

Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação
Programa de Pós-graduação em Design



Realidade virtual aplicada à ergonomia por meio do design participativo.

Pesquisador: Ricardo Gasperini

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Plácido da Silva

Ricardo Gasperini

Realidade virtual aplicada à ergonomia por meio do design participativo.

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Design (área de concentração: Desenho do Produto; linha de pesquisa: Ergonomia), da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação da Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, campus de Bauru, como exigência para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. José Carlos Plácido da Silva

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉC. AQUIS. E TRAT. DA INFORMAÇÃO
DIVISÃO TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - CAMPUS DE BOTUCATU - UNESP
BIBLIOTECÁRIA RESPONSÁVEL: *ROSEMEIRE APARECIDA VICENTE*

Gasperini, Ricardo.

Realidade virtual aplicada à ergonomia por meio do design participativo / Ricardo Gasperini. - Bauru, 2010

Dissertação (mestrado) – Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, 2010

Orientador: José Carlos Plácido da Silva

Capes: 61200000

1. Desenho industrial. 2. Ergonomia. 3. Realidade virtual.

Palavras-chave: Design; Ergonomia; Realidade virtual.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE Mestrado DE RICARDO GASPERINI, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN, DO(A) FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICACAO DE BAURU.

Aos 30 dias do mês de agosto do ano de 2010, às 14:00 horas, no(a) Sala dos Órgãos Colegiados da Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. JOSÉ CARLOS PLÁCIDO DA SILVA do(a) Departamento de Desenho Industrial / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicacao de Bauru, Prof. Dr. JOÃO ALBERTO CAMAROTTO do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Universidade Federal de Sao Carlos, Prof. Dr. LUIS CARLOS PASCHOARELLI do(a) Departamento de Desenho Industrial / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicacao de Bauru, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a argüição pública da DISSERTAÇÃO DE Mestrado de RICARDO GASPERINI, intitulado "Realidade virtual aplicada à ergonomia por meio do design participativo". Após a exposição, o discente foi argüido 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. JOSÉ CARLOS PLÁCIDO DA SILVA

Prof. Dr. JOÃO ALBERTO CAMAROTTO

Prof. Dr. LUIS CARLOS PASCHOARELLI

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho:

Ao Sagrado Coração de Jesus porque Ele me deu a vida e a família maravilhosa que tenho.

Aos meus pais, José Roque Gasperini e Maria Helena Luvizuto Gasperini.

E minha esposa Paula Alves Garcia Gasperini.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu grande Amigo Divino, Meu Pai, Meu Amigo e Companheiro de todos os momentos: DEUS NOSSO SENHOR. Pois sem ele não teria a inteligência, saúde e persistência para concluir meus estudos.

Aos meus pais pelos ensinamentos e educação que me deram durante toda vida, especialmente pelos valores que me foram transferidos por meio de exemplos como amor, honestidade e amizade. Que Deus continue sempre abençoando esta duas pedras fundamentais na minha vida (Pai e Mãe, obrigado por todos os esforços que vocês fizeram! Obrigado Mesmo!!!)

Aos meus irmãos Rinaldo e Robson que sempre estiveram do meu lado, me apoiando e incentivando os meus estudos, sempre com palavras de carinho e superação.

A minha irmã que com todo carinho chamo aqui de “Tata” uma pessoa fantástica e que teve um papel fundamental me dando todo suporte necessário emocionalmente como também tecnicamente, me auxiliando em todo momento na montagem estrutural desta dissertação (Diva, muitíssimo obrigado!).

A minha esposa Paula, que com toda a paciência e carinho me apoiou em todo o trajeto de estudos, desde o vestibular para a graduação até este momento da defesa da dissertação, se tornando uma das pessoas que mais me motivou para que nunca desistisse do meu sonho.

Ao Prof. Dr. João Alberto Camarotto, que tive a oportunidade de trabalhar e aprender ensinamentos do meio acadêmico como também no meio profissional.

Ao meu orientador Prof. Dr. José Carlos Plácido da Silva, que confiou em minha capacidade, me orientando sempre com grande paciência e prontidão nos momentos de dificuldades.

RESUMO

REALIDADE VIRTUAL APLICADA À ERGONOMIA POR MEIO DO DESIGN PARTICIPATIVO.

A ergonomia está cada vez mais presente no desenvolvimento do produto e conseqüentemente no processo produtivo. As empresas estão sentindo que o investimento em ergonomia é de suma importância na preservação da saúde de seus colaboradores como também no aumento de eficiência da produtividade. Para isso algumas empresas investem em alta tecnologia como Centros de Realidades Virtuais para simular e prever atividades futuras e desenvolver novos produtos. Esta ferramenta utilizada pelas indústrias busca antecipar a melhor solução para os postos de trabalho tornando as atividades menos desgastantes e penosas como também tornando os produtos mais eficientes. Deste modo a pesquisa teve como objetivo avaliar a aplicação da realidade virtual imersiva na análise e avaliação ergonômica por meio do design participativo e assim conhecer suas potencialidades. Este estudo buscou verificar até que ponto a realidade virtual pode auxiliar os especialistas em ergonomia sem que os mesmos tenham que produzir modelos físicos. A metodologia empregada nesta pesquisa envolveu a utilização de um Centro de Realidade Virtual – CRV com o método de grupo de foco simulando atividades e captando a percepção dos sujeitos envolvidos. O experimento evidenciou grande relevância nas aplicações da realidade virtual em algumas situações como na análise de biomecânica, movimento simultâneo e percepção do usuário, porém em algumas atividades verificou-se a necessidade da construção de modelos físicos para maior interação e envolvimento do sujeito. Os testes efetuados também mostraram que a realidade virtual tornou possível a avaliação ergonômica de uma atividade que seria impossível de ser efetuada em ambiente real sem que houvesse uma grande alocação financeira. Este fato se deve pelo motivo da dimensão do produto estudado (grande proporção) e a complexidade do processo. A ferramenta (Realidade Virtual) também proporcionou experimentar o envolvimento da equipe através do design participativo mostrando que a experiência de cada sujeito pode colaborar com sugestões mais assertivas. Neste sentido a aplicação da realidade virtual explorada nesta pesquisa pode e deve ser empregada na análise e avaliação ergonômica, porém o experimento demonstra que ainda existem algumas limitações no que se refere a uma análise ergonômica sem o uso de modelos reais, visto que alguns movimentos executados pelo sujeito ainda necessitem de interação com modelos físicos. Por fim a pesquisa demonstra que a aplicação da realidade virtual na análise e avaliação ergonômica é extremamente importante, pois permite explorar na simulação a experiência adquirida pelos sujeitos na atividade real como também proporcionar ganho de tempo e economia para simular atividades futuras. Fica evidente que algumas limitações encontradas no experimento podem ser ultrapassadas com a evolução tecnológica no decorrer do tempo.

Palavras Chaves: Design, Ergonomia, Realidade Virtual.

ABSTRACT

VIRTUAL REALITY APPLIED ERGONOMICS BY PARTICIPATORY DESIGN. The ergonomics is even more present time in the development of the product and consequently in the productive process. The companies feel that the investment in ergonomics is of utmost importance in the preservation of its collaborators` health as well as in the increase of efficiency of the productivity. For this reason companies invest in high technology as Centers of Virtual Realities to simulate and to foresee future activities as well as to develop new products. This tool used by the industries searches to anticipate the best solution for the work place turning tough activities less tiring as well as making the products more efficient. In this way the research had as objective to evaluate the application of the immersed virtual reality in the analysis and ergonomic evaluation through the participatory design to know its potentialities. This study aimed verifies to what point the virtual reality can assist the specialists in ergonomics without producing physical models. The methodology used in this research involved the use of a Center of Virtual Reality - CVR with the method of group of focus simulating some activities and catching the perception of the involved person. The experiment evidenced great relevance in the applications of the virtual reality in some situations as in the analysis of biomechanics and perception of the user, however in some activities it was verified the necessity of the construction of physical models for bigger interaction and involvement of the participants. The tests had also shown that the virtual reality became the ergonomic evaluation of an activity possible which would be impossible to be done in real environment without the necessity on financial allocation. This fact is due to the reason of the dimension of the studied product (great ratio) and the complexity of the process. The tool (Virtual Reality) also provided to try the involvement of the team through participatory design showing that the experience of each participant can collaborate with more assertive suggestions. Therefore the application of the explored virtual reality in this research can and must be used in the analysis and ergonomic evaluation, however the experiment demonstrates that some limitations concerning to an ergonomic analysis without the use of real models still exist, since some movements executed by the participant still need interaction with physical models. Therefore, the research evidenced that the application of the virtual reality in the analysis and ergonomic evaluation is extremely important, because allows to explore the acquired experience by the participants in the real activity as well as to provide more time and economy to simulate future activities. Also it is clear that some limitations found in the experiment can be exceeded with the technological evolution as time goes by.

Key words: Design, Ergonomics, Virtual Reality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Acoplamento estrutural	20
Figura 2: Modelo sólido.....	30
Figura 3: Modelo transparente	30
Figura 4: Modelo ampliando – (Tratamento de superfícies).	31
Figura 5: Digital Mock-up (DMU) do truck de skate.....	31
Figura 6: Estrutura do sistema R.V. imersivo	42
Figura 7: Estrutura do sistema R.V. não imersivo	42
Figura 8: Efeito estereoscópico.....	43
Figura 9: Estéreo Anáglifo	44
Figura 10: Exemplo de Óculos obturadores (<i>Shutter Glasses</i>).....	44
Figura 11: Análise biomecânica	45
Figura 12: Estruturas Articuladas	47
Figura 13: Reprodução de captura de movimento através de sensores.....	47
Figura 14: Representação da progressão da RV (Realidade Misturada).....	49
Figura 15: Realidade aumentada.....	49
Figura 16: Aplicação da RA na indústria automotiva.....	50
Figura 17: Aplicação da RA em treinamento na área de medicina.....	51
Figura 18: Aplicação de Captura de Movimento em conjunto com sensores de pressão	52
Figura 19: Mapa de pressão conforme região do corpo	53
Figura 20: Utilização de manequins digitais	55
Figura 21: Realidade Virtual na Boeing.....	56
Figura 22: Captura de movimentos.....	58
Figura 23: Monitor de movimento Lombar.....	58
Figura 24: Movimentação das caixas com mesas de mesma altura.....	59
Figura 25: Movimentação das caixas com mesas de diferentes alturas.....	59
Figura 26: Centro de Realidade Virtual	67
Figura 27: Módulo “Human” do software Catia.....	68
Figura 28: Sensores ópticos e câmera infravermelha	68
Figura 29: Roupas especiais para fixação dos Marcadores (sensores)	70
Figura 30: HMD – Head Mounted Display.....	70
Figura 31: Bastão de calibração de captura de movimentos	71
Figura 32: Teste de movimento das estruturas articuladas	71

Figura 33: Ilustração genérica do sistema de captura de movimentos	72
Figura 34: RV Imersiva	74
Figura 35: Simulação virtual do posto de trabalho já existente (postura e visão projetada pelo “Human”).....	75
Figura 36: Objeto em 90 graus	76
Figura 37: Objeto em 135 graus	76
Figura 38: Objeto em 180 graus	77
Figura 39: Escala subjetiva	79
Figura 40: Gráfico – Questão 1 (Biomecânica)	84
Figura 41: Gráfico – Questão 5 (Biomecânica)	85
Figura 42: Gráfico - Questão 3 (percepção)	85
Figura 43: Gráfico - Questão 6 (percepção)	86
Figura 44: Gráfico - Questão 2 (Posto de trabalho).....	86
Figura 45: Gráfico – Questão 7 (posto de trabalho)	87
Figura 46: Gráfico Questão 4 (Controle e manejo).....	88
Figura 47: Gráfico - Grau de importância dada pelos sujeitos.....	89
Figura 48: Delimitações dos objetos virtuais (DMU - Digital Mock-UP)	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados para Velocidade Máxima Sagital.	60
Tabela 2: Resultados para a Escala Sagital Máxima.	60
Tabela 3: Graus de participação praticados no design participativo.....	69
Tabela 4: Classificação das questões através de tópicos estudados em ergonomia	79
Tabela 5: Classificação da importância da aplicação da realidade virtual	80
Tabela 6: Classificação das questões do segundo questionário através de tópicos estudado na ergonomia	81
Tabela 7: Classificação final da melhor situação simulada	83
Tabela 8: Dados colhidos do questionário dos observadores	84
Tabela 9: Grau de importância dada pelos sujeitos	88

LISTA DE SIGLAS

3D – Três Dimensões
4D – Quatro Dimensões
ABERGO – Associação Brasileira de Ergonomia
CAD – Computer Aided Design
CAM – Computer Aided Manufacturing
CRV – Centro de Realidade Virtual
DMU – Digital Mock-up
DP – Design Participativo
ESDI – Escola Superior de Desenho Industrial
GESTALT – Significa “Padrão” em Alemão
HMD – Head Mounted Display
LMM – Lumbar Motion Monitor
MoCap – Motion Capture
PC – Computadores Pessoais
RA – Realidade Aumentada
RM – Realidade Misturada
RV – Realidade Virtual
RVI – Realidade Virtual Imersiva
RVNI – Realidade Virtual não Imersiva
SCAM – Sistema de Captura e Análise de Movimento
TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. Ergonomia.....	15
2.2. Design	18
2.2.1. Design e Ergonomia.....	21
2.2.2. Design Participativo	23
2.2.2.1. Percepção.....	26
2.3. Simulação e Modelagem.....	28
2.4. Ergonomia e Simulação.....	32
2.4.1. Simulação de Situações de trabalho.....	32
2.4.2. Atividade Futura e Simulação.....	36
2.5. Realidade Virtual.....	38
2.5.1. Tipos de Realidade Virtual	41
2.5.2. Realidade Virtual e Ergonomia	51
3. JUSTIFICATIVA.....	61
4. PROPOSTA DA PESQUISA (OBJETIVO).....	63
4.1. Objetivo geral.....	63
4.2. Objetivo específico	64
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	65
5.1. Sujeitos	65
5.2. Materiais.....	66
5.2.1. Equipamentos.....	66
5.2.2. Protocolo.....	68
5.3. Método	70
5.3.1. Preparação para o experimento.....	70
5.3.2. Procedimentos experimentais	72
5.3.3. Metodologia do experimento.....	74

5.3.4. Coleta de dados	77
5.3.4.1. Questionário para observadores	78
5.3.4.2. Questionário para o usuário da RV	80
5.3.4.3. Questionário para escolha da melhor solução	82
6. RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS	82
7. DISCUSSÃO.....	90
8. CONCLUSÃO.....	96
9. REFERÊNCIAS	102

1. INTRODUÇÃO

O termo Realidade Virtual (RV) é bastante abrangente e acadêmico. Desenvolvedores de *software* e pesquisadores tendem a defini-lo com base em suas próprias experiências, gerando diversas definições na literatura. Pode-se dizer, de uma maneira simplificada, que RV é a forma mais avançada de interface do usuário com o computador (HANCOCK, 1995). Trata-se de uma interface que simula um ambiente real e permite aos participantes interagirem com o mesmo (LATTA, 1994), possibilitando às pessoas visualizarem, manipularem e interagirem com representações extremamente complexas (AUKSTAKALNIS, 1992). Ela é um paradigma pelo qual usa-se um computador para interagir com algo que não é real, mas que pode ser considerado real enquanto está sendo usado (HAND, 1994).

Na essência, a RV é um “espelho” da realidade física, na qual o indivíduo existe em três dimensões, tem a sensação do tempo real e a capacidade de interagir com o mundo ao seu redor. Os equipamentos de RV simulam essas condições, chegando ao ponto em que o usuário pode “tocar” os objetos de um mundo virtual e fazer com que eles respondam, ou mudem, de acordo com suas ações (VON SSHWEBER, 1995).

A interface em RV envolve um controle tridimensional altamente interativo de processos computacionais. O usuário entra no espaço virtual das aplicações e visualiza, manipula e explora os dados da aplicação em tempo real, usando seus sentidos, particularmente os movimentos naturais tridimensionais do corpo.

As presentes exigências no processo de desenvolvimento de novos produtos são cada vez mais intensas. Atualmente exige-se das corporações empresariais soluções que sejam ao mesmo tempo eficazes e econômicas. Cumprir os prazos com os menores custos possíveis é uma questão de sobrevivência.

As empresas buscam novas tecnologias para assumir posturas mais competitivas quanto à utilização de novas ferramentas para o desenvolvimento de produtos e processos produtivos.

É crescente o número de indústrias que utilizam o CRV (Centro de Realidade Virtual) como ferramenta de desenvolvimento de produto e análises ergonômicas, como por exemplo, as indústrias aeronáuticas BOEING (GARDNER, 2007) e EMBRAER (REVISTA BANDEIRANTES, 2008) e indústrias automotivas como

FORD (VALÉRIO NETTO, 2001), FIAT (ANDREONI, 2002) e VOLVO (LÄMKULL, 2007).

Um sistema de realidade virtual envolve estudos e recursos ligados à percepção, hardware, software, interface do usuário e fatores ergonômicos.

Porém esta ferramenta tem suas potencialidades e limitações como análise ergonômica que, dependendo de cada tipo de atividade ou tarefa executada pelos seus colaboradores, pode ser aplicada até uma certa etapa no desenvolvimento do produto ou processo de fabricação.

O estudo da aplicação da realidade virtual como ferramenta de análise e avaliação ergonômica apresentada nesta proposta de pesquisa, toma-se uma possibilidade de referência para os profissionais ligados à ergonomia e ao design proporcionando aos mesmos a diminuição no tempo de tomada de decisão.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a aplicabilidade e potencialidade da realidade virtual como ferramenta de análise e avaliação ergonômica por meio do design participativo. Para isto este estudo contou com o auxílio de uma empresa de alta tecnologia onde foi executado o experimento especificamente em uma atividade de grande complexidade.

Esta pesquisa busca compreender até que ponto a RV pode ser utilizada como análise e avaliação ergonômica sem o auxílio de elementos reais (modelos físicos). Desta forma o resultado deste estudo deverá auxiliar os designers e analistas de ergonomia a tomarem a decisão mais correta com relação ao tipo de ferramenta a ser utilizada em uma análise ergonômica de acordo com a complexidade do projeto.

Um ponto levantado nesta pesquisa de grande relevância principalmente para os designers de produto é a vantagem proporcionada pela RV de eliminar ao máximo as etapas de desenvolvimento de modelos físicos para avaliação entre o processo de idealização e a construção do modelo final.

Outro fato importante evidenciado neste trabalho é a extração da experiência dos sujeitos envolvidos através do processo do design participativo, o que é muito importante para a área do design principalmente em projetos de grande complexidade e que envolvem várias pessoas no processo final.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Ergonomia

A Ergonomia é uma disciplina científica que visa estudar a melhor relação de eficiência e conforto entre os elementos do sistema e o homem no seu ambiente de trabalho. Atualmente existem duas correntes filosóficas sobre a abordagem da ergonomia: a ergonomia francofônica e a anglo-saxônica.

A ergonomia francofônica segundo André Ombredane e Jean-Marie Faverge (1955) tem um enfoque no estudo da atividade do trabalho no ambiente real considerando toda ligação social e técnica do homem no trabalho e contexto onde este ocorre.

Esta abordagem está associada à Análise Ergonômica do Trabalho – AET que segundo Wisner (1994) considera a chave para compreensão da atividade do operador em condições reais de trabalho, compreendendo a tarefa, as estratégias de resolução de problemas, as tomadas de decisões, levando em consideração sempre o aprendizado, experiência e competência dos trabalhadores.

A ergonomia pode ser entendida como o estudo das interfaces entre o ser humano e os sistemas. Esta linha segue a abordagem da ergonomia anglo-saxônica a qual se preocupa com o domínio e o melhoramento da interface do sistema homem-máquina, desenvolvendo a melhor forma de concepção de artefatos, dispositivos e sua usabilidade.

Segundo Moraes e Mont'Alvão (2000) esta abordagem preocupa-se, principalmente, com os aspectos físicos da interface homem-máquina (anatômicos, antropométricos, fisiológicos e sensoriais), objetivando dimensionar a estação de trabalho, facilitar a discriminação de informações dos mostradores e a manipulação dos controles. Ainda segundo as autoras esta linha de ergonomia tem a característica de realizar várias simulações em laboratórios, onde são medidos os esforços, alcance, tempo de resposta, dimensionamento humano e outras variáveis, utilizando assim estes dados como referência para o melhoramento das condições de trabalho.

Estas duas abordagens da ergonomia (francofônica e anglo-saxônica) não são contraditórias e devem ser utilizadas sempre em conjunto de modo a se complementarem.

Para melhor entendimento desta disciplina científica, os estudiosos da área dividem a ergonomia em domínios especializados com características específicas como ergonomia física, cognitiva e organizacional.

“Ergonomia Física – Ocupa-se das características da anatomia humana, antropometria, fisiologia e biomecânica, relacionados com a atividade física. Os tópicos relevantes incluem a postura no trabalho, manuseio de materiais, movimentos repetitivo, distúrbios músculo-esqueléticos relacionados ao trabalho, projeto de postos de trabalho, segurança e saúde do trabalhador”.

“Ergonomia Cognitiva – Ocupa-se dos processos mentais, como a percepção, memória, raciocínio e resposta motora, relacionados com as interações entre as pessoas e outros elementos de um sistema. Os tópicos relevantes incluem a carga mental, tomada de decisões, interação homem-computador, estresse e treinamento.”

“Ergonomia Organizacional – Ocupa-se da otimização dos sistemas sócio-técnicos, abrangendo as estruturas organizacionais, políticas e processos. Os tópicos relevantes incluem comunicações, projeto de trabalho, programação do trabalho em grupo, projeto participativo, trabalho cooperativo, cultura organizacional, organizações de rede, teletrabalho e gestão da qualidade”.(Conceituação da IEA, 2000 apud IIDA, 2005).

A utilização do termo ergonomia tem sua data oficial considerada pelos estudiosos no dia 12 de julho de 1949 (IIDA, 2005) quando se reuniu pela primeira vez, na Inglaterra, um grupo de cientistas e pesquisadores que tinha interesse em discutir e formalizar a existência desse novo ramo de aplicação interdisciplinar da ciência. Este mesmo grupo se reuniu novamente em fevereiro de 1950 com o intuito de propor o neologismo ergonomia, formado pelos termos gregos *ergon* que significa trabalho e *nomos* que significa regras, leis naturais (MURRELL, 1965).

Porém o termo ergonomia já tinha sido utilizado pelo polonês Wojciech Jastrzebowski, no artigo “Ensaio de ergonomia ou ciência do trabalho, baseada nas leis objetivas da ciência sobre a natureza” (JASTRZEBOWSKI, 1857).

A ergonomia só adquiriu conceito de uma disciplina mais formalizada a partir do início da década de 1950, com a fundação da primeira associação científica de ergonomia, a *Ergonomics Research Society*, na Inglaterra (IIDA, 2005).

No Brasil a ergonomia é estudada em disciplinas espalhadas principalmente nos cursos de desenho Industrial (design) e engenharia de produção, a qual também é oferecida em cursos de pós-graduação *stricto sensu e lato sensu* na linha de pesquisa de ergonomia.

A ergonomia no Brasil, segundo Moraes e Soares (1989 apud SOARES, 2004), teve seu início na Escola Politécnica da USP, na década de 60, pelo Professor Sergio Penna Khel com a abordagem do tópico “O Produto e o Homem” na disciplina Projeto do produto no curso de Engenharia de Produção. Nesta época Sergio Penna Khel incentivou Itiro lida a desenvolver a primeira tese brasileira em Ergonomia, denominada *Ergonomia do Manejo*, o qual buscou aplicar conhecimentos adquiridos com o professor Karl Heinz Bergmiller que ministrava o curso de ergonomia na ESDI no modelo de Tomás Maldonado, da escola de *ULM*, texto que mais tarde contribuiu para gerar o livro *Ergonomia: Projeto e Produção*.

A ergonomia no Brasil começa a ser impulsionada na década de 70 quando o professor Itiro lida vai para o Rio de Janeiro lecionar ergonomia no curso de pós-graduação em engenharia de produção da COOPE/UFRJ como também na ESDI/UERJ (Escola Superior de Desenho Industrial).

Na área da Psicologia, a introdução da ergonomia ocorreu na USP de Riberão Preto realizada pelo Professor Paul Stephaeek. No Rio de Janeiro, na mesma época, o Professor Alberto Mibielli de Carvalho apresentou a ergonomia aos estudantes de duas importantes faculdades de Medicina do Estado, a Nacional UFRJ e a de Ciências Médicas da UEG, atual UERJ (LEITE et al.,2007).

