J.M.C. Ergonomic criteria for evaluating the ergonomic quality of interactive systems. **Behaviour and Information Technology**, v. 6, n. 4-5, p. 220-231, 1997.

SCHEFFLER, G.L. **A Teoria dos Campos Conceituais de Vergnaud e o Ensino de Radioatividade**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Química. Trabalho de conclusão de curso para obtenção do grau de licenciado em Química. Orientador: Prof. Dr. José Cláudio del Pino, Porto Alegre, 2011.

SHELLENBERG, E.G., Examining the association between music lessons and intelligence. **British Journal of Psychology**, v.102, p. 283-302, 2011.

SCHERF, G. **Jean-Jacques Rousseau et les arts**. Panthéon – 29 juin- 30 septembre 2012. Paris : Éditions du Patrimoine Centre des monuments nationaux, 2012.

SCHLEPPENBACH, D. Teaching science to the visually impaired. **Information Technology and Disabilities E-Journal**. December, 1996.

SCHNEUWLY, B.; DOLZ, J. **Gêneros orais e escritos na escola**. Tradução e organização: Roxane Rojo e Glaís Sales Cordeiro. Campinas: Mercado de Letras, 2004.

SENICIATO, T.; CAVASSAN, O. O ensino de ecologia e a experiência estética no ambiente natural: considerações preliminares. **Ciência e Educação**, v. 15, n. 2, Bauru, 2009.

SEUNG, S. **Connectome**: how the brain's wiring makes us who we are. New York: Houghton Publishing Company, 2012.

SILVA, A.B.B. **Mentes inquietas – TDAH, desatenção, hiperatividade e impulsividade**. Rio de Janeiro : Objetiva, 2009.

SMALL, G. ; VORGAN, G. **iBrain: Surviving the Technological Alteration of the Modern Mind**. New York : HarperCollins Publishers, 2008.

SMITH, P.L.; FOUAD, N.A. Subject-Matter Specificity of Self-Efficacy, Outcome

Expectancies, Interests, and Goals: Implications for the Social-Cognitive Model. **Journal of Counseling Psychology**, v. 46, n. 4, p. 461-471, 1999.

SOCIETY FOR NEUROSCIENCE. Translational Neuroscience Accomplishments. Society for Neuroscience, 2003.

SOLER, M.A. **Didáctica multisensorial de las ciencias:** Un nuevo método para alumnos ciegos, deficientes visuales, y también sin problemas de visión. Barcelona: Paidós, 1999.

SOUSA, C.M.S.G. de; FÁVERO, M.H. Análise de uma situação de resolução de problemas de Física, em situação de interlocução entre um especialista e um novato, à luz da teoria dos campos conceituais de Vergnaud. **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, v. 7, n. 1, 2002.

SOUSA, C.M.S.G. de. **A resolução de problemas e o Ensino de Física:** uma análise psicológica. Tese de doutorado. Orientadora Profa. Dra. Maria Helena Fávero Instituto de Psicologia, Universidade de Brasília. 2001.

STILLMAN, G. A., GALBRAITH, P. L. Applying mathematics with real world connections: Metacognitive characteristics of secondary students. **Educational Studies in Mathematics**, v. 36, p. 157-195, 1998.

TANENBAUM, A.S. **Organização estruturada de computadores.** 4. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2007.

TERRIEN, J.; CARVALHO, A.D.F. O professor no trabalho: epistemologia da prática e ação/cognição situada – elementos para a análise da práxis pedagógica. **Revista Brasileira de Formação de Professores**, v.1, n. 1, p.129-147, Maio, 2009.

THAGARD, P. **Hot Thought:** Mechanisms and Applications of Emotional Cognition. Cambridge: Bradford Books/MIT Press, 2006.

THÉORET, H.; MERABET, L.; PASCUAL-LEONE, A. Behavioral and neuroplastic changes in the blind: evidence for functionally relevant cross-modal interactions. **Journal of Physiology Paris**, v. 98, n.1-3, 2004.

TONET, O.; MARINELLI, M.; CITI, L. ; ROSSINI, P.M. ; ROSSINI, L. ; MEGALI, G. ; DARIO, P. Defining brain-machine interface applications by matching interface performance with device requirements. **Journal of Neuroscience Methods**, v. 167,

p.91–104, 2008.

TROGNON, A. L'antilogicisme de Gérard Vergnaud. In M. Merri (Ed.), **Activités humaines et conceptualisation** : questions à Gérard Vergnaud. p. 195-204. Toulouse : PUM, 2007.

VALENTE, J.A. **O professor no ambiente LOGO**: formação e atuação. Organização José Armando Valente. Campinas: Editora da UNICAMP/NIED, 1996.

VAUGHN, K. Music and mathematics: Modest support for the oft-claimed relationship. **Journal of Aesthetic Education**, 34, 149-166, 2000.

VERGNAUD, G. ; BRUNO, S. The spontaneous use of analogical reasoning in learning physics : a case study. In **(Abstracts) : Bridging Instruction to Learning, Earli, 9th European Conference**, Fribourg, Switzerland, 28 aout – 1er septembre, p.95, 2002.

VERGNAUD, G. **A criança, a matemática e a realidade** – problemas do ensino da matemática na escola elementar. Tradução: Maria Lucia Faria Moro. Curitiba: Editora da UFPR, 2009.