Em 1974, foi realizado no Rio de Janeiro o primeiro Seminário Brasileiro de Ergonomia (MORAES, 1999), promovido pelo Instituto Superior de Estudo e Pesquisa Psicossociais da Fundação Getúlio Vargas (ISOP – FGV) coordenado pelo Professor Franco Lo Presti Seminário, o qual convidou o Professor Alain Wisner do laboratório de ergonomia do *Conservatoire National des Arts et Métiers* em Paris para ser um dos palestrantes. Wisner ser tornou um dos grandes incentivadores da ergonomia no Brasil. Um ano mais tarde, em 1975 esta mesma instituição (ISOP – FGV) criou o primeiro curso de especialização em ergonomia no Brasil (MORAES, 1999).

No dia 31 de agosto de 1983, foi criada no país a Associação Brasileira de Ergonomia (ABERGO) (IIDA, 2005). Em 1989, foi implantado o primeiro Programa de

Pós-Graduação *Strictu Senso* (Mestrado) em Ergonomia na Faculdade de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina (LEITE et al., 2007)

No ano seguinte, o Ministério do Trabalho e Previdência Social executa a redação dada pela portaria nº 3.751, de 23 de novembro de 1990, que trata da Norma Regulamentadora – NR-17, especificamente sobre ergonomia. Esta norma visa estabelecer parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, proporcionando o máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente (BRASIL, 2007). A partir desta data o Ministério do Trabalho e Previdência Social inicia a cobrança da aplicação da ergonomia nos ambientes de trabalho no país.

2.2. Design

Ainda hoje o termo Design gera grandes conflitos, tanto pelos órgãos de fomento assim como em algumas atividades de pesquisa. As definições do design que estão presentes na percepção das pessoas geralmente estão ligadas à estética e aspectos formais.

Segundo Denis (2000), no Brasil, o design é um vocábulo de importação e sujeito a confusões e desconfianças. A origem imediata da palavra está na língua inglesa, na qual o substantivo *design* se refere tanto à idéia de plano, desígnio, intenção, quanto à de configuração, arranjo, estrutura (e não apenas de objetos de fabricação humana, pois é perfeitamente aceitável, em inglês, falar do design do universo ou de uma molécula). A origem mais remota da palavra está no latim *designare*, verbo que abrange ambos os sentidos, o de designar e o desenhar. Do ponto de vista etimológico, o termo já contém nas suas origens uma ambigüidade, uma tensão dinâmica, entre um aspecto abstrato de conceber/projetar/atribuir e outro concreto de registrar/configurar/formar (DENIS, 2000).

A discussão da história do design pode ser considerada recente ou muito antiga dependendo do ponto de partida. Se considerarmos que o design pode ter surgindo com o início da fabricação de peças e ferramentas por nossos ancestrais, então a história do design pode ser considerada muito antiga, porém se analisarmos a conceituação do design mais contemporânea preconizada pela Revolução Industrial ou levarmos em conta a criação da escola Bauhaus com forte influência de

William Morris e de grupos e movimentos artísticos como *Arts and Crafts*, *Art Nouveau*, *Deutscher Werkbund*, podemos considerar que a história do design é recente.

Estes dois pontos de locução, que são considerados importantíssimos para o entendimento do conceito do design, não podem ser esquecidos, porém adotam-se algumas conceituações do que seria design para delinear a discussão desta dissertação.

O Desenho Industrial, pela definição do ICSID (THE INDUSTRIAL COUNCIL OF SOCIETIES OF INDUSTRIAL DESIGN, 2000):

“É uma atividade criadora cujo objetivo é estabelecer qualidades multifacetadas de objetos, processos e serviços e seus sistemas em todos os ciclos vitais. Portanto, design é o fator central das tecnologias de humanização inovadora e o fator crucial de troca cultural e econômica. O design procura descobrir e avaliar as conexões estruturais, organizacionais, funcionais, expressivas e econômicas, com a tarefa de: aumentar o apoio global e a proteção ambiental (ética global), dar benefícios e liberdade para toda a comunidade humana, indivíduos e o coletivo de usuários finais, fabricantes e protagonistas de marketing (ética social), amparar a diversidade cultural devido à globalização mundial (ética cultural), dar a produtos, serviços e sistemas, essas formas que são expressivas (da semiologia) e coerentes com (estética) suas próprias complexidades”.

“Design diz respeito a produtos, serviços e sistemas compreendidos com ferramentas, organização e lógica introduzidas pela industrialização – não apenas quando produzidos por processos seriais. O adjetivo ‘industrial’ associado ao design deve ser relacionado ao termo indústria em sua significação do setor de produção ou em sua velha significação de atividade industriosa’ [atividade como parte da indústria]. Deste modo, o design é uma atividade envolvendo todo um *spectrum* de profissões no qual todos os produtos, serviços, gráficos, interiores e arquitetura fazem parte. Juntas, essas atividades devem acrescentar – numa maneira associada a outras profissões relacionadas – o valor da vida” (ICSID 2000, apud QUARESMA e MORAES, 2001).

A Confederação Nacional de Indústria (CNI) descreve a concepção mais básica do design que associa-se a valores estéticos, ampliando-se progressivamente tal concepção para abranger outros aspectos, que permitam entender o design como processo criativo, inovador e provedor de soluções a

problemas, de importância fundamental não apenas para as esferas produtivas, tecnológica e econômica, mas também social, ambiental e cultural (CNI 1996 apud BAARS, 2002).

Segundo Bonsiepe (1997), o Design consiste no “domínio no qual se estrutura a interação entre usuário e produto, para facilitar ações efetivas”. Para o autor o design se orienta no sentido da interação entre usuário e artefato. “O domínio do design é o domínio da interface” (Figura 1) (BONSIEPE, 1997).

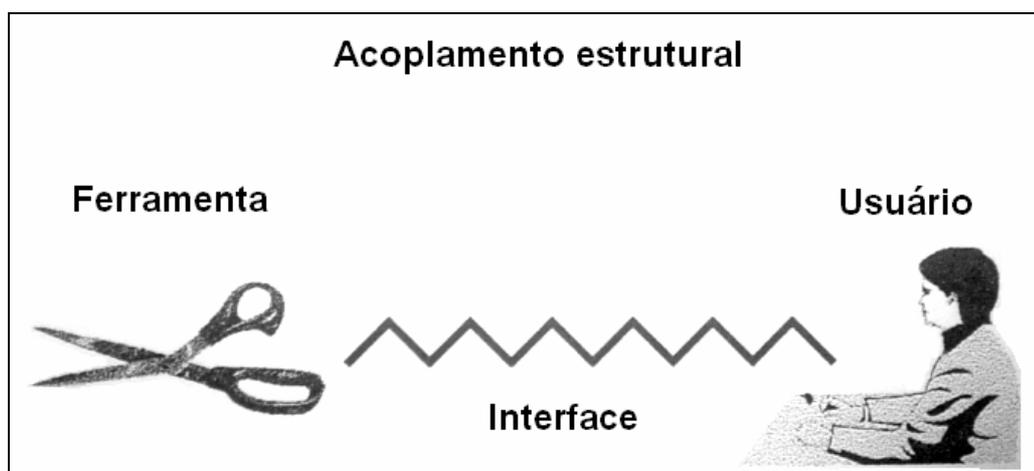


Figura 1: Acoplamento estrutural

Fonte: (Bonsiepe, G.,1997)

“O universo dos produtos industriais é o campo específico de atuação do desenhista industrial. Seu trabalho está mais ligado às partes do produto com as quais o ser humano está ligado operativa ou perceptivamente” (BONSIEPE 1978).

Para o *Internacional Design Center* criado em 1979 na cidade de Berlim, Alemanha, “O bom design não se limita a uma técnica de empacotamento. Ele precisa expressar as particularidades de cada produto por meio de uma configuração própria; ele deve tornar visível a função do produto, seu manejo, para ensejar uma clara leitura do usuário; deve tornar transparente o estado mais atual do desenvolvimento da técnica; não deve se ater apenas ao produto em si, mas deve responder a questões do meio ambiente, da economia de energia, da reutilização, de duração e de ergonomia; deve fazer da relação do homem e do objeto o ponto de partida da configuração especialmente nos aspectos da medicina do trabalho e da percepção” (BÜRDEK, 2006).

Portanto o conceito de design ou desenho Industrial utilizado neste trabalho, utilizando como base as fontes e conceitos descritos pelos autores citados, pode ser entendido como toda atividade ou processo criativo, inovador e interdisciplinar, que se preocupa não somente com os aspectos estéticos, mas também com a relação da interface com o usuário, ergonomia, o impacto com o meio ambiente e sócio-cultural. O design também deve apropriar-se sempre que possível do estado mais moderno do desenvolvimento da técnica para soluções de problemas, sendo um meio facilitador do processo de produção industrial.

2.2.1. Design e Ergonomia

Conforme descrição do *Internacional Design Center* o bom design está intimamente ligado à ergonomia.

Schiavini (2002) comenta que para que o design possa contribuir significativamente com o desenvolvimento de produtos que sejam adequados aos usuários de modo que eles reconheçam e achem satisfatório e prazeroso, primeiramente necessita-se de métodos para entender os usuários e as mudanças que influenciam suas vidas e, para fazer isto, os designers devem entender noções de ergonomia.

YAP (1997 apud QUARESMA e MORAES, 2001) faz a junção das duas disciplinas conceituando ergodesign: “ergodesign é um importante conceito desenvolvido para construir uma ponte e tornar mais eficiente uma interação entre as duas disciplinas. Ergodesign apaga efetivamente as barreiras artificiais entre as duas disciplinas e conseqüentemente melhora sua aplicabilidade no processo de design. A sinergia e simbiose dessa união resultarão numa significativa melhoria da tecnologia da interdisciplinaridade para a criação de produtos, equipamentos e ambientes, em sistemas complexos”.

Ainda segundo Schiavini e Everling (2001), o Desenho Industrial é uma profissão eminentemente técnica e multidisciplinar; a interação com a ergonomia se dá de forma segura e natural principalmente pelo motivo de os cursos de Desenho Industrial no Brasil incluírem disciplinas de ergonomia nos seus currículos, as quais poucos cursos ofereçam em sua grande curricular.

Este fato pode ser evidenciado no 1º ENDI - 1º Encontro de Desenho Industrial, realizado no Rio de Janeiro em 1979, o qual torna a ergonomia disciplina obrigatória nas duas habilitações; projeto de produto e comunicação visual. Este currículo é aprovado pelo Conselho Federal de Educação, em janeiro de 1987 (MORAES, 2001).

Ana Maria de Moraes (2001) explica que a formação da grade curricular com a obrigatoriedade da disciplina de ergonomia nos cursos de Desenho industrial influenciou o grande número de sócios desenhistas industriais da ABERGO (Associação Brasileira de Ergonomia).

Para elucidar a junção do design e ergonomia, a pesquisa de Câmara (2001) feita através de várias visitas em instituições ligadas ao design e a ergonomia em diversos países, procurou compreender como cada uma destas instituições abordava a questão do design e da ergonomia.

O *Instituto Europeu di Design* em Turim, na Itália, por exemplo, considera a ergonomia como parte de um dos seus blocos de formação, oferecida no quarto período do curso de graduação em *Transportation Design* (3 anos de duração). Já o *Royal College of Arts*, em Londres, na Inglaterra, inclui a ergonomia já no primeiro semestre do primeiro ano do curso de Design de Veículos. Importante salientar que ambas as escolas concedem grande ênfase à antropometria aplicada (CÂMARA, 2001).

No Canadá, a escola da província de Québec, a *École de Design Industriel da Université de Montréal*, a ergonomia é subdividida em duas disciplinas, “Usuários, percepção e cognição” e “Saúde, segurança e design industrial”, porém oferecidas como opcionais. O Pratt Institute de Nova York, nos Estados Unidos, oferece a disciplina para seus cursos de Industrial Design, graduação e mestrado, porém com a ênfase anglo-saxônica dos Fatores Humanos (CAMARA, 2001).

Nesta pesquisa, Câmara (2001) também salienta a presença da disciplina ergonomia no DEA (Diploma de Estudos Aprofundados) oferecido como primeira parte do doutorado em Engenharia Industrial pelo Laboratório CPN, na *École Supérieure d'Arts et Métiers*, parte integrante da formação de engenheiros doutores generalistas. Assim como na ergonomia que permeia algumas das teses de doutorado realizadas na *Université de Technologie de Compiègne*, em Sistemas de Engenharia, o estudo das situações do trabalho predominantemente segue a linha francofônica. “Esta aliás é influência notória no Brasil, onde grande parte dos

doutores em ergonomia defenderam suas teses de doutorado nos laboratórios de ergonomia do *Conservatoire National des Arts et Métiers*, em Paris. Salienta-se aqui que estes mesmos doutores foram, por sua vez, os formadores das mais recentes gerações de designers, quando repassaram os conhecimentos adquiridos para as suas instituições no país” (CÂMARA, 2001).

Outros autores também descrevem a importância da utilização em conjunto da ergonomia e design. Para Righi, Santos e Castanha (2005) a ergonomia e o design devem ser inseridas desde a fase inicial de um projeto.

A contribuição da Ergonomia se dá no âmbito da determinação das características da tarefa, articulando os aspectos técnico-funcionais com as potencialidades, limitações e características psico-sociológicas dos operadores. O Design pode contribuir para o alargamento da visão da equipe de projeto, por dispor de método projetual que propicia a integração entre os diversos saberes diretamente envolvidos na tarefa a ser cumprida com a máquina (ou equipamento) objeto do projeto (RIGHI et al., 2005).

Deste modo fica evidente que o design e a ergonomia se completam e devem ser explorados ao máximo.

2.2.2. Design Participativo

O design participativo ou *participatory design* teve suas primeiras iniciativas nos países escandinavos na década de 1970. A princípio as explorações metodológicas se deram com objetivo sociopolítico, com o objetivo de instaurar uma democracia nos locais de trabalho, de modo que fosse reforçada a posição dos operários nas instâncias de decisão (KENSING e BLOMBER 1998 apud FALZON, 2007).

Um dos grandes projetos de destaque daquela época utilizando o design participativo foi o projeto UTOPIA, iniciado em 1981 por Pelle Ehn (OLIVEIRA, 2004).

Ele explorou a idéia de desenhar ferramentas tecnológicas para o trabalho, possibilitando não somente a compreensão do que se faz no trabalho, mas também do porquê é feito. No projeto UTOPIA, foram desenvolvidas várias técnicas, em especial as maquetes (*mock-ups*) para melhorar a comunicação entre os

especialistas (projetistas - designers) e os trabalhadores, com o objetivo explícito de promover a autorização democrática (SPINUZZI, 2002). Estas técnicas promoveram a linguagem comum entre desenhistas e operários, possibilitando aos trabalhadores condições de controlar a introdução de novas tecnologias que seriam utilizadas em benefício próprio (OLIVEIRA, 2004).

Anja Pratschke (2005) descreve que o processo do design participativo principalmente no ramo da arquitetura desenvolveu-se a partir das idéias de negação do exclusivismo do arquiteto e do designer como técnico especializado, renunciando-se à produção e imposição de modelos de comportamento, evocando-se as capacidades criativas dos usuários e o coletivismo.

O design participativo (ASARO, 2000, MULLER, 2003) trata o usuário como verdadeiro especialista do projeto, participando desde o planejamento até a prototipação, pois conhece como ninguém sua rotina de trabalho.

Segundo Fraçoise Darses e Florence Reuzeau (apud FALZON, 2007), o design participativo ou concepção participativa como também é conhecida, se desenvolveu em três eferas: a) participação dos funcionários dos sistemas de produção (de bens ou serviços) nas transformações de seu próprio sistema de trabalho (dispositivos organizacionais e técnicos); b) implicação dos usuários finais no ciclo de desenvolvimento dos produtos, sejam estes produtos manufaturados ou sistemas informáticos e, de maneira mais ampla, c) introdução de atores, cujo ofício não é o de projetistas (terceirizados, manutenção, marketing, compras etc.) nos processos de concepção.

Uma das vantagens e desafios do design participativo é sua capacidade de motivar as pessoas a se envolverem no delineamento do futuro a partir das experiências vividas no passado e no presente. Tendo vivência real da situação, os participantes podem contribuir com propriedade, enfatizando os aspectos que lhe são cruciais (FORESTER, 1999). Entretanto, como os interesses e vivências são diferenciados para cada pessoa, a todo o momento, converge-se ao debate. Por mais que algumas questões fiquem sem fechamento, a síntese do que é discutido é constituída de múltiplas determinações calcadas na realidade, não uma visão idealista (e monolítica) do que poderia ser e ainda não é (VAN AMSTEL, 2008).

A escolha dos participantes como também o tipo de experiências que os mesmos possuem com relação a uma atividade futura baseada na atividade presente, caso deste trabalho, pode facilitar a prática no processo participativo.

“Escolher um usuário é antecipar quanto às competências que esse usuário será capaz de pôr em prática no processo participativo” (DARSES e REUZEAU apud FALZON, 2007).

Segundo Santos (2002), no processo do design participativo, o ideal é que o usuário envolvido no projeto seja o usuário real (usuário detentor da competência específica) ou no máximo seu representante, e quando se fala de representante do usuário entenda-se representante de uma categoria política dentro da organização, e não apenas um perfil de usuário típico.

Outra vantagem do design participativo é citada por Thiollent (1996): “quando as pessoas estão fazendo alguma coisa relacionada à solução de um problema seu, há condição de estudar este problema num nível mais profundo e realista do que no nível opinativo...”. Ou seja, esta metodologia permite resgatar ao máximo o interesse do usuário em resolver o problema e conseqüentemente extrair informações e opiniões muito próximas da experiência vivida e adquirida no decorrer do tempo e da prática do usuário participante, pois ele é um dos maiores interessados em resolver o problema que o permeia.

O design participativo também tem um grande papel auxiliador no desenvolvimento de soluções relacionadas à ergonomia, principalmente no desenvolvimento da primeira esfera do design participativo citada por Fraçoise Darses e Florence Reuzeau (apud FALZON, 2007) relacionada à participação dos funcionários dos sistemas de produção (de bens ou serviços) nas transformações de seu próprio sistema de trabalho (dispositivos organizacionais e técnicos).

Reuzeau (2000) diz que o ergonomista tem a função de construir ação participativa tendo como componentes de sua missão:

- Identificar o problema de concepção por uma confrontação das diferentes competências resultantes das diferentes categorias de usuários;
- Identificar os problemas de concepção relacionando os dados com normas, com regras de ofícios disponíveis;
- Contribuir para determinar a validade dos dados coletados durante o processo participativo;
- Identificar as diferenças de julgamento entre os usuários e resolver os conflitos;

- Preparar recomendações (modificações organizacionais, revisão das planilhas, reformulação dos objetivos, adaptação dos recursos a implementar etc.).

Porém este papel não deve, segundo Fraçoise Darses e Florence Reuzeau (apud FALZON, 2007), privar o ergonomistas ou designer do indispensável olhar independente que ele deve conservar em relação não só às decisões de concepção, mas também em relação aos usuários (participantes): ele deve se manter crítico em relação às opiniões recebidas e sempre consolidar os argumentos que contribuem para decisões.

2.2.2.1. Percepção

Para dar base (sustentação) na construção do projeto, abordaremos o conceito de percepção que se torna um ponto importantíssimo para o entendimento da aplicação da realidade virtual como análise e avaliação ergonômica como também para o processo do design participativo.

Buscaremos elucidar a percepção em dois modelos de abordagem:

- 1) A percepção como ato percebido provocado pela sensação (resposta imediata e fisiológica);
- 2) A percepção como informação processada (resposta retirada de um princípio);

Estes dois modelos de abordagem em sua essência são processados concomitantemente, porém para um melhor desdobramento do projeto serão detalhadas algumas particularidades.

Itiro lida, em seu livro de Ergonomia Projeto e Produção (2005), descreve que a percepção e sensação são etapas de um mesmo fenômeno, envolvendo a captação de um estímulo ambiental e transformando-o em cognição.

Para o primeiro modelo de abordagem, será utilizado os relatos de Itiro (2005) que descreve a sensação como processo biológico de captação de energia ambiental. Essa energia é captada por células nervosas dos órgãos sensoriais, sob forma de luz, movimento, calor, pressão e assim por diante. A energia captada é

convertida em um impulso eletroquímico, que se transmite ao sistema nervoso central, onde pode ser ou não processado causando uma reação.

Quando se fala de percepção, não podemos esquecer que a visão é um dos sentidos mais importantes e complexos do ser humano.

Para compreendermos a percepção, principalmente utilizando o sentido de visão, a teoria criada por psicólogos alemães, “a *gestalt*”, servirá como embasamento.

Esses psicólogos sugeriram que a visão humana tem uma predisposição para reconhecer determinados padrões (*gestalt* significa padrão em alemão) (BAXER, 2000).

Baxter (2000) fala sobre essa predisposição para detectar padrões regulares, que os psicólogos gestaltistas desmembram em três regras: proximidade; similaridade; e continuidade;

Pela regra da proximidade, objetos ou figuras que se situam próximos entre si tendem a ser percebido como um conjunto único. A regra da similaridade propõe que objetos ou figuras que tenham formas ou aspectos semelhantes entre si tendem a serem vistos como um padrão. A regra da continuidade propõe que a percepção tende a dar continuidade, trajetória ou prolongamento aos componentes da figura (BAXER, 2000).

Essas regras auxiliarão a compreensão da reação dos participantes através das sensações e percepções provocadas pela utilização da realidade virtual a qual está intimamente ligada com o sentido da visão.

Enquanto a sensação é um fenômeno essencialmente biológico, o segundo modelo de abordagem trata a percepção envolvendo processamento. A percepção está ligada à recepção e reconhecimento de uma informação, comparando-a com uma informação anteriormente armazenada na memória (IIDA, 2005).

A percepção é o resultado do processamento do estímulo sensorial, dando-lhe um significado. Os estímulos recebidos são organizados e integrados em informações significativas sobre objetos e ambiente. Nesse processo são usadas informações já armazenadas na memória para converter as sensações em significados, relações e julgamentos. Estes significados e julgamentos podem depender também das experiências anteriores e de fatores individuais como personalidade, nível de atenção e expectativas. A mesma sensação pode produzir

percepções diferentes em diferentes pessoas, levando-as a diferentes tipos de decisões (IIDA, 2005).

Esta segunda maneira de abordagem servirá para entendermos como os participantes irão processar a percepção provocada pela situação de simulação, transformando em informações no processo do design participativo.

Na prática, sensação e percepção fazem parte do mesmo fenômeno. Em geral, quando se fala em percepção, ela engloba também a fase preliminar da sensação. Esse é um processo contínuo. O nosso cérebro recebe e processa continuamente as informações do ambiente. Isso ocorre em alguns micro-segundos e nem sempre é um processo consciente, podendo ocorrer automaticamente (IIDA 2005).

2.3. Simulação e Modelagem

A simulação e a modelagem são formas de representação. Ambas são implementadas freqüentemente por meio do computador, embora alguns modelos sejam puramente conceituais e algumas simulações, físicas. As simulações e modelos que envolvem o desempenho humano estão dentro dos interesses dos designers e ergonomistas.

Há uma relação íntima entre simulação e modelagem. As pessoas simulam para observar e dessa observação resulta o ato de modelar. A modelagem é feita para compreender, porém a compreensão pode derivar dependendo do que é modelado. Um modelo pode ser sobreposto em uma simulação para tentar entender o que ocorreu nas entidades internas. O modelo pode ser usado para explicar o que ocorre em uma caixa preta cujas atividades internas não são observáveis.

A simulação é importante para os designers e ergonomistas porque os permite encontrar respostas que poderiam não estar disponível por outros métodos de aquisição de dados e análise. Kirwain e Ainsworth (1992) aplicaram várias técnicas de simulação usadas em uma variedade de contexto, por exemplo, comparando diferentes procedimentos em execução de uma determinada tarefa, ou determinando a reabilitação humana de operadores através de resoluções dos diagnósticos do problema (WOODS et al.,1990).

Whicker e Sigelmam, em 1991, começam a utilizar o computador para interagir na simulação e modelagem. A evolução da simulação foi principalmente uma questão de avanços tecnológicos para fazer os simuladores mais preciso e de representações mais realísticas. Desenvolver simuladores onde a palavra ideal se encaixe em protótipos, isso gera confiança e fidelidade.

Segundo Kinkade e Wheaton (1972) sugerem três tipos de fidelidade:

- 1) Fidelidade de equipamento, ou o grau para o qual o simulador desenvolve o aparecimento e tato de equipamento;
- 2) Fidelidade ambiental, ou o grau para o qual o simulador desenvolve a excitação sensória da situação de tarefa;
- 3) Fidelidade psicológica, ou o grau para o qual a tarefa de simulação é percebida como sendo uma tarefa operacional;

No ponto de vista lógico os simuladores são desenvolvidos para teste e avaliação. Considerando que o simulador é só uma ferramenta, sua validação é estritamente a verificação do propósito para o qual foi desenvolvido. Adams (1979) mostrou que não se pode utilizar uma fidelidade física alta como uma medida de efetividade do simulador. A validação da simulação é especialmente importante para quem desenvolve um produto ou modelo, pois isso pode demonstrar o número de horas gasta em uma atividade real, antes mesmo que o produto comece a ser desenvolvido ou utilizado.

Um modelo comportamental de um sistema é uma representação simbólica das ações executadas nas operações e manutenção daquele sistema. A representação tem que permitir a manipulação de variáveis extrínsecas e intrínsecas para permitir a determinação do efeito computacional. A manipulação das variáveis de um modelo permite prever e controlar os efeitos dos resultados (MEISTER, 1995).

A grande maioria das técnicas de modelagem utiliza os assistentes computacionais, que são ferramentas como Computer Aided Design (CAD) ou Computer Aided Manufacturing (CAM).

Os profissionais que utilizam técnicas de modelagem gráfica tridimensionais tentam modelar dois tipos diferentes de atividade: o que é objetivamente observável - Modelo sólido (Figura 2); e o que objetivamente não é observável - Modelo transparente (Figura 3) ou modelo ampliado (Figura 4).



Figura 2: Modelo sólido

Fonte: Gasperini, R. et al., 2007



Figura 3: Modelo transparente

Fonte: Gasperini, R. et al., 2007

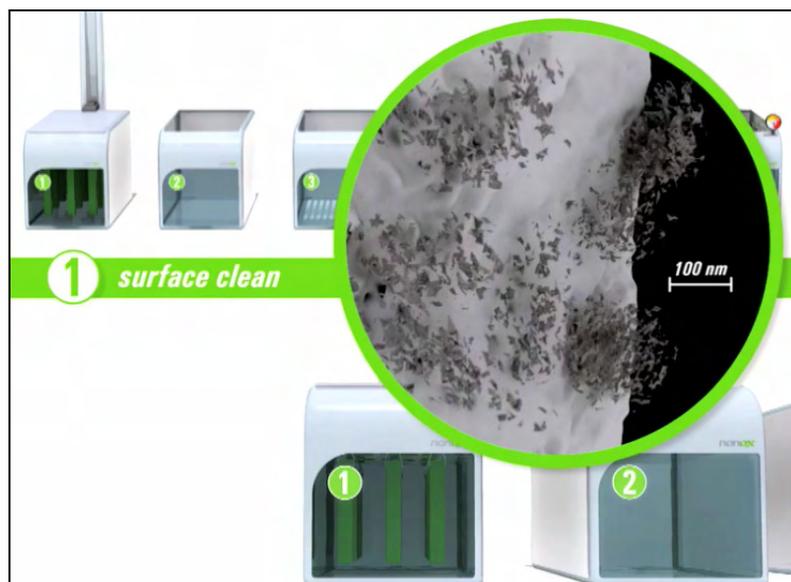


Figura 4: Modelo ampliando – (Tratamento de superfícies).

Fonte: Quiçá Design 2008

Um dos trabalhos executado com este tipo de modelagem ampliada é a animação tridimensional (figura 4) realizada pela empresa “*Quiçá Design*” para a empresa “*Nanox*” que trabalha com nanotecnologia.

Os projetos envolvendo ambientes virtuais, principalmente os de realidade virtual, têm seu ponto de partida em modelos criados em Digital Mock-UP (DMU). O DMU é utilizado para modelagem geométrica que posteriormente será utilizada para a geração dos protótipos virtuais interativos (Figura 5) (GASPERINI et al., 2007).

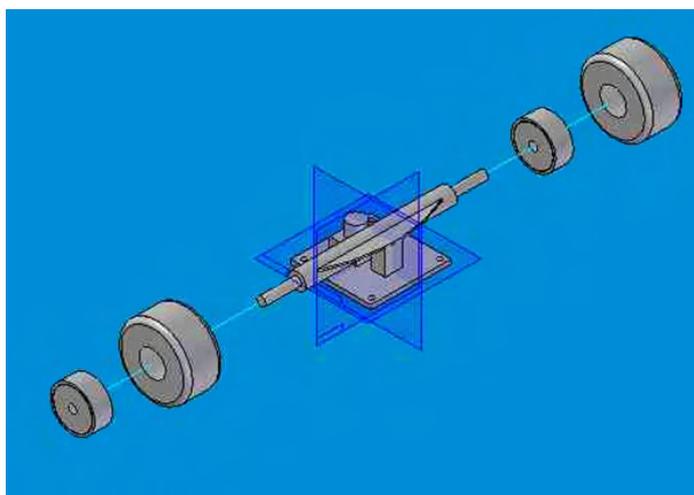


Figura 5: Digital Mock-up (DMU) do truck de skate

Fonte: Gasperini, R. et al., 2007

Neelamkavil (1987 apud MEISTER, 1995) expõe seu ponto de vista quando afirma que o modelar mental é uma das atividades humanas básicas que simplifica o planejamento e a decisão; nós usamos modelos mentais em nossa vida diária para atividades muito comuns. As razões por que são desenvolvidos modelos é muito igual a esses por desenvolver um simulador. Os modelos são necessários quando o sistema atual ou uma simulação física não estiverem disponíveis ou quando os valores de um determinado sistema são desconhecidos.

2.4. Ergonomia e Simulação

A ergonomia e simulação estão intensamente ligadas quando se fala em resolução de um problema relacionado ao trabalho. Esta conexão entre simulação e ergonomia é de suma importância para a assertividade na concepção de um sistema ou dispositivo para a situação de trabalho.

Visto que exista a necessidade de simular a atividade de trabalho para compreendê-la, principalmente quando esta atividade ainda não existe, ou quando as soluções para o problema detectado precisam ser testadas antes de concretizá-la, leva-nos a abordar os tópicos sobre atividade futura e simulação de situações de trabalho para sustentar este trabalho.

2.4.1. Simulação de Situações de trabalho

A simulação, quando realizada para a observação, é uma ferramenta construída para criar situações que possibilitem experimentações com sujeitos humanos, a fim de estudar seu comportamento cognitivo, individual ou coletivo (LEPLAT 1992 apud BÉGUIN E WEILL-FASSINA, 2002).

Segundo Béguin e Weill-Fassina (2002) a simulação pode ter objetivos diferentes:

a) A simulação como banco de teste de uma situação ou de um procedimento visa testar a eficiência, a validar tal ou tal material, a melhorar um dispositivo *a posteriori*, criando para ocasião uma situação que respeite ao máximo possível as características materiais futuras.

b) A simulação como uma dimensão intrínseca da concepção representa um ponto de vista psicológico mais dinâmico sobre funcionalidade. Particularmente, a simulação, ao mesmo tempo em que permite uma exploração do campo das possibilidades, participa do processo de redução de incerteza.

Ainda segundo os autores se considerarmos a construção de uma simulação como processo de substituição em relação ao real, novas tensões podem aparecer na psicologia e na ergonomia, envolvendo o sentido atribuído à complexidade das situações.

Para responder aos objetivos variados de pesquisa, formação ou concepção, as situações de simulação visam reproduzir, o mais fielmente possível uma situação alvo, buscando conservar suas características essenciais.

Por definição dos autores Béguim e Weill-Fassin (2002), quando os objetivos já foram alcançados e os campos de investigação e de ação escolhidos, a simulação realiza sempre a abstração de um conjunto de parâmetros da situação e do sujeito, a fim de estudar, ensinar ou construir, de maneira mais focalizada, as relações dos diferentes componentes do sistema, o que implica a redução da complexidade.

Não sendo situações naturais (reais), a atividade que observamos seria intrinsecamente suspeita. No entanto, a dicotomia entre cognição no laboratório e cognição natural (real), assim como a distinção entre o pensamento teórico e um pensamento prático, e uma sobre-simplificação (ROGOFF, 1984, apud BÉGUIN, 2002). O laboratório (simulação) é uma situação social e culturalmente organizada (NEWMAN, GRIFFIN e COLE 1984 apud BÉGUIN, 2002). Em particular, no laboratório, as tarefas são elaboradas e construídas para uma determinada ocasião; elas contêm em seus enunciados os dados do problema, o que não é habitualmente o caso das situações reais.

Durante a simulação, a transferência consiste em estabelecer uma ligação entre um modelo de referência (a situação simulada) e uma propriedade resultante, que é, no caso da simulação, uma predição (efeito de predizer ou prognosticar). Como descreve Leplat (1992), essa relação entre o modelo e predição é objeto de uma realização. Essa realização só se efetua, seja na situação de simulação, seja na situação real, por causa da atividade. A transferência está então intrinsecamente ligada à atividade do sujeito, à maneira como este define o problema, aos objetivos que persegue na situação de simulação e, finalmente, à significação que constrói.

Partir das significações que o operador constrói na situação de simulação redefine, portanto, os fatores em jogo na relação entre situação de referência e situação de simulação. Pastré (1995 apud BÉGUIN E WEILL-FASSINA, 2002) insiste na importância de uma análise fina da atividade para se construir uma situação de simulação.

Béguin e Weill-Fassina (2002) relatam que simulamos porque nos interrogamos sobre o que não é acessível à observação, seja porque o evento é raro, seja porque ele não é desejável, seja enfim porque ele ainda não existe e deve ser produzido . Segundo os autores, o resultado do pensamento materializado graficamente é submetido a exame crítico, à avaliação e, por vezes, até mesmo à descoberta de novidades. A exteriorização, por submeter às representações a um exame crítico, abre para novos desenvolvimentos de descoberta ou de ajustes interativos.

Ainda segundo os autores, a eficácia da simulação só se realiza em contexto de trocas entre atores: o observador e o observado. O exame crítico das representações externas é submetido a numerosas fontes de distorções: distorção da memória, mas também outras distorções, como as relacionadas às finalidades objetivadas, deste modo é importante a interação do observador com o observado para que esta distorção seja a mínima possível.

Quando a simulação é utilizada pelos designers e ergonomistas na concepção, o desafio consiste em entender as representações do operador com as do projetista e o próprio sistema de produção. Esse aspecto é desenvolvido por Maline (1997).

A simulação consiste nas interações com os operadores que permite uma oportunidade de reflexão (tanto para o pesquisador quanto para o operador), em virtude do distanciamento entre a situação de simulação (tal como o pesquisador propõe compreendê-la) e a situação simulada (tal como o operador a vive durante o exercício de seu ofício) (BÉGUIM E WEILL-FASSINA, 2002).

Para compreendermos as finalidades gerais de situações de simulação, considerando sempre a troca de experiência entre o observador (pesquisador) e observado (operador) utilizar-se-á a descrição de Rogalski (1997), que as classificam em quatro tipos:

- Investigação;
- Concepção;

- Avaliação;
- Formação.

A finalidade de investigação refere-se à geração de diversas resoluções de conhecimentos sobre as situações operativas. Já a finalidade de concepção refere-se à simulação de diversos componentes desenvolvidos para a situação de trabalho, principalmente os de sistemas de máquinas, sistemas de controle de comando e outros instrumentos de organização do trabalho.

A finalidade de avaliação refere-se à utilização da simulação como um instrumento para avaliar essencialmente situações de operação ou para avaliação da formação profissional. E por fim a finalidade de formação que consiste na formação de competências ou aumento da qualidade das atividades das situações alvos. No caso da simulação com finalidade de formação, o desempenho fundamentalmente é do aprimoramento através do conhecimento e habilidade adquirida através da simulação, como por exemplo, os simuladores de vôo para formação de pilotos.

As finalidades de investigação, concepção e avaliação através da simulação, serão utilizadas no desenvolvimento do projeto desta pesquisa, onde a investigação será tratada para gerar resoluções para os problemas encontrados no posto de trabalho, a concepção será utilizada para analisar a propostas de dispositivos sugeridos para minimizar as dificuldades encontradas no posto de trabalho e a avaliação para ponderar o desempenho das situações de operação. As finalidades de concepção e avaliação são praticamente feitas ao mesmo tempo, pois a concepção sugerida através da investigação do problema é utilizada na simulação com o propósito de ser avaliada em conjunto com as situações de operação da atividade de trabalho simulada.

Outra abordagem feita pelo autor (ROGALSKI, 1997) são os tipos de validação da simulação que pode ser dividida em categorias do seguinte modo:

- Validação direta: efetua a comparação de performances das atividades ou das competências de um mesmo sujeito em situação de simulação e em situação real de trabalho.
- Validação indireta: comparam-se os dados (performances e atividades) das situações de simulação com dados análogos obtidos em situações reais.

- Validação comparativa: compara-se a atividade ou o desempenho de situações na formação por simulação com o que é obtido por outras situações num outro tipo de formação.

Para o projeto de pesquisa considerar-se-á a validação direta e indireta, para análise dos resultados.

2.4.2. Atividade Futura e Simulação

A reflexão sobre trabalho futuro traz a discussão que habitualmente os projetistas concebem dispositivos técnicos e determinam os procedimentos de utilização correspondentes. Supõe-se que o trabalho futuro seja um reflexo fiel das tarefas definidas nos procedimentos. Essa hipótese jamais se verifica. Qualquer que seja a situação, o trabalho dos operadores jamais se reduz à “simples” execução de procedimentos (GUERIN et al., 1991). Na verdade, sempre existem numerosas fontes de variabilidade que produzem o distanciamento em relação às situações previstas.

O alvo das simulações é aproximar a atividade futura dos usuários e anotar os problemas que podem se levantados, nos termos da saúde ou da eficiência. Mas um ponto a ser considerado é que os usuários reais e as atividades futuras nem sempre podem ser previstas (DANIELLOU, 2007).

Segundo Daniellou (2007), a função da simulação não é prescrever a maneira direita de executar as tarefas e sim avaliar as possíveis formas da atividade futura e se são aceitáveis de acordo com os critérios ergonômicos. É possível que os usuários reais possam inventar as estratégias de trabalho que não foram antecipadas no curso da simulação. Mas a simulação deve certificar todas as circunstâncias previsíveis, pois há sempre pelo menos uma maneira aceitável de executar as tarefas.

Freqüentemente, decisões de investimentos são tomadas sem um bom conhecimento da variabilidade que existe nos locais de trabalho e das estratégias empregadas pelos operadores. Isto geralmente pode conduzir aos seguintes efeitos: (DANIELLOU, 2002).

- Os operadores devem intervir para regular os incidentes e recolocar em funcionamento os automatismos. Mas suas intervenções, como não foram previstas, acontecem em condições difíceis ou perigosas;
- A manipulação de incidentes degrada a produtividade e o clima social;
- Em certos casos, a segurança é afetada ou surgem ameaças ao ambiente;

O papel dos ergonomistas que participam do processo de concepção, é justamente permitir que, em todas as fases de um projeto, as decisões sejam guiadas por uma reflexão sobre o trabalho futuro.

A variabilidade que existirá nas futuras atividades ou instalações não pode ser prevista unicamente a partir de desenhos ou especificações técnicas. É necessário procurar unidades de produção já existentes que apresentem características próximas às das futuras atividades, para que possa ser observadas a variabilidade real e as estratégias empregadas para enfrentá-la. (DANIELLOU, 2002). Trata-se do que aqui chamamos de “situação de referência”.

As simulações do trabalho futuro podem ser introduzidas à medida que as hipóteses de soluções técnicas vão sendo desenvolvidas.

Daniellou (2002) cita três condições necessárias para a realização das simulações:

- Que haja um levantamento de situações características efetuadas em locais de referência;
- Que existam suportes que representem as futuras instalações (plantas, maquetes, protótipos e software de simulação);
- Que pessoas com competências diversas participem da simulação, principalmente pessoas que tenham competências semelhantes às dos futuros operadores;

Esta três condições são exploradas no projeto de pesquisa.

A terceira condição supõe que o conjunto da intervenção tenha sido objeto de uma construção social, com abrangência representativa do pessoal e dos operadores envolvidos, a fim de que as condições de participação de cada um sejam claramente negociadas.

A simulações procuram identificar: (DANIELLOU, 2002).

- Os deslocamentos prováveis e os problemas de acessibilidade;
- As necessidades de informação, de comandos e de comunicação, além do modo como elas são satisfeitas;
- As competências necessárias ao enfrentamento das diferentes situações;

Segundo o autor, as simulações permitem evidenciar, não só dificuldades possíveis de serem encontradas pelos operadores quando buscam assegurar a produção ou a qualidade, como também os riscos que eles poderiam correr. A abordagem é interativa: a partir da constatação dessas dificuldades, serão propostas modificações no projeto, e novas simulações serão efetuadas.

Daniellou (2002) enfatiza que as simulações não se resumem a perguntar aos operadores presentes sua opinião sobre plantas ou maquetes que lhes são apresentadas, mas também o emprego de métodos precisos para permitir que essas simulações desemboquem efetivamente em uma abordagem realista da atividade futura.

A análise da atividade futura e a pesquisa de situações de referência é peça fundamental para o sucesso e confiabilidade de qualquer tipo de simulação, principalmente para atividades de grande complexidade e que envolva risco de perigo.

2.5. Realidade Virtual

A Realidade Virtual (RV) é uma grande ferramenta computacional que vem auxiliando os designers a simularem idealizações e concepção de sistemas, dispositivos, artefatos e situações de trabalho antes deles existirem fisicamente.

Isto nos leva a crer que muitas simulações que atualmente são executadas com objetos físicos serão simuladas através de sistemas de realidade virtual.

O custo de implantação da tecnologia de Realidade Virtual (RV) permaneceu inacessível por muitos anos. O avanço tecnológico e o crescimento da indústria de computadores fizeram com que a RV deixasse de ser viável apenas para as grandes

empresas e instituições de pesquisa. É possível encontrar *software* e *hardware* de baixo custo para o desenvolvimento de aplicações baseadas nesta tecnologia, que permite simular situações reais em um computador, podendo levar o usuário à sensação de “estar em outro lugar” (MACHADO, 1995).

Antes de comentar as aplicações da realidade virtual é preciso entender seus princípios, funcionalidade e particularidade.

A percepção tratada anteriormente, sobretudo utilizando o sentido de visão, é um dos principais fundamentos para o entendimento da realidade virtual.

Diane Ackerman (1990 apud JACOBSON, 1994) afirma, em seu livro *A Natural History of the Senses*, que 70% dos receptores do sentido humano encontram-se nos olhos, tornando-os os grandes “monopolistas dos sentidos”. A maioria das informações recebidas pelo ser humano tem a forma de imagens visuais, as quais são interpretados por um computador extremamente eficiente, o cérebro. Os computadores digitais, por sua vez, interpretam informações fornecidas por algum dispositivo de entrada de dados, como um teclado, por exemplo. A RV permite que computadores e mente humana atuem de forma cada vez mais integrada (MACHADO, 1995).

Segundo Araújo (1996), o termo Realidade Virtual foi implantado por Jaron Lanier no início da década de 80 para diferenciar as simulações tradicionais produzidas por computadores das simulações envolvendo múltiplos usuários em um ambiente compartilhado.

Outros autores (BURDEA, 1994 e KRUEGER, 1991) afirmam que a RV é uma técnica avançada de interface que permite ao usuário realizar imersão, navegação e interação em um ambiente sintético tridimensional gerado por computador, utilizando canais multi-sensoriais. Ainda outra definição é sobre como acontece a simulação do espaço tempo 4D, isto é, uma animação de pontos de observação apresentada em um contexto interativo e em tempo real. É uma interface que proporciona controles para o usuário manipular e interagir com uma base de dados que é o espaço tempo 4D, incluindo a realidade artificial (espaço virtual) e as entidades (objetos virtuais) que ela contém (ADAMS, 1994). O termo espaço-tempo 4D geralmente refere-se a imagens computadorizadas 3D animadas às quais foi acrescentada a quarta dimensão, que é o tempo.

Na prática, a RV permite que o usuário navegue e observe um mundo tridimensional, em tempo real e com seis graus de liberdade. Isso exige a

capacidade do *software* de definir, e a capacidade do *hardware* de reconhecer, seis tipos de movimento: para frente/para trás, acima/abaixo, esquerda/direita, inclinação para cima/para baixo, angulação à esquerda/à direita e rotação à esquerda/à direita. (VALÉRIO NETTO, 1998)

Em 1965 foi criado o primeiro sistema headmounted transparent 3D display, desenvolvido na Universidade de Harvard pelo pesquisador Ivan Sutherland, conhecido posteriormente como o precursor da realidade virtual (VALÉRIO NETTO e FERREIRA DE OLIVEIRA, 2001).

A RV é freqüentemente confundida com animação CAD (*Computer Aided Design*) ou multimídia. Em comparação com essas tecnologias, a RV é (LESTON, 1996):

- Orientada ao usuário, o observador da cena virtual;
- Mais imersiva, por oferecer uma forte sensação de presença dentro do mundo virtual;
- Mais interativa, pois o usuário pode modificar e influenciar o comportamento dos objetos;
- Mais intuitiva, pois existe pouca ou nenhuma dificuldade em manipular as interfaces computacionais entre o usuário e a máquina.

No final de 1986 a equipe da NASA já possuía um ambiente virtual que permitia aos usuários ordenar comandos pela voz, escutar fala sintetizada e som 3D, e manipular objetos virtuais diretamente por meio do movimento das mãos (MACHADO, 1995). O mais importante é que esse trabalho permitiu verificar a possibilidade de comercialização de um conjunto de novas tecnologias, tornando mais acessível o preço de aquisição e desenvolvimento (PIMENTEL e TEXEIRA, 1995).

A conscientização de que os empreendimentos da NASA poderiam gerar equipamentos comercializáveis deu início a inúmeros programas de pesquisa em RV no mundo inteiro (PIMENTEL e TEXEIRA, 1995). Desde firmas de *software* até grandes corporações de informática começaram a desenvolver e a vender produtos e serviços voltados para R.V. Em 1989 a *AutoDesk* apresentou o primeiro sistema de RV para computadores pessoais (PC) (JACOBSON, 1994).

O avanço das pesquisas na área tecnológica vem melhorando a qualidade dos dispositivos de *hardware*, como capacete de visualização, luvas e óculos mais

leves e com mais recursos, o que contribui para despertar maior interesse dos vários segmentos industriais e aumentar a base de usuários e de aplicações no mundo todo. Da mesma forma, existe uma grande quantidade de *software* disponíveis, com diferentes ferramentas de programação e voltados para diferentes plataformas (VALÉRIO NETTO, 2002). Hoje é possível, com um computador pessoal, construir e explorar ambientes de RV.

2.5.1. Tipos de Realidade Virtual

Segundo os autores Romero Tori, Cláudio Kirner e Robson Siscoutto em seu livro “*Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada*” publicado em 2006 no *VIII Symposium on Virtual Reality* em Belém descreve que a realidade virtual pode ser considerada como a junção de três idéias básicas: imersão, interação e envolvimento.

A idéia de imersão está ligada com o sentimento de se estar dentro do ambiente, utilizando assim capacetes e salas de projeções tridimensionais, já a interação está ligada com a capacidade do computador detectar os estímulos do usuário e modificar instantaneamente o mundo virtual e as ações sobre ele (capacidade reativa). A idéia de envolvimento, por sua vez, está ligada com o grau de motivação para o engajamento de uma pessoa com determinada atividade (TORI et al., 2006)

Tomando como base a caracterização da RV classificaremos nesta proposta de pesquisa em dois tipos: realidade imersiva e não imersiva.

A Realidade Virtual Imersiva (RVI) é baseada no uso de capacete e de salas de projeções nas paredes (Figura 6), foco da pesquisa da dissertação, enquanto a realidade virtual não imersiva (RVNI) baseia-se no uso de monitores (Figura 7).