VERGNAUD, G. Education, the best portion of Piaget's heritage. **Swiss Journal of Psychology**, v. 55, n. 2-3, p. 112-118, 1996.

VERGNAUD, G. L'explication est-elle autre chose que la conceptualisation? In: LEUTENEGGER, Francia. SAADA-ROBERT, Madelon. **Expliquer et comprendre en sciences de l'éducation**. Paris : De Boeck, 2002.

VERGNAUD, G. A comprehensive theory of representation for mathematics education. **Journal of Mathematical Behavior**, v. 17, n. 2, p. 167-181, 1998.

VERGNAUD, G. **Les compétences, Bravo! Mais encore? Réflexions critiques pour avancer.** Disponível em: <http://perso.orange.fr/jacques.nimier/competences_vergnaud.htm> . Acesso em 7 de novembro de 2006.

VERGNAUD, Gérard. La théorie des champs conceptuels. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, v. 10, n. 23, p. 133-170, 1990.

VIEILLEDENT, S.; KOSSLYN, S.M.; BERTHOZ, A.; GIRAUDO, M.D. Does mental

stimulation of following a path improve navigation performance without vision? **Cognitive Brain Research**, v. 16, p.2 38-249, 2003.

VIVEIROS, E.R.de ; CAMARGO, E.P.de. Deficiência visual e educação científica: orientações didáticas com um aporte na Neurociência Cognitiva e Teoria dos Campos Conceituais, **Góndola**. v. 6, n. 2, diciembre, p.25-50, 2011.

VIVEIROS, E.R.de. **Investigando a relação sujeito-conhecimento entre alunos de Licenciatura em Química**: contribuições da Teoria dos Campos Conceituais. Dissertação de Mestrado. Orientador Dr. Renato Eugênio da Silva Diniz. Programa de Pós-graduação em Educação para a Ciência. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho'. Faculdade de Ciências. Bauru, 2007.

VYGOTSKY, L. S. **Fundamentos de defectologia**: El niño ciego. Havana: Editorial Pueblo Y Educación, 1997.

VYGOTSKY, L. S. **Pensamento e Linguagem**. São Paulo: Martins Fontes, 2008.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

ZACKSENHOUSE M.; LEBEDEV, M.A.; CARMENA, J.M.; O'DOHERTY, J.E.; HENRIQUEZ, C.; NICOLELIS M.A. Cortical modulations increase in early sessions with brain-machine interface. **PLoS One**, 2(7):e619, 2007.

WAN, C. Y. *et al.*. Congenital blindness leads to enhanced vibrotactile perception. **Neuropsychologia**, v. 48, n. 2, p. 631-635, Jan 2010.

WAN, C.Y. ; WOOD, A.G. *et al.*. Early but not late-blindness leads to enhanced auditory perception. **Neuropsychologia**, v. 48, n. 1, p. 344-348, 2010.

WAN, C.Y. Music Making as a Tool for Promoting Brain Plasticity across the Life Span. **Neuroscientist**, v. 16, n. 5, p. 566-577, 2010.

WARDE, M.J. O papel da pesquisa na pós-graduação em educação. **Cadernos de Pesquisa**, n.73, p.67-75, maio 1990.

WEST VIRGINIA UNIVERSITY. Strategies for teaching students with vision impairments. (in: Inclusion in Science Education for Students with Disabilities) (Project on Coordinated and Thematic Science (CATS), The WV Department of Education, The National Science Foundation, WVU Eberly College of Arts & Sciences). 2005.

WHILLE, R. Formal Concept Analysis as Mathematical Theory of Concepts and Concept Hierarchies. B. Ganter et al.. (Eds.): Formal Concept Analysis, **Lecture Notes in Computer Science**, v. 3626, pp 1-33 , Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005.

WOLPAW, J.R., BIRBAUMER, N., HEETDERKS, W.J., McFARLAND, D.J., PECKHAM, P.H., SCHALK, G., DONCHIN, E., QUATRANO, L.A., ROBINSON, C.J., VAUGHAN. T.M. Brain–Computer Interface Technology: A Review of the First International Meeting. **IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering**, v. 8, n.2, June, 2000.

YEAP, B. H. Metacognition in mathematical problem solving. **Proceedings** Australian Association for Research in Education 1998 Annual Conference, Adelaide, 1998.

YOUNG, Barbara A.M.A.; BURRIL, D.F. Treatment Outcome for a Motor Symbol Sequencing Dysfunction. **Proceedings** 105th APA Annual Convention, Chicago, August 15, 1997.

ZANATTA, B.A. O legado de Pestalozzi, Herbart e Dewey para as práticas pedagógicas escolares. **Revista Teoria e Prática da Educação**, v. 15, n. 1,p. 105-112, jan./abr., 2012.

ZEIDNER, M. ; MATTHEWS, G. ; ROBERTS, R.D. **What we know about Emotional Intelligence**: how it affects learning, work, relationships, and our mental health. Cambridge: A Bradford Book/The MIT Press, 2009.

ZÖLNER, F., NATHAN, J. **Leonardo da Vinci. 1452-1519 - Volume II. Disegni**. Köln: Taschen Verlag, 2011.

ZULIANI, S.R.Q.A. **Prática de Ensino de Química e Metodologia Investigativa**: Uma Leitura Fenomenológica a partir da Semiótica Social. Tese de Doutorado. Orientador: Prof.Dr. Dácio Rodney Hatwig. Universidade Federal de São Carlos, UFSCAR, 2006.