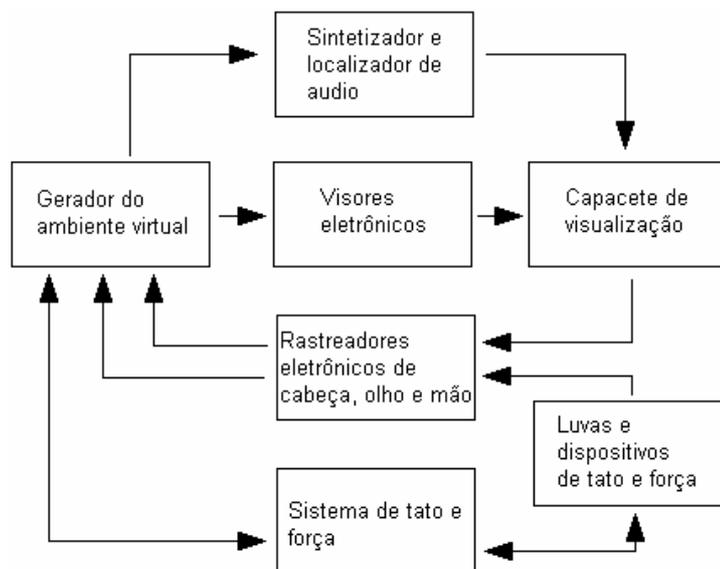


Figura 6: Estrutura do sistema R.V. imersivo

Fonte: Adaptação de Kalawsky, 1993

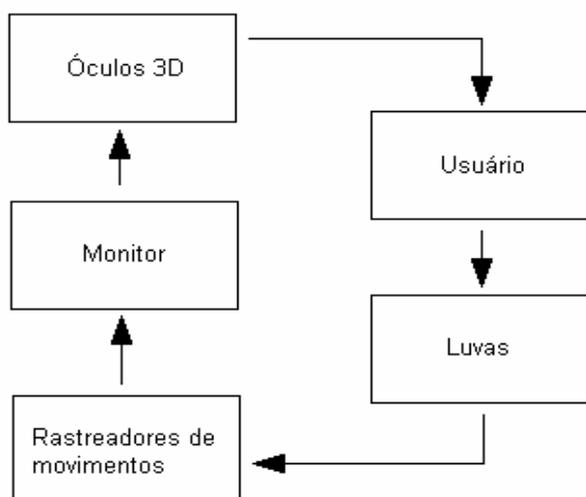


Figura 7: Estrutura do sistema R.V. não imersivo

Fonte : Adaptação de Kalawsky, 1993

Embora o uso de capacetes tenha evoluído e seja considerado típico, a realidade virtual com monitor apresenta ainda assim alguns pontos positivos como: utilizar plenamente todas as vantagens da evolução da indústria de computadores; evitar as limitações técnicas e problemas decorrentes do uso de capacete e facilidade de uso.

Em alguns casos, como visualização, por exemplo, a realidade virtual com monitor é aceitável, mas com a evolução da tecnologia da realidade virtual a tendência será a utilização de capacetes ou salas de projeções para a grande

maioria das aplicações, principalmente em empresas que disputam um mercado altamente competitivo, onde a velocidade de respostas no desenvolvimento de novos produtos é de suma importância.

A experiência da interação produzida pela estereoscopia, uma das técnicas utilizada no desenvolvimento da RV está possibilitando descobertas de sensações e visões pouco exploradas no passado, mas que atualmente está mais acessível no mercado devido à evolução computacional.

A estereoscopia é uma técnica óptica baseada na visão humana. Esta técnica aplicada a representações gráficas permite aos indivíduos ter a sensação de profundidade, volume e interação com objetos gráficos. Isto só é possível pelo fato do ser humano possuir dois pontos de visão em uma mesma direção, baseado um em cada olho em uma distância média de 6,5cm a 7cm. Estas imagens são processadas pela mente humana, juntando-as e formando uma única imagem, dando a sensação de profundidade e volume (Figura 8).

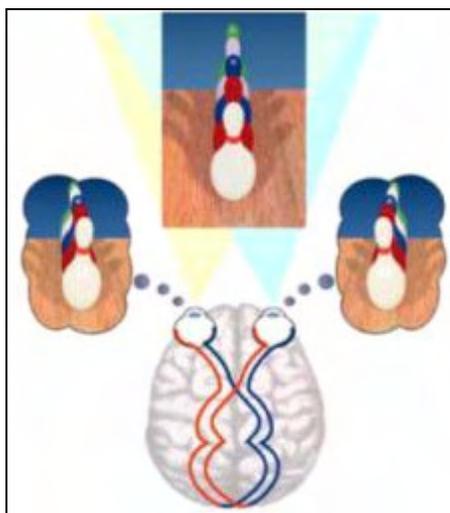


Figura 8: Efeito estereoscópico

Fonte: Raposo A.B. et al. 2004

Segundo Maschio (2008), a estereoscopia vem ganhando aplicações e incrementos tecnológicos, colocando-se no rol dos conhecimentos que merecem atenção, pois pode se tornar uma alternativa de material didático e ferramenta de ensino. Além disto, está possibilitando abrir novos campos de atuação para os designers, artistas, cineastas, já que se trata de forma de representação gráfica (seja ela estática ou animada) inovadora, além de servir como ferramenta de trabalho e pesquisa tecnológica para outras profissões, como Engenharia e Medicina. A

estereoscopia é a base da realidade virtual atualmente aplicada em empresa de alta tecnologia.

O sistema de projeção de imagem estereoscópica atualmente utilizado em modelagem gráfica tridimensional, consiste em projetar duas imagens sobrepostas em um mesmo espaço gerado em pontos de vistas diferentes, simulando os olhos humanos. As imagens estereoscópicas modeladas com o auxílio de computadores podem ser visualizada através de duas técnicas: estéreo passivo e estéreo ativo. A classificação destas duas técnicas depende do tipo de óculos utilizado.

O estéreo passivo que consiste na utilização de óculos anáglifos tem a função de filtrar as imagens projetadas. Esta técnica (Figura 9) é baseada na filtragem de cores feita pelos óculos anáglifos que têm a função de filtrar as duas imagens sobrepostas, uma para cada olho.

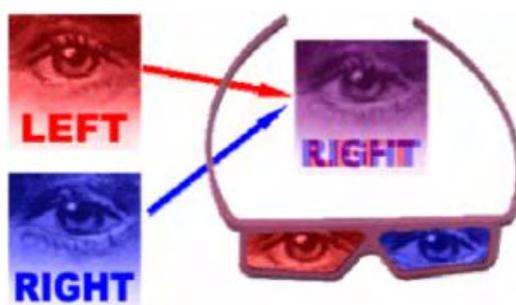


Figura 9: Estéreo Anáglifo

Fonte: Raposo A.B. et al. 2004

No estéreo ativo, o princípio básico é o mesmo, porém são utilizados óculos obturadores (Figura 10) que filtram as freqüências das imagens projetadas pelo projetor, ou seja, o projetor emite sinais sincronizados para cada uma das lentes dos óculos que bloqueiam as imagens do olho esquerdo para o direito e vice-versa, separando as imagens sobrepostas.



Figura 10: Exemplo de Óculos obturadores (*Shutter Glasses*)

Fonte: Valério A.V. e Oliveira, M. C. F. 2001

A vantagem do estéreo ativo para o passivo é a superioridade da qualidade da imagem, porém tem a desvantagem do preço elevado. Por outro lado, o estéreo passivo também tem suas vantagens como: aplicação da técnica em imagens impressas, baixo custo e uso de apenas um monitor ou projetor. A desvantagem desta técnica é a perda da qualidade de cores.

A RV através da estereoscopia pode ser aplicada em análises biomecânica. Esta técnica vem auxiliando os designers e engenheiros a visualizarem formas tridimensionais mais realistas e, conseqüentemente, expressivas para a análise biomecânica (figura 11).

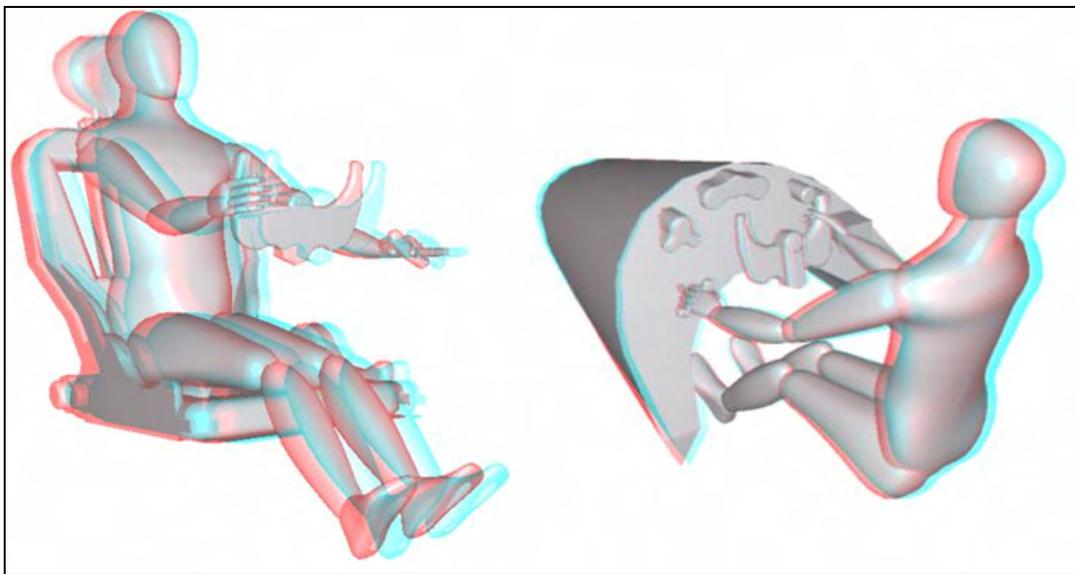


Figura 11: Análise biomecânica

Segundo Valério Netto (2002) as principais vantagens da prototipação virtual são:

- Redução de tempo: o parâmetro tempo é um dos mais importantes fatores, pois é o que diferencia os competidores;
- Diminuição de custos: os protótipos virtuais podem reduzir a necessidade de protótipos físicos, isto possibilita uma diminuição no tempo de desenvolvimento e do trabalho humano empregado no projeto, bem como da quantidade de ferramentas e materiais;
- Melhoria da qualidade: a aplicação de diferentes alternativas para um projeto pode ser realizada mais rapidamente, permitindo uma melhoria

da validação das soluções apropriadas que satisfaça os parâmetros especificados pelo cliente, com um menor custo.

Uma das técnicas mais utilizadas atualmente em Realidade Virtual é a captura de movimento, também chamada de *Motion Capture* (MoCap) (SILVA, 1998) a qual é utilizada para efetuar animações de manequins virtuais. Esta técnica também pode ser conhecida como Sistema de Captura e Análise de Movimento (SCAM) (Pinheiro, 2008).

Ainda segundo Pinheiro (2008) as aplicações de um Sistema de Captura e Análise de Movimento (SCAM) pode ser classificada em três grupos:

- 1 - Vigilância;
- 2 - Controle;
- 3 – Análise.

As aplicações de vigilância podem ser compreendidas como os sistemas de captura de movimentos de pessoas e objetos que são monitorados automaticamente em ambientes naturais tais como lojas e aeroportos. Já as aplicações de controles são utilizadas nos sistemas de controle homem-máquina e de interfaces de jogos. Este tipo de controle vem sendo utilizado também no desenvolvimento de filmes e animações cinematográficas. E por fim tem-se a aplicação do SCAM que é utilizado para análise em biomecânica e ergonomia.

Kuhn e Gomes (2005) citam o desenvolvimento de um protótipo de softwares de captura de movimento que vem auxiliando o grupo de pesquisa de ergonomia da Universidade Regional de Blumenau (FURB) nas análises de postura e movimento de pessoas.

Geralmente, o personagem virtual (Figura 12) é modelado com estruturas articuladas, que consiste em um conjunto de objetos rígidos conectados por articulações. Estas articulações formam o vínculo geométrico entre os objetos, permitindo o movimento entre eles (KUHNS e GOMES, 2005).

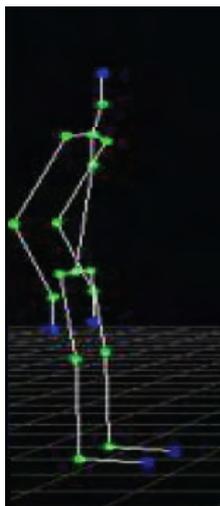


Figura 12: Estruturas Articuladas
 Fonte: Adaptado de Kuhn e Gomes 2005

O processo de captura de movimentos consiste de forma geral, na fixação de sensores em pontos de articulação do corpo humano capturados por câmeras de vídeo que são repassados para o computador através de softwares específicos. Este tipo de processo também é conhecido como captura de movimentos através de dispositivos óptico-eletrônicos. Os sensores são responsáveis por informar através de modelos matemáticos (interface com o computador) os pontos exatos das articulações e conseqüentemente as informações sobre o movimento que o manequim virtual irá executar (Figura 13).

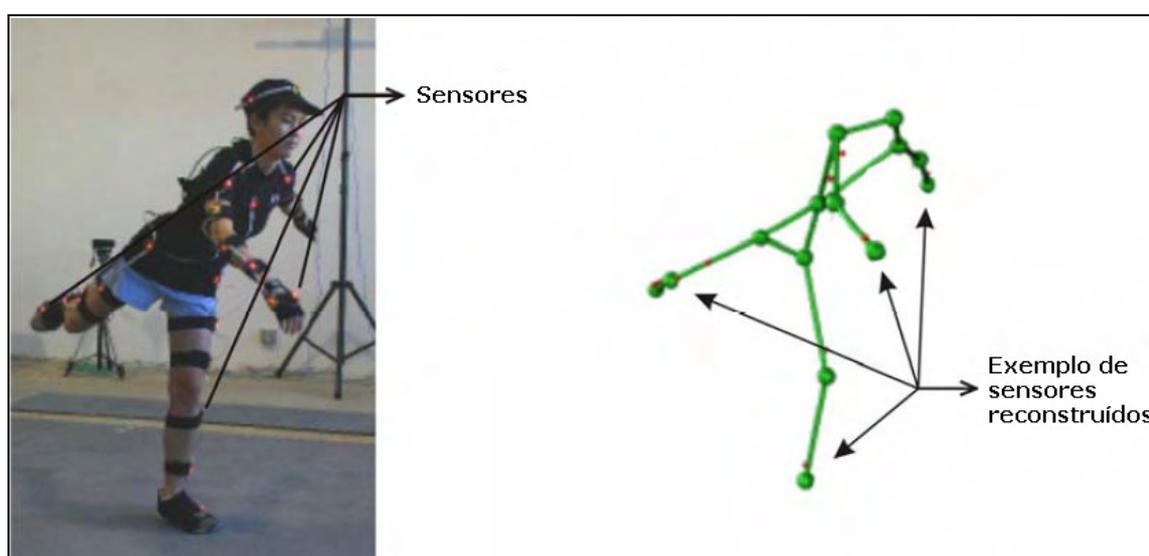


Figura 13: Reprodução de captura de movimento através de sensores
 Fonte: Adaptado da Figura 2.12 (Pinheiro, 2008)

No sistema tridimensional, cada sensor deve ser visualizado por no mínimo duas câmeras em um mesmo intervalo de tempo. Este processo permite a reconstrução das coordenadas dos sensores em três dimensões. As imagens capturadas dos sensores em ângulos diferentes produzem a técnica da estereoscopia.

Segundo Sutherland (2002), a maioria dos SCAMs comerciais de grande “visibilidade” utilizava dispositivos óptico-eletrônicos e sensores para reconstruir o movimento. “Dentre os principais sistemas, pode-se destacar a inglesa Vicon (www.vicon.com); a italiana BTS (www.bts.it) e as norte-americanas Qualisys (www.qualisys.com) e Motion Analysis Corporation (www.motionanalysis.com). Estas últimas utilizam câmeras infravermelhas em seus sistemas que operam em frequências superiores a 140 quadros por segundo, podendo chegar até 500. São sistemas que possibilitam a operação em tempo real, com até 256 marcadores (sensores) e 32 câmeras operando simultaneamente” (PINHEIRO, 2008).

Porém estes sistemas geram algumas limitações que podem inviabilizar o seu uso. Geralmente estes sistemas exigem ambiente altamente controlado devido a terem hardware dedicado e câmeras altamente especializadas que restringem sua portabilidade, ou seja, existe uma grande dificuldade na utilização destes equipamentos em ambientes naturais.

Outra tecnologia muito utilizada atualmente dentro da realidade virtual é a realidade aumentada.

Milgram e Drasic (1996 apud LOPES, 2005) descrevem em seu trabalho que entre o ambiente real e a RV existe uma faixa conhecida como Realidade Mistura (RM), na qual a visão do mundo real é combinada gradativamente ao modo de visão do ambiente virtual. A realidade aumentada está inserida dentro do contexto mais amplo chamado de Realidade Misturada (RM) (KIRNER apud TORI, 2006)

A Realidade Aumentada (RA) fornece uma classe de padrões de vídeo que realça o acréscimo de informações, fornecendo uma sensação de envolvimento, adicionando elementos virtuais ao ambiente real (LOPES, 2005). As combinações entre o ambiente real e a realidade virtual pode ser entendida na figura 14.

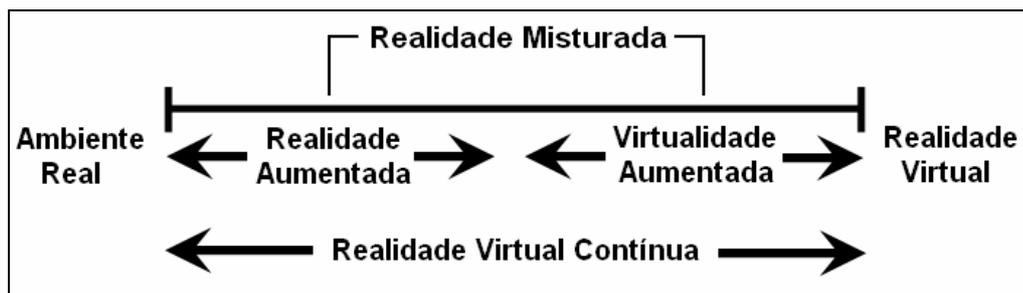


Figura 14: Representação da progressão da RV (Realidade Misturada)

Fonte: Milgram e Drasic, 1996

Diferentemente da RV, que transporta o usuário para o ambiente virtual, a realidade aumentada mantém o usuário no seu ambiente físico e transporta o ambiente virtual para o espaço do usuário (figura 15), permitindo a interação com o mundo virtual, de maneira mais natural e sem a necessidade de treinamento ou adaptação. (TORI et al., 2006).

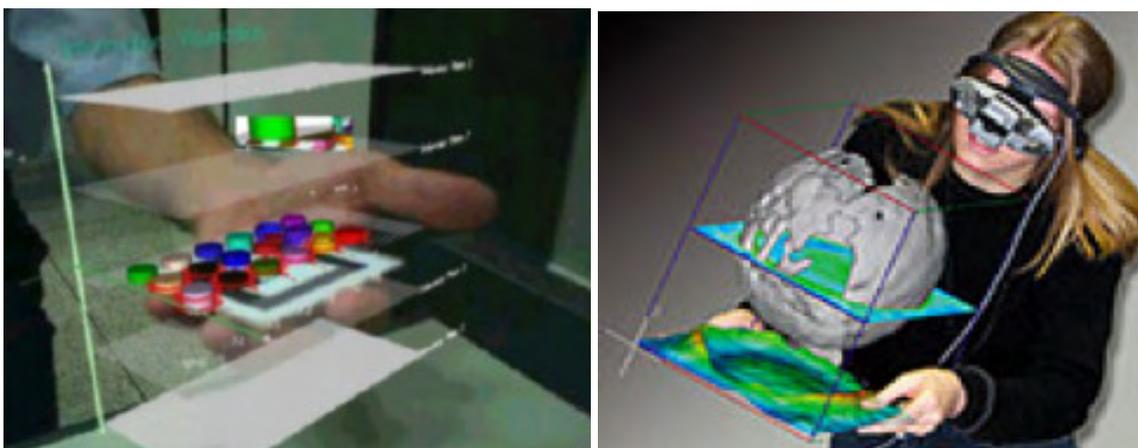


Figura 15: Realidade aumentada

Fonte: Adaptado (TORI, 2006) e (COSTA, 2009)

A Realidade Aumentada se caracteriza quando o ambiente real é complementado com imagens geradas por computador e por meio de equipamentos como HMD que possibilita a visualização de imagens em qualquer local especificado (LOPES, 2005)

Segundo os autores Claudio Kirner e Romero Tori (2006), a RV e a RA permitem ao usuário retratar e interagir com situações imaginárias, como os cenários de ficção, envolvendo objetos reais e virtuais estáticos e em movimento.

Da mesma maneira que a realidade virtual, a realidade mista pode ser aplicada as mais diversas áreas do conhecimento, em muitos casos com as vantagens adicionais por potencializar os ambientes reais. A realidade aumentada pode ser usada para visualizar comportamentos de uma simulação, colocados no ambiente físico do usuário. Para isto, a simulação é usada para fazer com que os objetos virtuais tenham comportamentos apropriados, como movimentação, colisão, reação, simulação física etc. (TORI et al., 2006).

Como relata Fründ (2003 apud FERNANDES E SANCHES, 2008), na indústria automotiva são usadas variedades de métodos para a análise ergonômica do interior dos veículos como, por exemplo, simulações de conforto e ergonomia, análise de acessibilidade dos comandos do painel, dos pedais, do volante, dos assentos, etc. Este processo leva muito tempo e tem muitos custos porque os testes ergonômicos são feitos geralmente em protótipos, que são os modelos do interior do carro cuja forma normalmente não tem nada em comum com o interior real do carro.

Com o uso da RA, o novo interior pode ser sobreposto em um carro convencional para permitir a análise dos aspectos de conforto e ergonomia (Figura 16). Assim é possível analisar uma grande variedade de interiores dentro de um carro real, o que permite economizar tempo e dinheiro (FERNANDES E SANCHES, 2008).



Figura 16: Aplicação da RA na indústria automotiva

Fonte: Fernandes e Sanches, 2008

Segundo Azuma (2001 apud TORI, 2006) as aplicações da realidade aumentada e misturada podem ser agrupadas em três áreas: aplicações móveis, aplicações colaborativas e aplicações comerciais.

Atualmente a RA é muito utilizada para treinamentos, inspeções e aplicações na área da medicina (AZUMA, 2001).

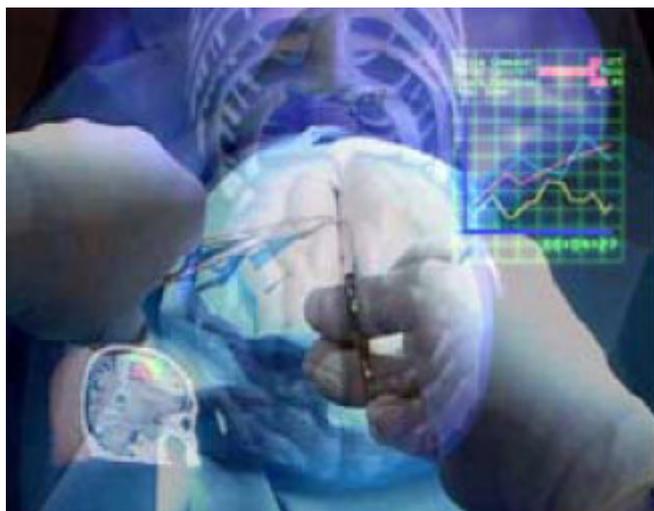


Figura 17: Aplicação da RA em treinamento na área de medicina

Fonte: Valério Netto, 2001

A realidade aumentada que recentemente vem ganhando espaço e mais contato com usuários devido a sua mobilidade de aplicação fora de laboratório, ganha um papel de destaque para pesquisadores de várias áreas, porém atualmente poucas referências são publicadas na literatura a respeito da aplicação dessa ferramenta na área de ergonomia e as poucas publicadas se concentram em relatar a ergonomia e usabilidade dos produtos de hardwares como os HMDs, luvas, capacetes e outros dispositivos do próprio sistema.

Este fato indica que existe um potencial de novas pesquisas da aplicação da realidade aumentada na área da ergonomia, especificamente no que tange à aplicação da análise de postos de trabalho, que atualmente é pouco explorada.

2.5.2. Realidade Virtual e Ergonomia

A usabilidade da Realidade Virtual tem atraído interesse de vários profissionais ligados à ergonomia. Segundo Wilson (1999), este fato se torna de fácil

compreensão, pois os sistemas virtuais permitem efetuar várias análises como testes de biomecânica para o alcance e o acesso, re-configurações de postos de trabalho, verificação de funcionamento de sistemas, procedimentos de emergência e treinamento para tarefas industriais e comerciais.

Uma aplicação importante citada por Wilson (1999) é a utilização da RV por meio da ergonomia participativa. Esta aplicação ajuda a re-projetar dispositivos e locais de trabalho com auxílio dos próprios participantes. Esta técnica do processo participativo discutida anteriormente é uma das fundamentações da dissertação.

Ainda segundo o autor, a RV permite explorar os ambientes que normalmente não estão disponíveis aos participantes, executar comportamentos que geralmente não são possíveis pelo motivo de o ambiente real não estar pronto, interagir em tempo real com respostas rápidas com dispositivos virtuais, explorar pontos de vista diferentes (visão do observado e do observador) e visualizar conceitos das idéias que ainda estão em desenvolvimento.

Um estudo realizado na Itália envolvendo a FIAT e a Politécnica di Milão permitiu explorar a aplicação da RV na análise de aspectos ergonômicos, principalmente referente ao conforto sentido pelos motoristas de veículos. Esta pesquisa contou com a colaboração dos pesquisadores Giuseppe Andreoni, Giorgio Santambrogio, Marco Rabuffetti e Antonio Pedotti, os quais empregaram a técnica de captura de movimentos através de sensores ópticos eletrônicos em conjunto com sensores de pressão para coletar dados das regiões de contato entre o motorista (usuário) e o assento (ANDREONI, 2002).

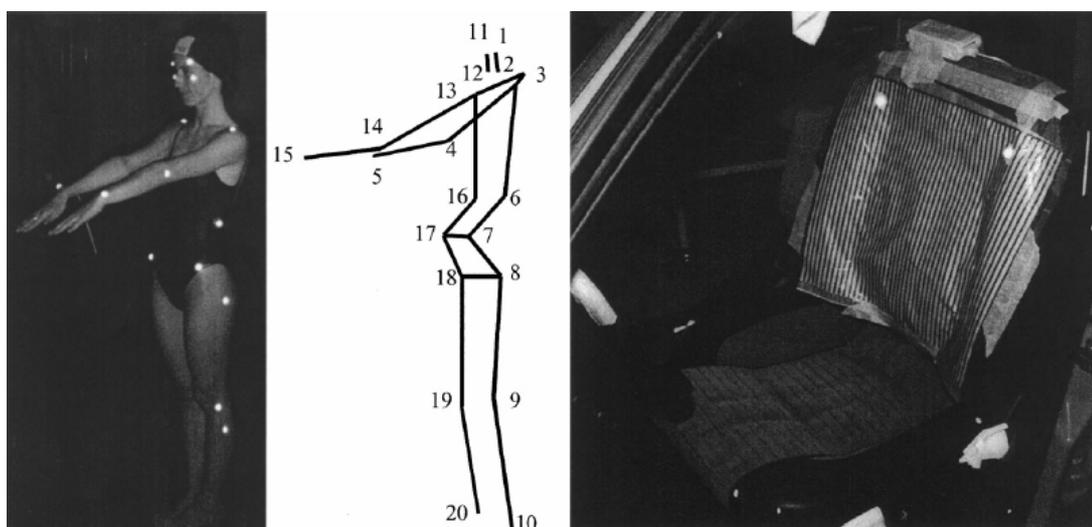


Figura 18: Aplicação de Captura de Movimento em conjunto com sensores de pressão

Fonte: ANDREONI et al., 2002

Este trabalho demonstrou que a RV pode ajudar a entender o conforto sentido pelos motoristas. Isto foi possível através da análise dos desvios de postura (biomecânica) executado pelo manequim virtual e região pressionada do corpo capturada pelos sensores de pressão. A experiência conseguiu levantar um mapa de desconforto por regiões do corpo de acordo com posicionamento do manequim no assento.

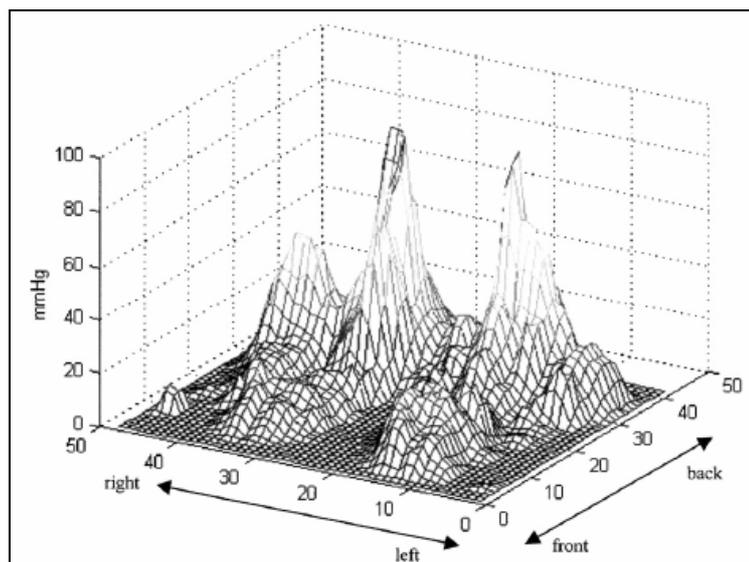


Figura 19: Mapa de pressão conforme região do corpo

Fonte: ANDREONI et al., 2002

Andreoni (2002) relata que a pesquisa proporcionou um grande potencial no desenvolvimento de uma nova ferramenta que possa integrar a RV através da captura de movimentos (manequim virtual 3D) com os dados do mapa de pressão e assim prever a relação de conforto do assento já no desenvolvimento do projeto das prototipações virtuais do produto.

Vallério Netto (2002) também cita a aplicação de ambientes virtuais para estudos de ergonomia na indústria automobilística. O veículo planejado pode ser exibido e avaliado como se fosse real. Além disto, com a execução de simples comandos pode-se realizar modificações que permitem comparações entre os projetos de ergonomia. Também existe a possibilidade de estudar os efeitos de ofuscamento e de reflexo sobre instrumentos do console que são relevantes para a ergonomia (VALLÉRIO NETTO, 2002).

A fábrica da Ford Motors em Dearborn, Michigan, criou um dos mais sofisticados ambientes tecnológicos virtuais para projeto e engenharia de

automóveis, a divisão CAVSE (*Core & Advanced Vehicle System Engineering*). Essa divisão utiliza a RV para simulação e prototipação virtual, tendo como principais pontos de pesquisa a aerodinâmica, a ergonomia e o modelo da superfície do protótipo do veículo a ser construído (BLANCHARD apud VALÉRIO NETTO, 2001).

Existem também ambientes virtuais utilizados para estudos de ergonomia e design de interiores, e para estudos de instalação de componentes dentro dos veículos. Dessa forma, muito do detalhamento do design de interiores pode ser realizado antes do veículo ser criado. Os usuários podem avaliar a visibilidade e o posicionamento dos instrumentos, enquanto estão sentados exatamente onde os assentos foram planejados para o veículo (VALLÉRIO NETTO, 2002).

Segundo o autor, existem ambientes interativos e imersivos para processos de montagem e desmontagem de produtos ou de parte deles (*Packaging Studies*) que permite avaliar montagens e manutenção por meio de critérios de engenharia, ergonomia e eficiência em um tempo menor e com a oportunidade de testar várias alternativas até chegar ao ideal desejado. (VALLÉRIO NETTO, 2002).

Outra aplicação muito utilizada na realidade virtual são os manequins digitais para análise de posturas e acesso. Landau (2000 apud Lämkuull, 2007) descreve que a maioria dos usuários dessa ferramenta está na área industrial. Exemplos são as indústrias automotiva e aeroespacial que utilizam esta técnica para visualizar e analisar a interação humana com os produtos ou local de trabalho.

Os manequins digitais mais conhecidos e aplicados nessas áreas segundo Lämkuull (2007) são “*Jack*” (BADLER, 1993) e “*Ramsis*” (SEIDL, 1997) e mais recentemente o “*Human*” do Software CATIA.

Gill e Ruddle (1998) estudaram a utilização do modelo virtual humano, investigando a integração do seres humanos virtuais em ambientes de trabalho. Este estudo utiliza uma análise do pacote do software *Jack*, onde mostram os benefícios gerais de uma avaliação ergonômica através de modelos humanos virtuais. O ser humano virtual é um modelo biomecânico exato do ser humano. Estes modelos contidos dentro do software imitam inteiramente os movimentos humanos permitindo ao analista identificar e estudar os aspectos ergonômicos.

Lämkuull (2007), em sua experiência realizada na *Volvo Car Corporation* na Suécia, explica que a utilização dessa ferramenta (manequins digitais) permite a visualização de variáveis como: postura do corpo, a acessibilidade como o espaço para os braços e mãos, o alcance, o campo de visão, e a interação com as

ferramentas. O estudo dessas variáveis proporciona a base para avaliação e tomada de decisão com relação às intervenções ergonômicas.



Figura 20: Utilização de manequins digitais

Fonte: Adaptação de LÄMKULLI et al., 2007

Engelbrektsson e Söderman (2004 apud LÄMKULL, 2007) dizem que a enorme evolução das ferramentas CAD e da realidade virtual podem ajudar a tornar mais realistas as avaliações através de simulações.

Para ser ter uma avaliação aceitável por meio de ambientes virtuais, Lämkuull (2007) diz que é preciso ter conhecimentos e habilidades sobre as ferramentas CAD e ergonomia, além também de um bom conhecimento das características do processo ou produto que está sendo projetado.

Ainda segundo o mesmo autor, a utilização de grupos multidisciplinares como ergonomistas, projetistas, planejadores, engenheiros, designers e os próprios trabalhadores pode facilitar a simulação como também deixá-la mais confiável. (LÄMKULL et al., 2007).

Outra referência da aplicação da realidade virtual para avaliação ergonômica pode ser encontrada na indústria aeroespacial *Boeing*.

Richard Gardner (2007), ergonomista da *Boeing*, pesquisou maneiras de aplicar a tecnologia da realidade virtual e modelos humanos digitais para executar atividades e avaliações ergonômicas.

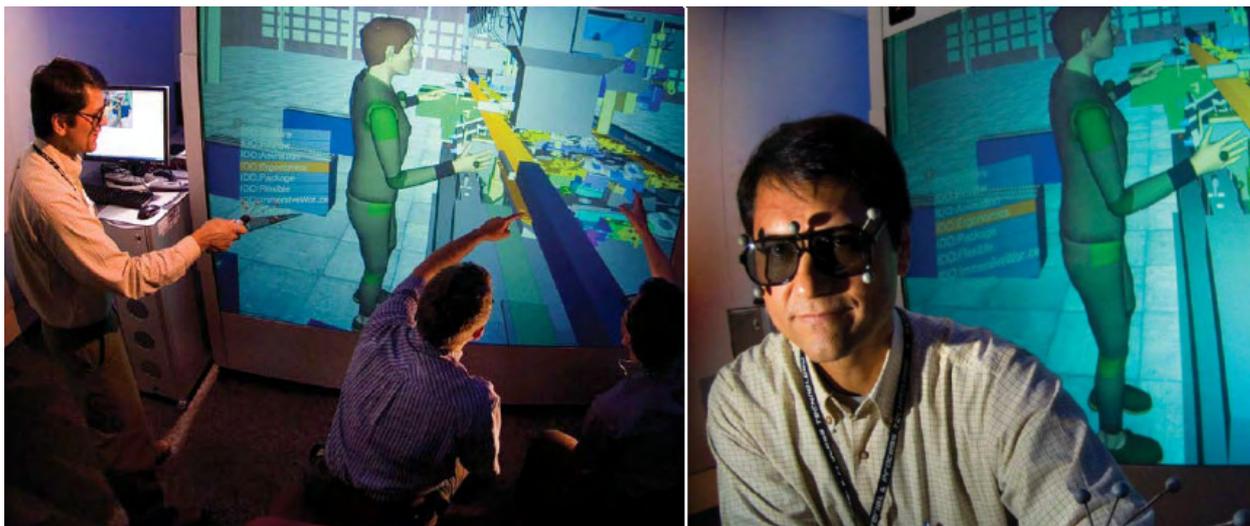


Figura 21: Realidade Virtual na Boeing

Fonte: Rich Gardner – Magazine Challenger, 2007

Ele utilizou o laboratório de tecnologia em realidade virtual de Everett, em Washington.

Neste laboratório foram utilizados óculos estereoscópicos para visualizar as imagens em 3 dimensões (3D) em conjunto com sensores de movimento que podiam ser controlados em tempo real em uma tela digital.

Esta prática, segundo Gardner (2007), permite imergir em ambientes virtuais os projetos e as situações com problemas no processo de fabricação. Esta imersão possibilita avaliar acessos, alcances e posturas biomecânicas, tornando mais rápido o processo de resolução dos problemas sem a necessidade de construir modelos físicos gigantescos e caros. Este fato se torna muito relevante principalmente na indústria aeroespacial que utiliza processos de fabricação de peças muito grandes.

Ainda segundo Gardner (2007), a realidade virtual permite descobrir e tratar os problemas que só poderiam ser descobertos após o início da produção, estágio em que se torna mais difícil executar as mudanças.

Outro estudo sobre RV é citado por Reis (2007), que estudou a busca de soluções para um módulo simulador de vôo de operação em realidade virtual, com ênfase nos problemas ergonômicos evidenciados que envolvem as interações imersivas físicas e virtuais. Este projeto destacou o relacionamento do humano com o ambiente virtual; a realidade virtual exige soluções próprias, não apenas para simular uma situação real, mas por caracterizar-se em uma interação que efetivamente ocorrerá com um ambiente próprio, que é físico e virtual

simultaneamente, gerando estímulos sensoriais e percepções singulares. A literatura relata distúrbios orgânicos em simuladores de vôo por conflitos desta natureza. Náuseas são comuns em pilotos experientes que são mais propensos a esse distúrbio do que usuários que nunca pilotaram uma aeronave real, em razão de aqueles estarem mentalmente condicionados a esperar esforços corpóreos como respostas a determinadas atitudes de vôo (REIS, 2007).

Contudo, o desenvolvimento da pesquisa no que se refere ao design de simuladores de movimentos em realidade virtual demonstra que, nesta área, muito ainda deve ser alcançado, sobretudo quanto aos aspectos ergonômicos, pois que se está avançada no enfoque da engenharia, concentrada nos aspectos de viabilização mecânica, eletrônica e de software, no que concerne à interação humana, foco dos estudos em design e ergonomia, carece de profundidade científica e tecnológica para o favorecimento da imersão em RV (REIS, 2007).

Reis (2007) cita que um equipamento de simulador de vôo com RV dificilmente poderá reproduzir os esforços a que os pilotos se submetem em vôos reais com igual intensidade, porém, em razão da gama de movimentos possíveis, antecipa-se com estes resultados o alcance da reprodução de esforços que possam, através da configuração de movimentos utilizando apenas a força gravitacional, corresponder mais proximamente às percepções e reações vivenciadas na realidade.

Outra pesquisa muito relevante na área da realidade virtual e ergonomia são apresentadas pelo grupo de pesquisa do Departamento de Engenharia Industrial da Universidade Estadual de Wichita, no Kansas, em 2004, coordenado pelo professor Lawrence Whitman (2004). Este trabalho pesquisou a utilidade da realidade virtual para análise ergonômica, comparando os resultados de esforços de experiências executadas em uma ambiente virtual e real. A pergunta da pesquisa é direcionada para responder se a realidade virtual é uma ferramenta apropriada para executar análises ergonômicas (WHITMAN, 2004).

O objetivo principal da pesquisa foi estabelecer uma analogia entre as tarefas físicas executadas no mundo real e no mundo virtual. A base para esta comparação foi uma tarefa de manipulação do material manual que fosse realizada dentro do ambiente real e virtual.

O experimento contou com um sistema de captura de movimento com sensores ópticos (Figura 22), um monitor de movimento lombar (*LMM - Lumbar*

Motion Monitor) (Figura 23), e um display visual com captura de movimento de cabeça (*HMD - Head Mounted Display*).

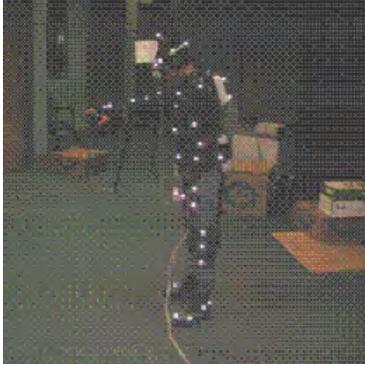


Figura 22: Captura de movimentos
Fonte: Whitman, et al., 2004



Figura 23: Monitor de movimento Lombar
Fonte: Whitman, et al., 2004

Os dados gravados pelo LMM consistem na posição, na velocidade, e nos perfis da aceleração em todos os três planos, no sagital, no transversal e nos planos coronais (MARRAS et al., 1992). Já o HMD contém duas telas de LCD montado em um capacete de modo que sejam fixas na linha do olho do portador (BOWMAN et al., 1999). O HMD permite visualizar o mundo virtual de modo a orientar as posições dos objetos. Um HMD pode oferecer ao usuário imagens para ambos os olhos (biocular) ou imagens diferentes a cada olho (estereoscopicamente). Um dos desafios para análise ergonômica utilizando o HMD é o atraso de tempo das atualizações das imagens. O sistema acoplado na cabeça (HMD) precisa detectar, medir e atualizar a posição da cabeça e das mãos de acordo com os movimentos. Este atraso pode atrapalhar o usuário no momento de se orientar e definir onde estão os objetos.

O procedimento adotado pela equipe do professor Whitman (2004) refere-se a um estudo experimental analisando duas situações diferentes. A primeira situação consiste em analisar a tarefa de mover e colocar 3 caixas de uma mesa com a altura de 15 polegadas para uma outra mesa de mesma altura (figura 24).

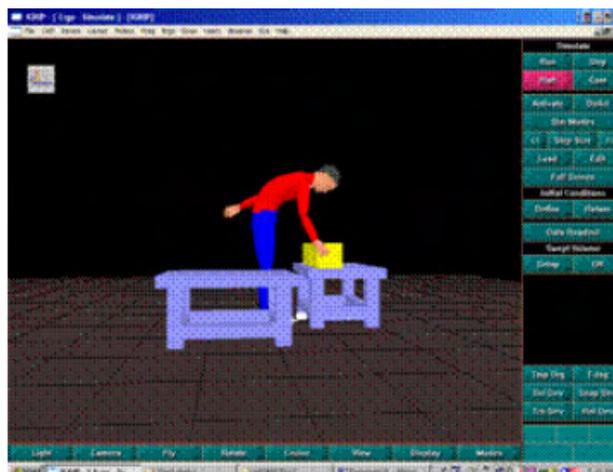


Figura 24: Movimentação das caixas com mesas de mesma altura

Fonte: Whitman, et al., 2004

A segunda situação trata da movimentação das caixas de uma mesa com a altura maior de 38 polegadas para a mesa de 15 polegadas (Figura 25).

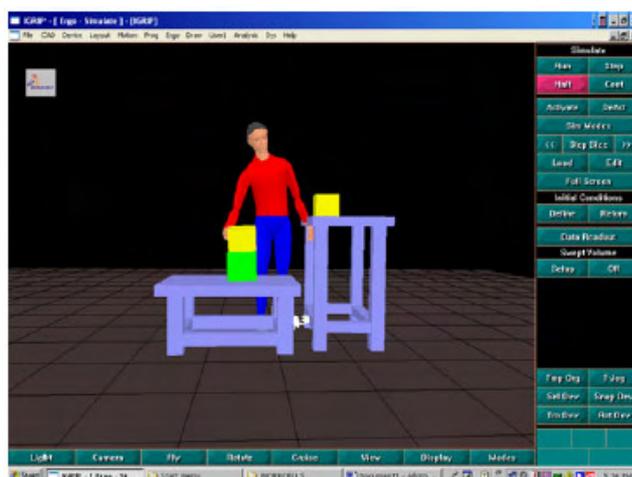


Figura 25: Movimentação das caixas com mesas de diferentes alturas

Fonte: Whitman, et al., 2004

Ambas as circunstâncias experimentais foram executadas primeiramente no ambiente virtual e depois no ambiente real. Tanto na experimentação virtual como na real o sujeito estava com o monitor de movimento lombar (LMM).

Os dados colhidos do LMM para análise estática continham nove variáveis: escala lateral; escala sagital; ângulo de torção; velocidade lateral máxima; velocidade sagital máxima; velocidade máxima da torção; aceleração lateral máxima; aceleração sagital máxima e aceleração máxima da torção;

O experimento mostrou que houve uma diferença significativa entre o ambiente virtual e real com relação à velocidade e aceleração. Um exemplo dos resultados completos para a velocidade sagital é mostrado na tabela 1.

Tabela 1: Resultados para Velocidade Máxima Sagital. Fonte: Whitman, et al., 2004

Caixas	Meio (grau/seg)		Desvio Padrão (grau/seg)		95% Confiabilidade de intervalo para os diferentes meios		P Valor
	RV	Real	RV	Real	Limite Baixo	Limite Superior	
Caixa 1	11,97	27,35	5,14	9,66	-20,953	-9,794	<0,05
Caixa 2	10,28	22,89	4,62	8,87	-17,16	-8,067	<0,05
Caixa 3	10,94	25,64	5,17	8,02	-19,773	-9,636	<0,05

Porém para as séries de dados que correspondem à escala lateral máxima, escala sagital máxima e o ângulo de torção máximo, foi observado que não havia nenhuma diferença expressiva nos dados entre ambiente virtual e o real. Um exemplo dos resultados completos para a escala sagital é mostrado na tabela 2.

Tabela 2: Resultados para a Escala Sagital Máxima. Fonte: Whitman, et al., 2004

Caixas	Meio (grau/seg)		Desvio Padrão (grau/seg)		95% Confiabilidade de intervalo para os diferentes meios		P Valor
	RV	Real	RV	Real	Limite Baixo	Limite Superior	
Caixa 1	25,59	24,36	7,32	7,92	-2,915	5,358	0,535
Caixa 2	18,29	14,14	8,71	6,17	-0,354	8,652	0,068
Caixa 3	16,86	16,63	7,14	6,32	-3,37	3,821	0,894

Segundo Whitman (2004), a tarefa experimental executada em RV não é comparativa a uma similar tarefa experimental no ambiente real que envolve velocidades e acelerações. Isto é evidente porque o participante se move mais lentamente no ambiente virtual em comparação ao ambiente real. Assim o participante gira, dobra-se e se torce lentamente para sincronizar seu ritmo com o movimento visto no HMD.

Porém tarefas experimentais em RV relacionando somente a amplitudes de movimentos sem nenhuma medição de velocidade e aceleração podem ser comparadas a uma tarefa similar realizada no ambiente real (WHITMAN et al., 2004).

3. JUSTIFICATIVA

A elevada busca da excelência no desenvolvimento de produtos e processos vem obrigando as empresas e instituições a se tornarem centro de pesquisa tecnológica.

Esta busca por excelência torna a pesquisa relevante, pois é grande a procura de novas tecnologias como a realidade virtual na aplicação de análise de resoluções de problemas, com o intuito do ganho de tempo e eficiência.

Um sistema de realidade virtual envolve estudos e recursos ligados à percepção, hardware, software, interface com usuário, fatores ergonômicos e aplicações de análises. Esta ferramenta vem sendo aplicada em vários ramos do mercado e em diversas atividades, desde jogos para entretenimento, ramo no qual esta ferramenta vem sendo mais explorada devido à atração provocada pelo envolvimento do usuário como também para simulações de treinamentos.

O fato de que a RV pode ser uma ferramenta de grande valia para os designers, principalmente no processo de soluções que ainda estão em fase de desenvolvimento, como prognóstico de atividades futuras ou postos de trabalhos que requerem estudos e intervenções ergonômicas antes de serem executadas fisicamente, justifica a pesquisa sobre esta ferramenta (RV).

Porém poucos estudos são publicados com relação à aplicação desta ferramenta para análise ergonômica especificamente em postos de trabalho.

O motivo dessa escassez de publicação pode ter duas vertentes:

- a) Os grandes centros tecnológicos que detêm esse tipo de tecnologia são instituições privadas como várias referências citadas no capítulo anterior que não têm interesse de publicar seus resultados seja por motivo de segurança de inteligência industrial ou simplesmente por dar abertura pública de dados que podem ser utilizados em processos judiciais relacionados à ergonomia;
- b) O outro motivo é que os estudiosos em ergonomia, principalmente os designers e engenheiros, ainda estão iniciando suas experiências com relação à aplicação dessa ferramenta (RV) para análise ergonômica em postos de trabalho, causando pouca base de discussão para o entendimento dessa importante ferramenta.

Desse modo, o trabalho busca aumentar a base de pesquisa pouco explorada como também compreender melhor a aplicação da RV na área da ergonomia.

A realidade virtual pode ter limitações na análise ergonômica, como também grandes potencialidades. As limitações podem depender de cada tipo de atividade executada pelo ser humano, podendo ser aplicada até uma certa etapa no desenvolvimento do produto ou processo.

Um dos exemplos desta limitação é o estudo feito pela Universidade Estadual de Wichita, no Kansas, em 2004, onde o professor Whitman em conjunto com sua equipe demonstrou que a aplicação da realidade virtual para a análise ergonômica relacionando velocidade e aceleração pode ter diferenças expressivas em relação à atividade no ambiente real.

Contudo o desenvolvimento da realidade virtual demonstra que, nesta área, muito ainda deve ser alcançado, principalmente quanto ao desenvolvimento tecnológico de hardware e software o qual é estimulado pela grande velocidade no desenvolvimento da eletrônica e informática.

Uma das potencialidades da realidade virtual é a utilização dessa ferramenta em conjunto com a técnica do design participativo sendo possível, então, explorar a experiência e percepção de vários sujeitos com várias habilidades e funções diferentes, tornando mais rica a análise ergonômica.

Outro potencial é a facilidade e rapidez de modificar ambientes e artefatos no posto de trabalho virtual permitindo várias análises em um curto período de tempo.

Segundo Valério Netto, (2002), são várias as potencialidades da utilização da RV:

- Projetar máquinas que podem ter suas propriedades estruturais e funcionais avaliadas e testadas;
- Desenvolver uma ergonomia funcional e confiável sem a necessidade de construir um modelo escala real;
- Garantir que os equipamentos fabricados estejam dentro das normas estabelecidas por órgãos governamentais;
- Facilitar operações remotas e controle de equipamentos (tele-manufatura e tele-robótica);
- Desenvolver e avaliar processos que assegurem a manufatura, sem produzir de fato o produto em escala comercial;

- Desenvolver planos de produção e itinerários, e simular se esses estão corretos;
- Educar empregados em técnicas avançadas de manufatura, com ênfase, principalmente, em segurança no trabalho.

É preciso, portanto, entender quais as limitações e potencialidades da realidade virtual aplicada à análise e avaliação ergonômica. A compreensão dessa ferramenta poderá auxiliar os profissionais que trabalham com ergonomia como os designers e engenheiros.

Esta referência sobre a aplicabilidade da realidade virtual em ergonomia justifica o desenvolvimento desta pesquisa, pois existem poucas pesquisas efetuadas neste sentido como também poucas pesquisas efetuadas com situações reais de trabalho em empresa com esta tecnologia, o que poderá proporcionar um ganho de tempo na decisão do desenvolvimento de produtos e processos, tornando mais precisa e confiável a análise ergonômica, principalmente para atividades futuras, como também aumentar a base de discussão da aplicação desta ferramenta na área acadêmica.

4. PROPOSTA DA PESQUISA (OBJETIVO)

4.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar as potencialidades e limitações da utilização da Realidade Virtual Imersiva (RVI) como ferramenta de análise e avaliação ergonômica por meio do design participativo.

Para isto, este estudo contou com o auxílio de uma empresa de alta tecnologia onde foi executado o experimento especificamente em uma atividade de um posto de trabalho de grande complexidade.

O objetivo compreende aplicar a RVI em uma análise ergonômica de uma atividade já existente que necessita de intervenções ergonômicas de grande complexidade. Esta análise foi feita aplicando possíveis soluções para os problemas com auxílio de um grupo de sujeitos selecionados (DARSES e REUZEAU apud

FALZON, 2007) de acordo com as habilidades ligadas à atividade estudada. Este experimento tem como ponto principal entender a realidade virtual aplicada à ergonomia.

Com relação à avaliação ergonômica, o principal aspecto a ser considerado é a real eficiência comprobatória da simulação, a fim de “agilizar” etapas no desenvolvimento de soluções (ferramentas, artefatos e processos). Esta vantagem proporcionada pela RV de eliminar ao máximo as etapas de desenvolvimento de modelos físicos para avaliação entre o processo de idealização e a construção do modelo final é um dos pontos a ser levantado nesta pesquisa que é de grande relevância principalmente para os designers de produto.

Também é importante salientar que este estudo tem como objetivo ser utilizado como referência para definir até onde os analistas terão que executar um modelo físico para efetuar uma análise, ou onde eles não terão a possibilidade de testar situações críticas fisicamente, como simulações de alta periculosidade ou complexidade.

Outro fato importante neste trabalho é a extração da experiência dos sujeitos envolvidos através do processo do design participativo, o que é muito importante para o design, principalmente em projetos de grande complexidade e que envolvem várias pessoas no processo final.

Portanto, o experimento objetiva explorar os sucessos e limitações da realidade virtual imersiva aplicada na análise e avaliação ergonômica por meio do design participativo.

4.2. Objetivo específico

- Levantar referências para sustentar a discussão da realidade virtual aplicada à ergonomia;
- Aplicar a Realidade Virtual Imersiva (RVI) para analisar a atividade de um posto de trabalho de alta complexidade e assim encontrar possíveis soluções para os problemas encontrados;

- Aplicar o processo do design participativo (DP) em conjunto com a realidade virtual a fim de explorar ao máximo as experiências e habilidades dos sujeitos envolvidos;
- Comparar as situações realizadas entre o ambiente real (físico) e o virtual;
- Validar a melhor solução proposta para a atividade analisada;
- Verificar a percepção dos participantes a respeito da aplicação da realidade virtual.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento desta pesquisa ocorreu em um Centro de Realidade Virtual (CRV) de uma empresa de alta tecnologia.

Trata-se de uma pesquisa experimental, desenvolvida através de raciocínio indutivo, com dados colhidos através da metodologia de amostra de grupo de foco (IIDA, 2005) com participação de 7 sujeitos através de um questionário de percepção com medidas subjetivas resultado de um observação formal.

Foi aplicado o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) (APÊNDICE A), pelo qual o responsável pela pesquisa informou aos participantes a espécie do experimento e que seria realizado de forma voluntária (não remunerada), sendo apontados todos os procedimentos e que não estariam sujeitos a nenhum tipo de desconforto e/ou risco, concedendo liberdade para que deixassem de participar da pesquisa a qualquer momento.

5.1. Sujeitos

Foram selecionados como sujeitos para a pesquisa, 7 colaboradores de uma empresa de alta tecnologia, sendo 6 sujeitos do sexo masculino e 1 sujeito do sexo feminino, com idade média de 29 anos.

A importância da seleção, conforme Darses e Reuzeau (apud FALZON, 2007), está baseada nas atividades e funções exercidas pelos sujeitos dentro dessa empresa conforme abaixo:

Dois operadores que realizam a atividade na prática (ambiente real) para efetuar a simulação em ambiente virtual;

Uma supervisora de produção responsável pela atividade estudada;

Dois técnicos de processo responsáveis pelo processo da atividade estudada;

Um engenheiro de processo responsável pelo processo da atividade estudada;

E um técnico de segurança do trabalho.

Todos os participantes detinham conhecimento básico sobre ergonomia e receberam as informações sobre objetivo da pesquisa e instruções relativas ao experimento.

5.2. Materiais

5.2.1. Equipamentos

O experimento contou com um Centro de Realidade Virtual (CRV) imersivo. O CVR (Figura 26) é equipado com sistema óptico-eletrônico de captura de movimentos e um telão de 2 metros de altura por 6 metros de largura onde são projetadas as imagens auxiliadas por software com sistema CAD CAM.



Figura 26: Centro de Realidade Virtual

Fonte: Revista Bandeirantes 2008

Os equipamentos utilizados neste experimento foram:

- Sistema óptico-eletrônico de captura de movimento;
- Um software de sistema CAD CAM CATIA versão 5;
- Um (HMD) visor tridimensional acoplado na cabeça com captura e atualização de movimento instantâneo;
- 39 sensores ópticos;
- Uma roupa especial utilizada para fixar os sensores ópticos;
- 6 câmeras com infravermelho de captura de movimentos;
- Um hardware de alta velocidade para calcular e atualizar os movimentos capturados pelas câmeras infravermelhas;
- 2 computadores de alta velocidade de processamento;
- Um óculos obturador;
- Um bastão com sensores ópticos para calibração do sistema;
- Uma trave de metal (material de apoio);
- Uma cadeira.

O software CATIA versão 5, contém um módulo de simulação humana conhecido como “*Human*” (figura 27). Este módulo possui um manequim digital que permite simular várias posturas e movimentos como também visualizar o campo de visão desse personagem digital.

Segundo Lopes (2004) o módulo “*Human*” do software Catia mostra-se eficiente e rápido com relação à análise ergonômica da tarefa.



Figura 27: Módulo “Human” do software Catia

Fonte: Adaptado de Lopes (2004)

Este módulo foi integrado ao sistema de captura de movimento possibilitando a análise de postura e movimento em tempo instantâneo. Essa técnica é possível através da captura de movimentos com as câmeras de infravermelho e os sensores ópticos (figura 28).



Figura 28: Sensores ópticos e câmera infravermelha

Fonte: Adaptado da figura 2.13 (Pinheiro 2008)

5.2.2. Protocolo

O experimento é baseado nos graus de participação (Tabela 3) praticado no design participativo adaptado de Falzon (2007).

Tabela 3: Graus de participação praticados no design participativo

Fonte: Adaptado de Damodaran, (1996), Jessen, (1997) e Reuzeau, (2000) apud Falzon (2007).

Graus	Modalidade	Atividades
Grau 1	Informar	Informar os operadores dos planos de ação decididos pelo gestor do projeto.
Grau 2		Coletar informações e experiência dos usuários.
Grau 3	Consultar	Recolher as opiniões e sugestões dos usuários sobre as ações em curso.
Grau 4	Decidir	Negociar com os usuários em comitês formalizados.
Grau 5		Co-concepção e decisão conjunta entre as diferentes partes implicadas.

Foram desenvolvidos dois protocolos (questionário de percepção) usados na abordagem onde foram registrados os dados coletados (APÊNDICE A). O protocolo apresenta uma capa com o nome da pesquisa, o termo de consentimento na primeira folha, e as questões nos restante das folhas. No cabeçalho foram inseridos a identificação da empresa e o título desta pesquisa.

Na parte superior do questionário foram registrados os dados de identificação dos sujeitos: nome, idade, gênero, turno de trabalho, função/cargo, tempo na empresa, tempo na função. Logo abaixo da identificação do questionário foi adicionada a legenda da escala subjetiva.

Na parte central foram registrados os dados através de perguntas relacionando à atividade simulada com os tópicos: Biomecânica, posto de trabalho, percepção, interação e controle, e manejo.

Para o primeiro questionário de percepção elaborado para os sujeitos observadores (6 sujeitos) as perguntas continham uma escala subjetiva entre -3 a 3 divididas em sete perguntas e uma pergunta com grau de importância.

No segundo questionário elaborado para o sujeito que utilizou o sistema de realidade virtual imersiva também havia uma escala subjetiva entre -3 a 3 dividida em cinco perguntas, uma pergunta com grau de importância e uma pergunta aberta.

No final do questionário foi registrada a concordância de cada sujeito relacionada às várias opções de soluções proposta na simulação para resolver o problema no posto de trabalho.

5.3. Método

5.3.1. Preparação para o experimento

Durante a preparação para o experimento o sujeito (colaborador da empresa) vestiu a roupa especial para fixar os sensores ópticos (figura 29). Após vestido foram instalados os sensores nas principais articulações do sujeito de modo que o sistema pudesse captar os movimentos da melhor forma possível, ficando o mais próximo do movimento humano no ambiente real. Também foi adaptado o HMD (capacete com visor tridimensional com sensor de movimento) (figura 30) de forma a ajustar o capacete na linha da visão do sujeito.

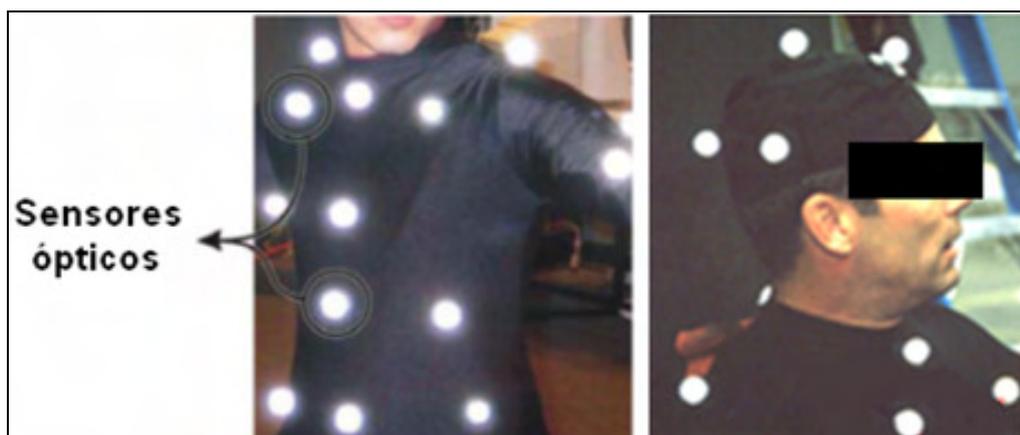


Figura 29: Roupa especial para fixação dos Marcadores (sensores)

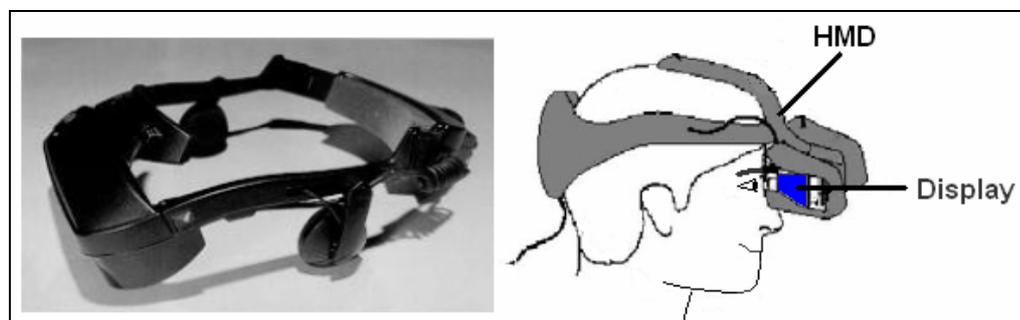


Figura 30: HMD – Head Mounted Display

Fonte: Adaptado Tori (2006)

Todo início de captura de movimento deve-se seguir o procedimento de calibração do sistema, que neste experimento contou com um bastão com sensores ópticos.

Este bastão tem a função de calibrar a captura das câmeras infravermelhas como também visualizar e delimitar o campo de ação da simulação. (figura 31).

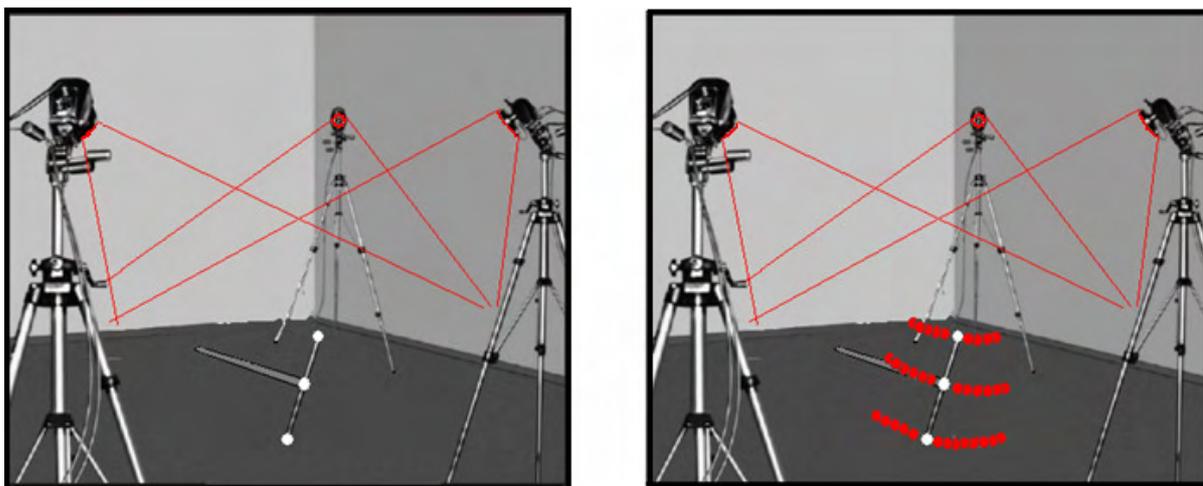


Figura 31: Bastão de calibração de captura de movimentos

Depois de calibrada as câmeras e definido o alcance (delimitação), foi executado um teste de captura de movimento para verificar o movimento das “estruturas articuladas” (Kuhn e Gomes 2005) o qual fará interface com o módulo “Human” do CATIA (Figura 32).

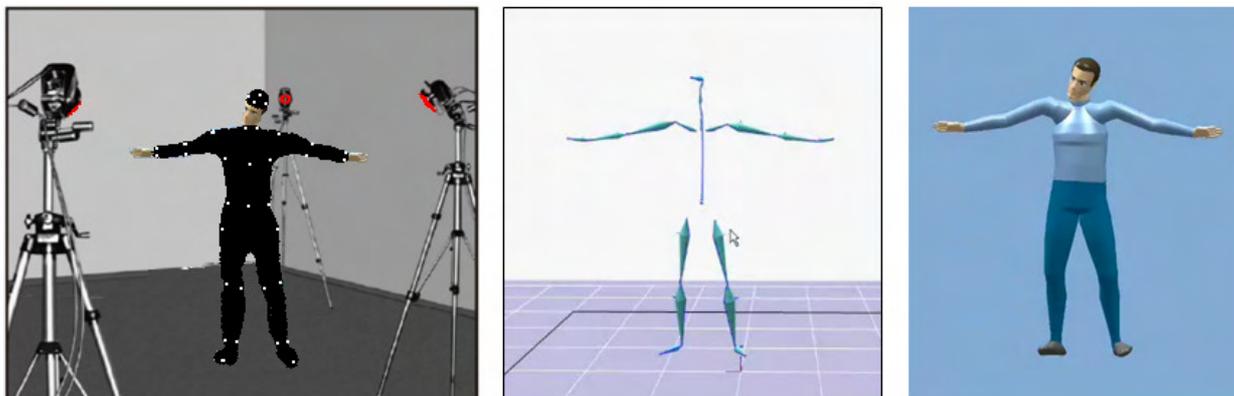


Figura 32: Teste de movimento das estruturas articuladas

Segundo Pinheiro (2008), os sensores têm a função de estimar o movimento, pois é através deles que são fornecidas para o computador a posição e orientação

das principais articulações ou parte do sujeito. Esta interface pode ser compreendida na figura 33.

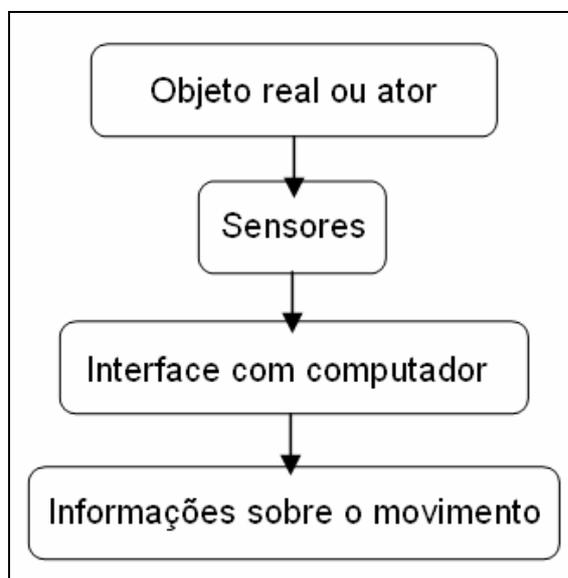


Figura 33: Ilustração genérica do sistema de captura de movimentos

Fonte: Adaptado da Figura 2.2 (Pinheiro 2008)

Enquanto era preparado o sujeito para o experimento e calibrada as câmeras para captura dos movimentos, a equipe do CRV preparava o ambiente virtual através da reconstrução do DMU (Digital Mock-UP) do produto já existente em ambiente real (objeto de estudo da atividade a ser analisada).

A reconstrução do DMU também foi executada através do software CATIA V5 que contém o módulo do “*Human*”.

5.3.2. Procedimentos experimentais

Os ensaios foram desenvolvidos pelas seguintes etapas:

- 1 – Seleção da amostragem dos participantes baseada nas atividades e funções exercidas pelos sujeitos dentro da empresa;
- 2 – Reunião na empresa com a equipe participante do projeto, onde foi explicada toda a metodologia para o experimento;
- 3 – O grupo é conduzido ao Centro de Realidade Virtual (CRV) para iniciar o experimento;

4 – Dentro da sala de simulação do CRV, um dos operadores que executa a atividade no ambiente real (posto de trabalho físico) prepara-se para o experimento vestindo a roupa com sensores ópticos para iniciar a simulação;

5 – A equipe do Centro de Realidade Virtual inicia a calibração do sistema de captura de movimento com um bastão de sensores, ajustando as câmeras de infravermelha e delimitando o espaço que será usado para a simulação;

6 – Após a calibração do sistema, o operador já vestido entra na sala onde estão as câmeras de captura de movimentos e efetua os primeiros testes de movimentação para verificar o tempo de resposta da animação das “estruturas articuladas” (Kuhn e Gomes 2005);

7 – Na seqüência, um dos especialistas do CRV efetua o carregamento do software Catia V5 com o módulo “*Human*” que será interligado com as estruturas articuladas;

8 – Nesta fase de testes do software o operador testa o HMD (capacete com captura de movimento e display com a visão tridimensional) verificando os ângulos de visão;

9 – Os sujeitos que participaram como analistas e observadores da simulação são acomodados em frente ao telão de 6 metros de largura e 2 metros de altura onde são projetadas a simulação da atividade e a visão do operador que está com o capacete HMD;

10 – A equipe do CRV carrega o software com objeto virtual (DMU) na mesma posição e altura do ambiente real (posto de trabalho já existente);

11 – O operador valida a sensação de similaridade do ambiente virtual com o real;

12 – O objeto virtual é colocado a uma posição de 90 graus para a análise da tarefa;

13 – Os observadores efetuam suas análises;

14 – O objeto virtual é colocado a uma posição de 135 graus para a análise da tarefa;

15 – Novamente os observadores efetuam suas análises;

16 – O objeto virtual é colocado a uma posição de 180 graus para a análise da tarefa;

17 – Finalizando o experimento os observadores efetuam a análise da tarefa da última proposta de solução;

18 – Todos os participantes, inclusive o operador que estava simulando a atividade, foram convidados a assistirem a um vídeo demonstrativo da aplicação do CRV com imagens estereoscópica auxiliada pelos óculos 3D (obturadores);

19 – Finalizando o experimento, todos os participantes da pesquisa foram convidados a responderem a um questionário de percepção e validação das propostas simuladas.

5.3.3. Metodologia do experimento

Os ensaios com a aplicação da realidade virtual foram efetuados através do software CATIA V5 e com Realidade Virtual Imersiva (RVI) através do sistema óptico-eletrônico de captura de movimentos (Figura 34).



Figura 34: RV Imersiva

Fonte: Adaptado de Whitman, et al. 2004

A experiência consistiu em observar a reação, interação e a postura do sujeito com o objeto virtual tridimensional reconstruído através do DMU baseado em uma atividade realizada em ambiente real de trabalho na empresa.

Os observadores puderam verificar ao mesmo tempo a postura real do operador na sala e a postura e a visão projetada do manequim virtual no telão do Centro de realidade Virtual (CRV).

Esta observação foi feita com um grupo de foco (IIDA, 2005) de 6 pessoas e mais o usuário que simulou a atividade no sistema de realidade virtual imersiva. Todos os sujeitos eram colaboradores da empresa e conheciam o processo real no ambiente de trabalho.

Esta observação formal contou com um questionário de percepção específico para os 6 sujeitos observadores e um específico para o sujeito usuário do sistema de realidade virtual.

A primeira simulação do experimento foi verificar a equidade entre a situação da atividade real (física) e a virtual através da validação do colaborador da empresa que efetua esta atividade no ambiente real (no posto de trabalho). O objeto digital foi construído de modo em que o operador pudesse comparar a situação virtual com a situação real, ou seja, o objeto foi reconstruído digitalmente na mesma posição e altura que o objeto real se encontra no ambiente de trabalho (Figura 35).

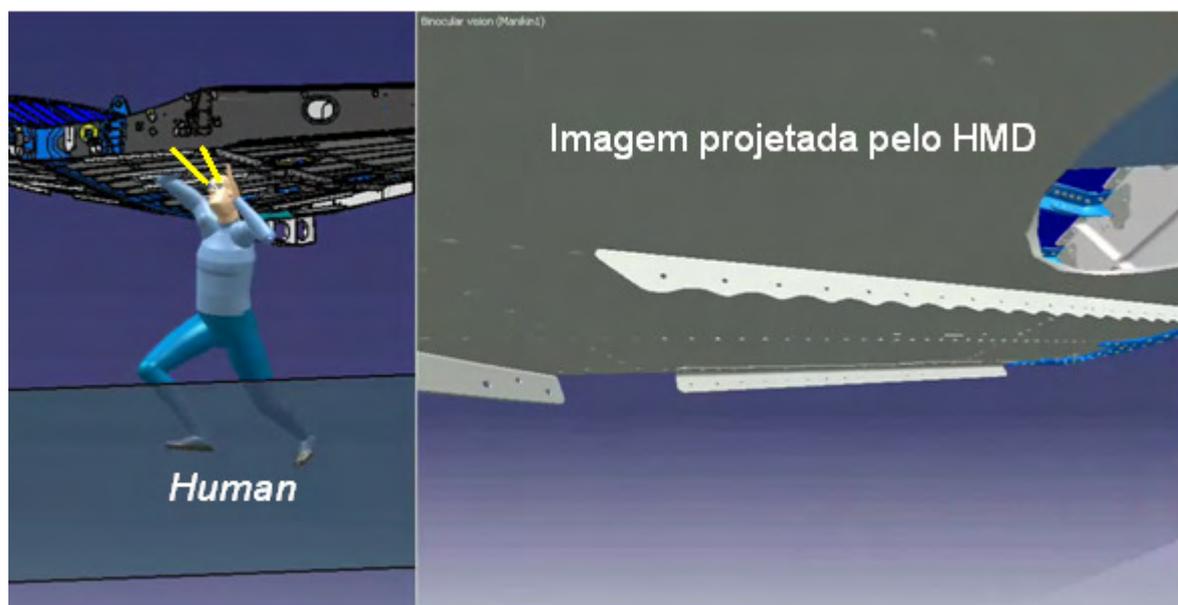


Figura 35: Simulação virtual do posto de trabalho já existente (postura e visão projetada pelo "Human")

Na figura 35 pode-se verificar a visão projetada pelo "Human" o qual é a mesma projetada pelo (HMD - *Head Mounted Display*) display visual com captura de movimento de cabeça instalado no sujeito.

Após validar a primeira simulação com o operador, foi proposta a construção de mais 3 soluções para o problema encontrado no posto de trabalho.

As simulações consistiam em posicionar o objeto em diferentes posições:

- Posição do objeto em 90 graus (Figura 36);
- Posição do objeto em 135 graus (Figura 37);
- Posição do objeto em 180 graus (Figura 38);

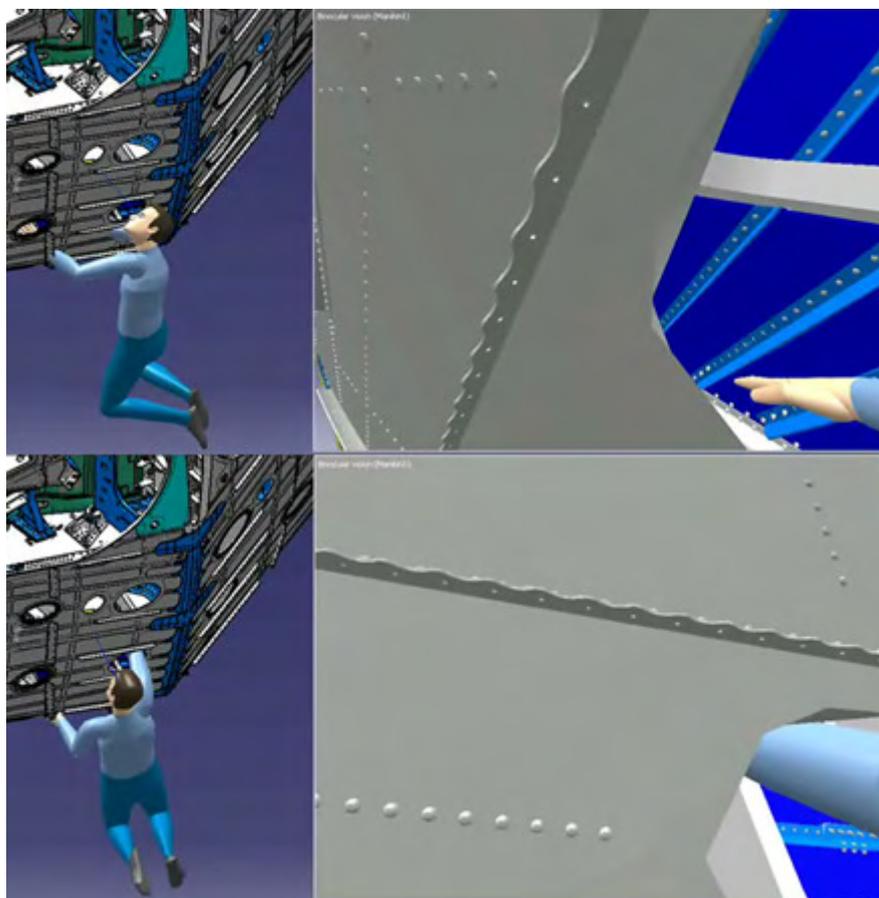


Figura 36: Objeto em 90 graus

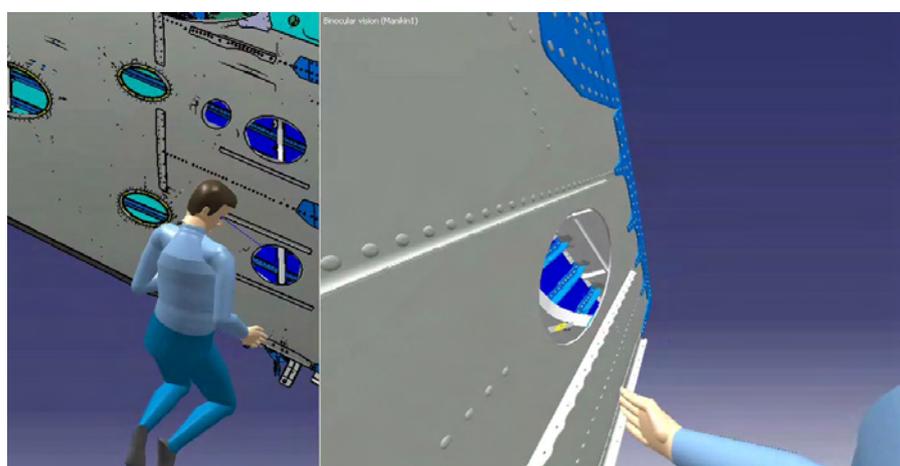


Figura 37: Objeto em 135 graus

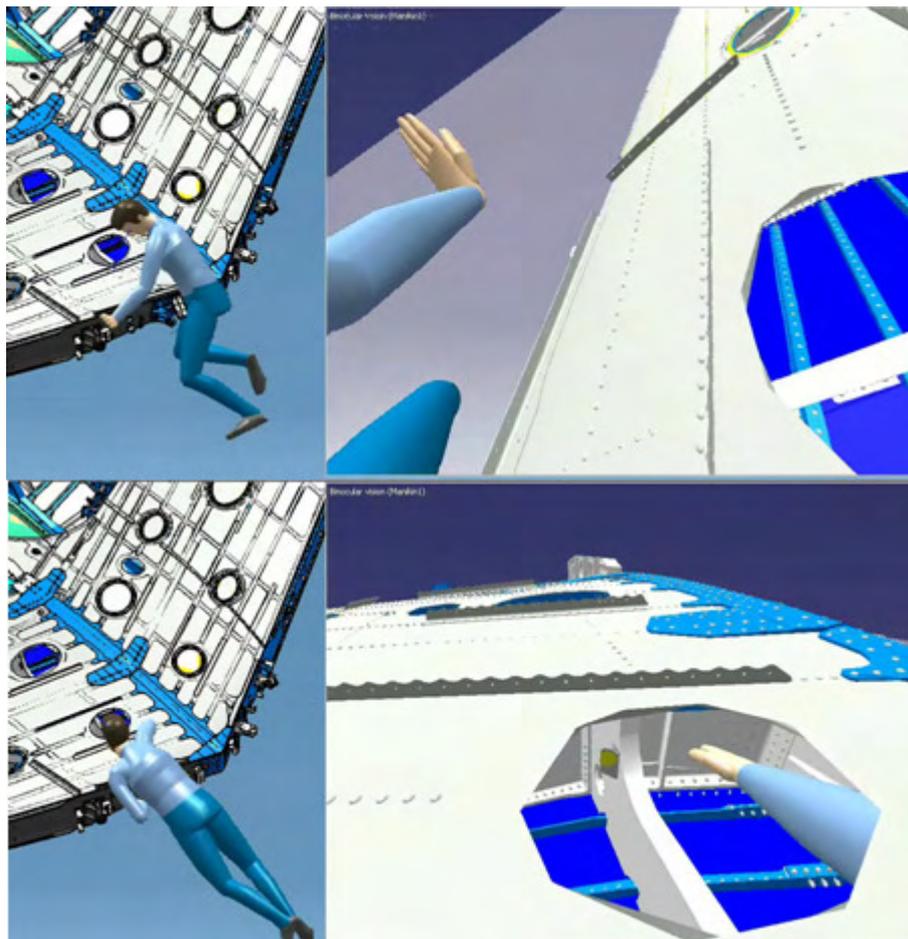


Figura 38: Objeto em 180 graus

Todas as situações foram avaliadas pelos sujeitos (observadores e operador da simulação) a fim de identificar a melhor solução para o posto de trabalho no ambiente real como também avaliar a eficiência e as limitações da aplicação da realidade virtual.

5.3.4. Coleta de dados

A coleta de dados foi feita por meio de dois questionários de percepção. Cada questionário foi organizado de acordo com a participação dos sujeitos, ou seja, um questionário específico para os observadores e o outro para o colaborador que simulou a atividade utilizando a Realidade Virtual.

Quando se fala de percepção adotar-se-á dois modelos de abordagem tratados no capítulo 2 no sub-tópico 2.2.2.1. *Percepção*:

- 1) A percepção como ato percebido provocado pela sensação (resposta imediata e fisiológica);
- 2) A percepção como informação processada (resposta retirada de um princípio).

O modelo 1 de abordagem é tratado especificamente para os observadores entenderem as reações do usuário provocada pela RV como, por exemplo, respostas imediatas do sujeito, posturas adotadas e campo de visão.

Já o modelo 2 de abordagem é tratado de modo que os observadores e usuário que utilizou a RV possam refletir de modo geral sobre todas atividades da simulação e assim busquem em seus princípios, fundamentos e experiências já vividas, base para responderem as questões.

5.3.4.1. Questionário para observadores

O questionário elaborado para os observadores contou com 8 questões, sendo 7 subjetivas (tabela 4) e uma com grau de importância (tabela 5).

A pergunta com grau de importância tem o intuito de captar dos observadores quais tópicos terão maior potencialidade de aplicação (maior importância) com relação às análises feitas por meio da RV.

As 7 questões foram divididas em 5 tópicos que são estudados em ergonomia: Biomecânica; Percepção; Interação; Posto de trabalho (ambiente); Controle e manejo (IIDA, 2005).

Adotaremos alguns fundamentos para os tópicos do seguinte modo:

- Biomecânica: Área do conhecimento que se preocupa em entender especialmente as questões de posturas corporais no trabalho ou atividade, bem como suas conseqüências; (IIDA, 2005).
- Percepção: Ato percebido provocado pela sensação (resposta imediata e fisiológica) (IIDA, 2005).
- Interação: Capacidade de o computador detectar os estímulos do usuário e modificar instantaneamente o mundo virtual e as ações sobre ele (capacidade reativa);(TORI, 2006)

- Posto de Trabalho (ambiente): Configuração física (ambiental) de uma unidade produtiva envolvendo um homem e o equipamento que ele utiliza para realizar o trabalho, bem como o ambiente que o circunda; (IIDA, 2005).
- Controle e manejo: Movimento executado pelo corpo humano para transmitir alguma forma de energia ao sistema homem-máquina-ambiente; (IIDA, 2005).

A avaliação das 7 questões foi feita por meio de uma escala subjetiva que variou de -3 a 3, onde a unidade -3 significa “Atrapalha muito” e a unidade 3 significa “Ajuda Muito” (Figura 39).

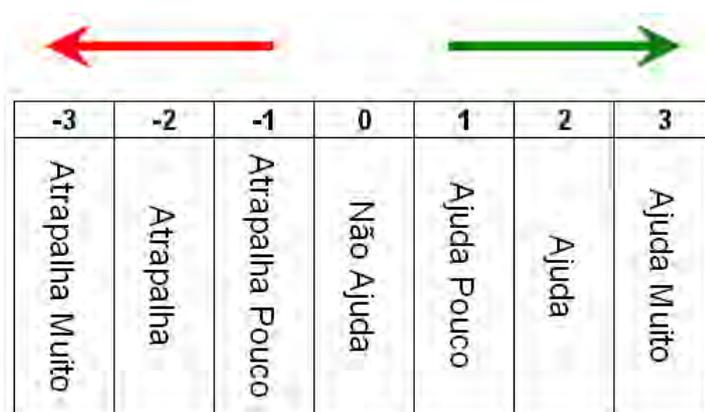


Figura 39: Escala subjetiva

Estas questões foram organizadas em seqüências aleatórias de modo que os observadores não se prendessem nos tópicos e assim sofressem influências nas respostas, exemplo: A primeira e a quinta pergunta trata do tópico biomecânica.

A tabela 4 mostra a divisão das perguntas através dos tópicos.

Tabela 4: Classificação das questões através de tópicos estudados em ergonomia

Questões	Tópicos
1 - Com relação ao uso do CRV (Centro de realidade Virtual) aplicando a técnica de captura de movimentos, você considera que o objetivo de visualizar as possíveis posturas do operador foi atingido? Marque na escala abaixo.	Biomecânica
2 - Você considera a ferramenta RV (Realidade Virtual) de grande avalia para projetos referente à ergonomia (postos de trabalho)?	Posto de trabalho (Ambiente)

3 - Para o projeto em questão (simulação do objeto em várias posições) a simulação virtual chegou próximo do real?	Percepção
4 - A captura de movimentos produz a sensação instantânea dos movimentos no manequim virtual a fim de ficar o mais próximos nos movimentos humanos.	Controle e Manejo
5 - As posturas críticas assumida pelo manequim virtual estavam semelhantes ao usuário (operador) que estava usando a roupa e os sensores de captura de movimentos na sala de projeção.	Biomecânica
6 - Com relação a visão produzida pelo capacete utilizado pelo o usuário (operador) você considera que conseguiu ter a percepção da visão do usuário (operador)?	Percepção
7 - Somente a ferramenta de RV sem nenhum cenário auxiliar (dispositivos, cadeiras, mesa e objetos para interação) é suficiente para efetuar uma análise projetual ou ergonômica?	Posto de trabalho (Ambiente)

Já a oitava pergunta foi classificada com grau de importância variando de 1 (menos importante) a 5 (mais importante) e dividida em: Movimento simultâneo, cenário futuro, biomecânica, percepção e interação (Tabela 4).

Tabela 5: Classificação da importância da aplicação da realidade virtual

Importância	8 - Classifique o grau de importância em uma escala de 1 a 5, quais aplicações abaixo você considerou mais importante para o projeto com relação ao Centro de Realidade Virtual (CRV)?
	Tópicos
	Análise da atividade através da movimentação simultânea (manequim virtual e usuário)
	Análise Postural (biomecânica)
	Possibilidade de interagir com cenários ainda não existentes fisicamente
	Percepção da visão do usuário (Visão do capacete)
	Interação do Usuário com o ambiente Virtual

5.3.4.2. Questionário para o usuário da RV

O segundo questionário foi elaborado especificamente para o colaborador que utilizou a realidade virtual imersiva simulando a atividade de trabalho. O questionário

contou com 7 questões, sendo 4 subjetivas, 1 com escolha de opção, 1 com classificação de importância e 1 pergunta aberta.

Nas 4 questões subjetivas aplicou-se a mesma escala conforme demonstrado na figura 39 e divididas em 3 tópicos: Interação, percepção e posto de trabalho. (Tabela 6)

Tabela 6: Classificação das questões do segundo questionário através de tópicos estudado na ergonomia

Questões	Tópicos
1 - O CRV (Centro de Realidade Virtual) produz a sensação de envolvimento com ambiente virtual?	Interação
2 - Com base na sua experiência exercida na atividade real do dia a dia (Considerando a mesma condição de trabalho – “Objeto com as janelas de inspeção para baixo) o CRV (Centro de Realidade Virtual) produz uma percepção próxima da atividade real com relação ao espaço e altura?”.	Percepção
3 - O CRV permitiu explorar todas as possíveis propostas com relação ao projeto “Angulações do Objeto”?	Posto de trabalho (ambiente)
4 - A visão produzida pelo capacete é próxima da visão obtida no ambiente real (Considerando a mesma condição de trabalho – “Objeto com as janelas de inspeção para baixo”)?	Percepção

A quinta questão possibilitou ao usuário comparar o envolvimento e interação da visão estereoscópica (óculos obturadores) com a visão tridimensional produzida pelo capacete com sensores de movimento. A quinta questão, a saber, é:

“5 - Com relação a visões produzidas pelo CRV, óculos em 3D e o uso do capacete qual produz uma interação e envolvimento maior?”

“ Óculos 3 D (Obturadores)”

“ Capacete com sensores de movimento”

Na sexta questão foi utilizada a mesma pergunta de grau de importância do primeiro questionário (Tabela 5).

A sétima questão constituída por uma pergunta aberta, a saber, é:

" 7 - No seu ponto de vista, o que poderia ser feito para melhorar a sensação de envolvimento e interação para que a realidade virtual possa se aproximar do ambiente real ?"

5.3.4.3. Questionário para escolha da melhor solução

Além das questões feitas através dos questionários de percepção, também foi elaborado um questionário para saber qual a melhor opção (solução) escolhida pela equipe para resolver o problema no posto de trabalho real.

Este questionário teve a finalidade de verificar as situações simuladas com uma escala de pontos de modo a elencar a melhor solução para o problema no posto de trabalho.

Foram elaboradas 4 questões referentes às simulações para resolução do problema, sendo a primeira questão para confirmar a similaridade entre o ambiente virtual com o ambiente real (posto de trabalho já existente) e as outras três questões referentes às propostas sugeridas pela equipe.

As 4 questões, a saber, são:

"1 – Objeto na mesma altura e posição do posto de trabalho já existente - As posturas e situações são parecidas com a atividade real ?"

"2 – Objeto a 90 graus - A posição do objeto favorece a atividade de selagem?"

"3 – Objeto a 135 graus - A posição do objeto favorece a atividade de selagem ?"

"4 – Objeto a 180 graus - A posição do objeto favorece a atividade de selagem ?"

As questões foram avaliadas por meio de uma escala de 0 a 3 pontos.

As situações simuladas podem ser vistas nas figuras 35, 36, 37 e 38.

6. RESULTADOS E ANÁLISE DOS DADOS

Através dos dados colhidos nos questionários, o experimento pôde comparar tanto a aplicabilidade da realidade virtual com relação aos tópicos estudados em

ergonomia como promover a opção de escolha da melhor situação simulada para o posto de trabalho.

A escolha da melhor solução proposta pela equipe foi calculada em um escala de 0 a 3 pontos, de acordo com a fórmula a saber:

$$\text{Pontuação Total} = \sum (\text{Nº de escolhas} * \text{pontuação escolhida})$$

Exemplo: Para a situação simulada com objeto com o ângulo de 180 graus, 3 pessoas escolheram pontuação 2, e 4 pessoas escolheram a pontuação máxima 3.

A fórmula fica da seguinte maneira:

$$\text{Total de pontos} = (3*2)+(4*3) = 18 \text{ pontos}$$

Os resultados são apresentados na tabela 7, onde estão computadas todas as opções simuladas com a classificação final da melhor escolha.

Tabela 7: Classificação final da melhor situação simulada

Situação Simulada	0	1	2	3	Total
Objeto a 90 graus	2	4	1		6
Objeto a 135 graus		6	1		8
Objeto a 180 graus			3	4	18

Já as análises dos dados obtidos no experimento através dos questionários de percepção foram feitas por meio da verificação da classificação subjetiva de acordo com os tópicos estudados em ergonomia citados no capítulo anterior.

Os dados do questionário elaborado para os observadores são demonstrados na tabela 8, onde o número em cada coluna da escala subjetiva significa a quantidade de pessoas que escolheu esta opção.

Tabela 8: Dados colhidos do questionário dos observadores

Questões	Tópicos	-3	-2	-1	0	1	2	3
Questão 1	Biomecânica					1	3	2
Questão 2	Posto de trabalho (ambiente)						3	3
Questão 3	Percepção					1	5	
Questão 4	Controle e Manejo					2	1	3
Questão 5	Biomecânica						4	2
Questão 6	Percepção					2	4	
Questão 7	Posto de trabalho (Ambiente)		1		1	4		

Para efeito de estudo foi considerada nesta pesquisa a aprovação da aplicação da Realidade Virtual Imersiva as escalas entre “Ajuda e Ajuda Muito” (escala 2 e 3 ,respectivamente, da tabelo 8).

Nos dados representados nas figuras 40 e 41 referentes à utilização da realidade virtual aplicada na análise biomecânica, verifica-se um índice satisfatório de aprovação, ficando grande porcentagem da amostragem entre “Ajuda e Ajuda Muito”

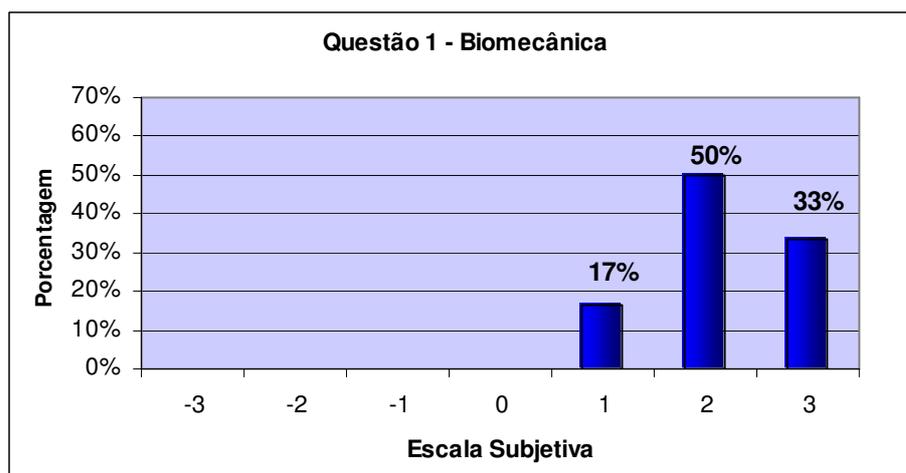


Figura 40: Gráfico – Questão 1 (Biomecânica)

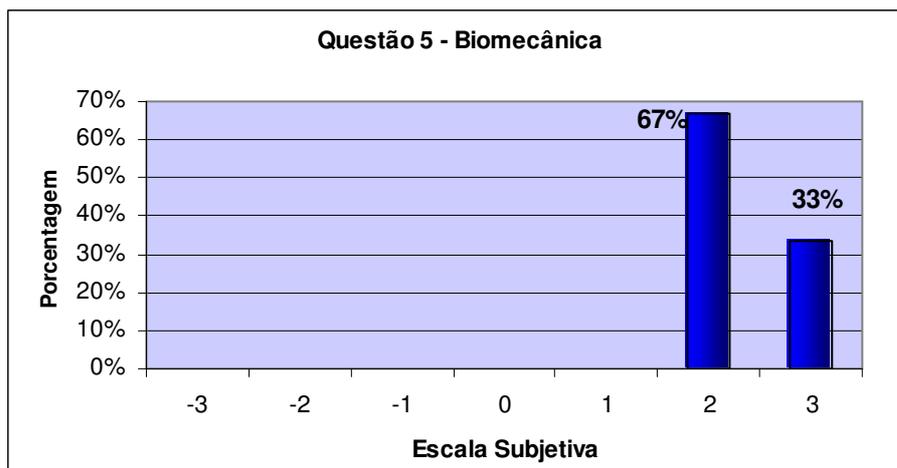


Figura 41: Gráfico – Questão 5 (Biomecânica)

Verificou-se que a seqüência aleatória com perguntas diferentes, porém tratando-se do mesmo assunto (biomecânica), mostrou que os dados colhidos nos questionários se confirmaram não havendo discrepância significativa.

Os resultados apresentados nas figuras 42 e 43 (Percepção) também demonstraram uma aprovação expressiva da aplicabilidade da RV, também reafirmadas nas seqüências aleatórias.

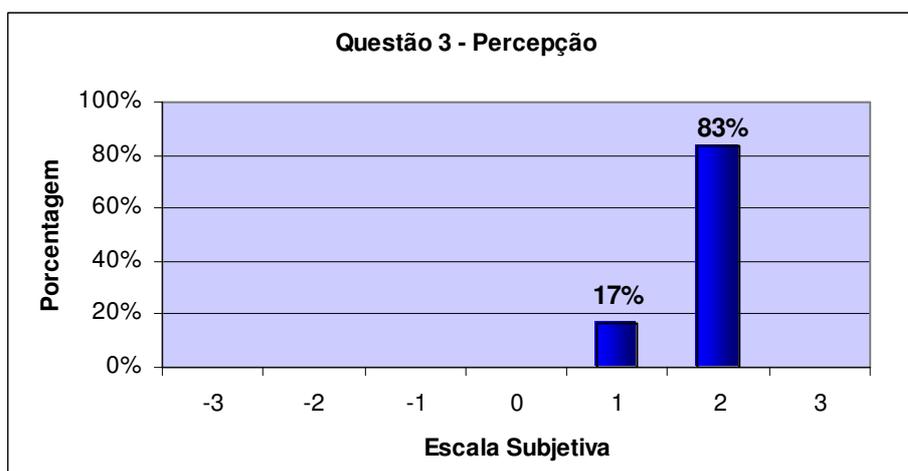


Figura 42: Gráfico - Questão 3 (percepção)

Porém houve uma porcentagem de 33 % na questão 6 (figura 43) dos que acharam que a aplicação da realidade virtual “Ajuda Pouco”, que não pode ser desconsiderada.

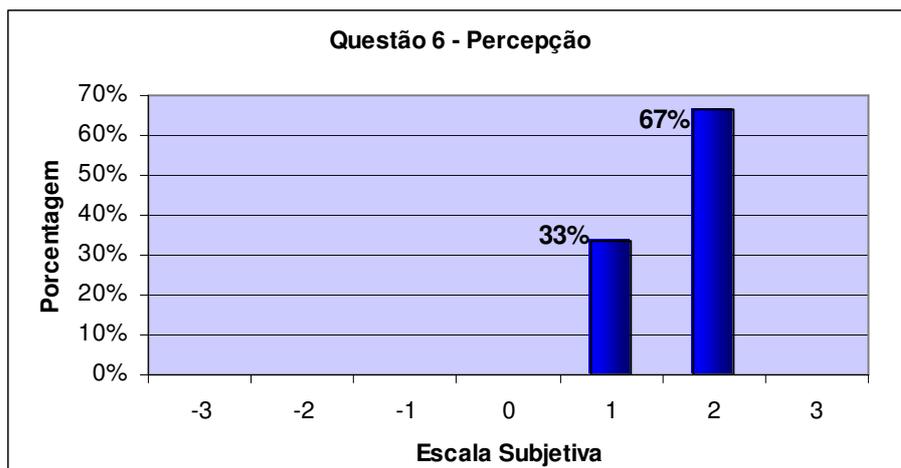


Figura 43: Gráfico - Questão 6 (percepção)

Já os resultados apresentados nas figuras 44 e 45 apresentaram discrepâncias entre as questões 2 e 7 referente ao tópico posto de trabalho (ambiente).

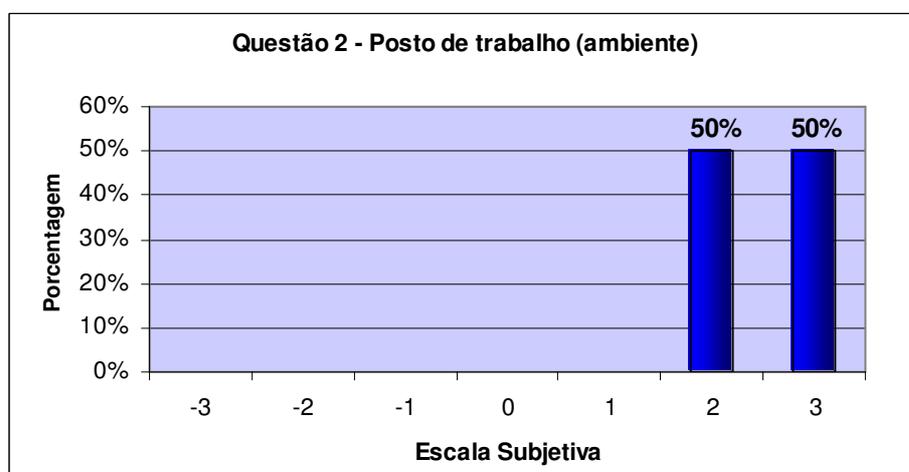


Figura 44: Gráfico - Questão 2 (Posto de trabalho)

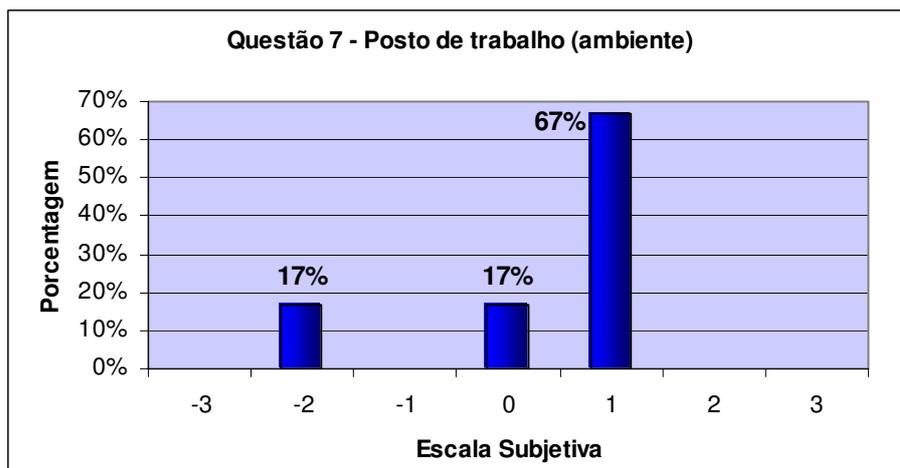


Figura 45: Gráfico – Questão 7 (posto de trabalho)

Nota-se que a questão 7 representada pela figura 45 não teve um aprovação ficando entre “Ajuda Pouco e Atrapalha um pouco”.

No questionário referente à pergunta 7, houve algumas considerações feitas pelos observadores no campo aberto da pergunta, a saber :

Pergunta 7: “Somente a ferramenta de RV sem nenhum cenário auxiliar (dispositivos, cadeiras, mesa e objetos para interação) é suficiente para efetuar uma análise projetual ou ergonômica ?”

Resposta do sujeito 1: “Não, pois não temos como ter a idéia de onde podemos alcançar sem invadir o desenho. “

Resposta do sujeito 2: “Certas situações, sem dúvida, necessitam de apoio físico.”

Resposta do sujeito 3: “Para a simulação foi necessário a utilização de dispositivos auxiliares, e acredito que se tivéssemos algum dispositivo que auxiliasse melhor o objeto estudado, a simulação da realidade virtual seria mais efetiva.”

Na figura 46 é demonstrado o resultado referente a controle e manejo.

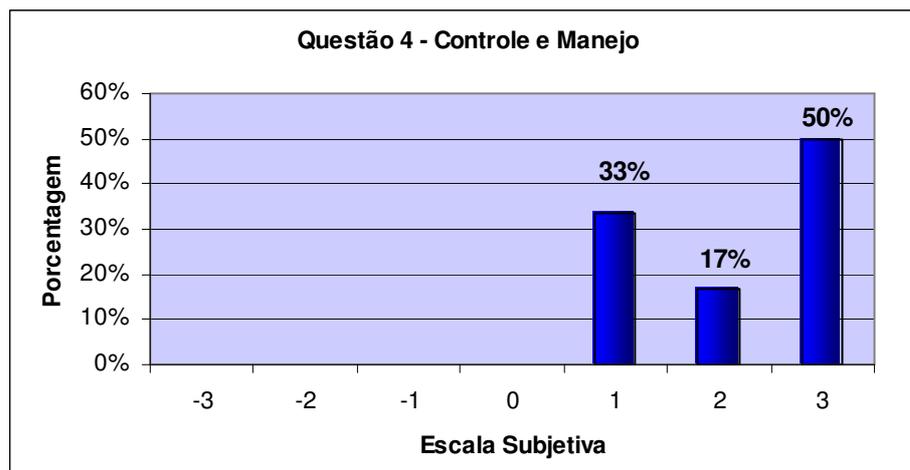


Figura 46: Gráfico Questão 4 (Controle e manejo)

Nota-se que também houve uma aprovação expressiva ficando grande parte da porcentagem entre “Ajuda e Ajuda Muito”. Porém houve uma porcentagem de 33% que acredita que a aplicação da RV referente a controle e manejo “Ajuda Pouco”.

Os dados apresentados na tabela 9 e na figura 47 demonstram o grau de importância dada pelos sujeitos representados pela letra “S” referente à aplicação da realidade virtual na análise ergonômica de acordo com os tópicos estudados.

A escala de grau de importância varia de 1 (menos importante) a 5 (mais importante).

Tabela 9: Grau de importância dada pelos sujeitos

Tópicos	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	Total
Movimentação simultânea	4	5	4	4	4	5	5	31
Análise Postural	5	4	4	3	3	4	4	27
Interação com cenário futuro	3	1	4	2	5	2	1	18
Percepção da visão do usuário	5	3	3	4	3	3	2	23
Interação do usuário com ambiente virtual	5	2	4	3	4	1	3	22

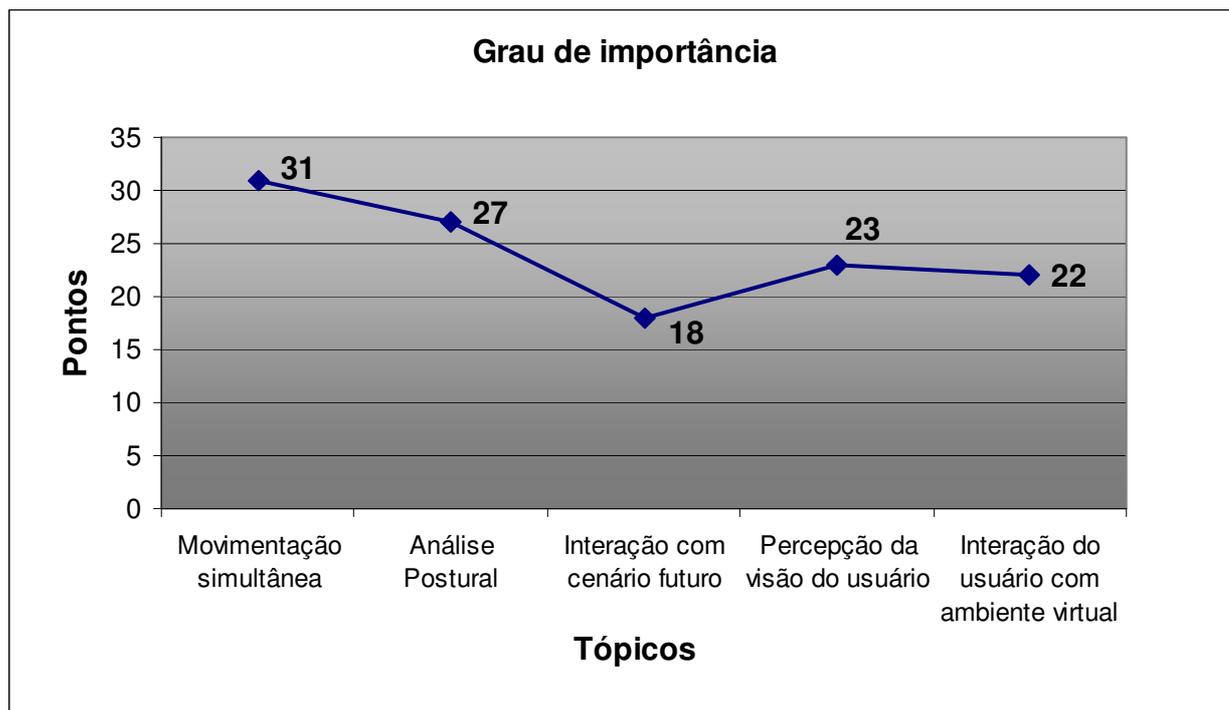


Figura 47: Gráfico - Grau de importância dada pelos sujeitos

Nota-se que os tópicos, movimentação simultânea e análise postural tiveram maior pontuação.

Outro fato observado é a pontuação dada para o tópico interação com cenário futuro que obteve a menor pontuação.

Já os dados obtidos no questionário de percepção do sujeito que utilizou sistema de realidade virtual imersiva serviram para verificar principalmente a interação e percepção do usuário com o sistema o qual foi aprovado com índice “Ajuda ou Ajuda Muito” em todas as perguntas subjetivas, tendo o índice maior de aprovação para as questões 1 e 4 correlacionadas com a interação e percepção, respectivamente.

Todas as questões feitas para o usuário obtiveram aprovação da utilização do sistema de realidade virtual, porém as perguntas 5 e 7 indicaram que o sistema de realidade virtual utilizado pode ser melhorado.

Um dos indicadores que mostra a possibilidade de melhoria é a opção feita pelo usuário dos óculos 3D ao invés do capacete HMD. Esta opção pode ser entendida pelo fato do HMD não ser estereoscópico, limitando a sensação de profundidade.

Outro indicador que também foi levantado pelos observadores da pesquisa, está descrita na resposta da questão 7 do questionário do usuário, a saber:

Questão 7 feita para o usuário: “No seu ponto de vista, o que poderia ser feito para melhorar a sensação de envolvimento e interação para que a realidade virtual possa se aproximar do ambiente real?”

Resposta: “Ter mais ferramentas para facilitar a limitação que possa determinar o objeto virtual”

O experimento mostrou que a aplicação da realidade virtual na análise ergonômica tem algumas limitações como, por exemplo, delimitar os objetos virtuais para que o usuário não ultrapasse ou atravesse o objeto (Figura 30).

Este fato foi detectado no questionário através das questões 7 do questionário do usuário e dos observadores.

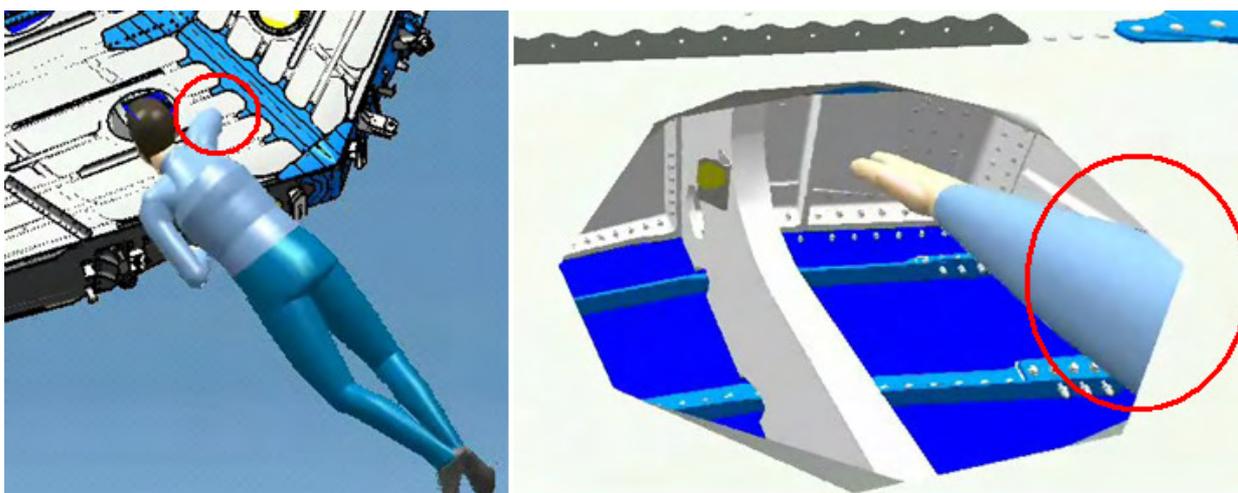


Figura 48: Delimitações dos objetos virtuais (DMU - Digital Mock-UP)

Por outro lado o experimento teve a aprovação da aplicação da realidade virtual referente à percepção (modelo 1 de abordagem sobre percepção) do usuário com objetos virtuais.

7. DISCUSSÃO

As pesquisas sobre a aplicação da realidade virtual em análise ergonômica vêm sendo estudadas de modo geral em laboratórios com atividades simuladas pré-

estabelecidas como, por exemplo, a pesquisa feita pela universidade de Wichita, no Kansas (WHITMAN, 2004).

Muitas empresas ainda aplicam a realidade virtual para entender a interação do usuário com o produto e assim melhorar as interfaces, como no caso da pesquisa de Andreoni (2002), sendo pouca explorada a aplicação dessa ferramenta para avaliar a atividade em postos de trabalhos.

Deste modo, esta pesquisa busca entender as potencialidades e limitações dessa aplicação em uma atividade real (física) já praticada em uma ambiente de trabalho cujo posto de trabalho tem características de desconforto para os operadores.

O experimento também contou com a colaboração de pessoas que trabalhavam na empresa e conheciam todo o processo que foi simulado (design participativo), dando credibilidade para a discussão sobre a aplicação da realidade virtual na análise de soluções ergonômicas especificamente para o posto de trabalho estudado.

Outro fato percebido, é que a maioria das referências estudadas traz relatos do sucesso da aplicação da realidade virtual sem entrar em detalhes nos experimentos e nos resultados alcançados, como as pesquisas de Gardner (2007) e Valério Netto (2002), deixando lacunas para os pesquisadores que estudam esta ferramenta.

A falta de publicações sobre os experimentos da aplicação da RV em ergonomia pode ter influência do modelo econômico mundial que, devido à grande competitividade entre as empresas e à necessidade de rapidez de respostas ao mercado, buscam guardar seus conhecimentos, principalmente quando envolve a aplicação de altas tecnologias.

Por outro lado, fica notório que a aplicação da realidade virtual vem crescendo proporcionalmente à evolução tecnológica desde a década de 90, já citada por Machado (1995), deixando de ser exclusividade de instituições de pesquisa e de grandes empresas, o que evidencia a discussão desta pesquisa.

Considerando todo o estudo de revisão e as aplicações nelas citadas referentes à utilização da RV à ergonomia, compreende-se que o experimento vem ao encontro do interesse e necessidade dos profissionais ligados à ergonomia, principalmente os designers que precisam dar respostas cada dia mais rápidas para solucionar problemas.

Uma das vantagens mostrada pelo experimento foi a possibilidade de verificar a posição do objeto em várias situações (vários ângulos), posições estas que não seriam possíveis no ambiente real (físico) por se tratar de um objeto com dimensões grandiosas e de grande complexidade. Esta vantagem de mudar o posto de trabalho em um tempo curto sem gastos com modelos físicos ainda se torna a grande vantagem do investimento dessa ferramenta.

As avaliações das simulações das possíveis soluções feitas com a ferramenta da RV por meio do design participativo demonstram que esta técnica pode contribuir com a veracidade da simulação pois, conforme Béguin e Well-Fassina (2002), a utilização de métodos participativos em projetos traz o conhecimento dos operadores que permita antecipar as orientações pertinentes à especificação do sistema técnico do processo de trabalho, as suas características e a suas dificuldades.

Este fato fica evidente quando a escolha da melhor proposta é selecionada com o objeto na posição 180 graus. Esta decisão vem confirmar que a experiência adquirida na atividade real pelos participantes foi consultada e exposta pois, segundo Daniellou (2002), toda simulação deve ser baseada em uma atividade de referência já existente, situação esta buscada pelos participantes no momento da tomada de decisão para escolher a melhor proposta.

Esta situação de referência (objeto 180 graus) pode ser consultada pelos participantes em um outro posto de trabalho também já existente na empresa, porém com diferença de dimensão do objeto (objeto menor). Este produto é suportado por um dispositivo mecânico capaz de fazer o giro do objeto em qualquer ângulo. Como na simulação virtual, no ambiente físico também teve uma aprovação de executar a atividade sobre o produto na posição de 180 graus.

Para tornar a discussão mais rica, fica um ponto a ser levantado em outro possível trabalho. Fazer a mesma simulação com participantes sem nenhum conhecimento da atividade executada do posto de trabalho, e assim comparar o resultado da melhor solução escolhida com esta realizada nesta pesquisa.

Com relação à análise dos dados do experimento, as questões 1 e 5 do questionário de percepção dos observadores mostram que há uma grande potencialidade da aplicação da RV na análise biomecânica, pois a porcentagem de sujeitos que pontuaram na escala “2 – Ajuda” e “3 – Ajuda Muito”, pontuação esta considerada para aprovação da ferramenta (RV), foi muito expressiva, ficando com

83% de aprovação na questão 1 e 100% de aprovação na questão 5, ambas relacionadas à biomecânica.

Os resultados relacionados às questões 3 e 6 relacionados ao tópico percepção, também obtiveram uma aprovação expressiva, porém houve uma porcentagem de 33% na questão 6 que pontuaram na escala “1 – Ajuda Pouco” que não pode ser desconsiderado. Este resultado pode estar associado à movimentação do capacete (HMD), o que provoca a movimentação das imagens no telão. Esta movimentação pode provocar uma sensação não muito confortável para os observadores, pois os mesmos estão estáticos em frente ao telão e as imagens projetadas acompanham a movimentação do usuário que está em movimento simultâneo com as imagens projetadas pelo HMD.

Na avaliação referente ao tópico posto de trabalho, adotar-se-á a referência citada por Itiro lida (2005) anteriormente: Posto de trabalho - Configuração física (ambiental) de uma unidade produtiva envolvendo um homem e o equipamento que ele utiliza para realizar o trabalho, bem como o ambiente que o circunda; (IIDA, 2005). As avaliações deste tópico mostraram discrepâncias entre as questões 2 e 7. Na questão 2 houve 100% de aprovação, porém a questão 7 teve 34% dos sujeitos que pontuaram as escalas “0 – Não Ajuda” e “-2 Atrapalha”. Esta diferença pode ser explicada pelo motivo de não haver subdivisão do tópico posto de trabalho, que pelo conceito pode ter um significado muito amplo, pois envolve uma gama de sistemas relacionado homem-máquina-ambiente. A subdivisão do tópico posto de trabalho poderia ser dividida entre intervenção do posto de trabalho (modificação do cenário) e dispositivos para interação com ambiente (delimitação espacial).

Por exemplo, a questão 2 trata da possibilidade de modificação instantânea do cenário virtual para efetuar as análises das propostas do posto de trabalho o qual teve grande aprovação. Já a questão 7 trata da eficiência de envolvimento dos dispositivos virtuais com relação ao usuário para delimitar o espaço. Deste modo fica evidente que, com relação a modificação do cenário virtual (posto de trabalho virtual) a aprovação foi bem sucedida, porém o envolvimento dos objetos virtuais dependendo da atividade simulada, houve a necessidade de utilização de dispositivos físicos para balizar o usuário com relação a movimentação espacial (noção de espaço). Esta discussão fica evidente tanto nas respostas dos participantes observadores como do usuário, relatada no campo aberto da questão 7, onde vários sujeitos descrevem a falta de dispositivos adequados para facilitar a

delimitação do espaço (pág. 65). Isto pode ser verificado também na figura 48, onde é demonstrada a invasão no manequim digital no objeto virtual.

Esta condição também foi provocada pela falta de conhecimento da ferramenta (RV) bem como as atividades futuras que seriam estudadas o que vem de encontro com a citação de Lämkkull (2007) que diz que é preciso ter conhecimento e habilidade sobre as ferramentas CAD e ergonomia, além também de um bom conhecimento das características do processo ou produto que está sendo projetado. Isso provoca uma reflexão de que para uma boa avaliação com a utilização da RV é preciso um bom conhecimento desta ferramenta como o processo simulado, pois somente dessa maneira pode-se executar a simulação com as características próximas da atividade real estabilizando as possíveis “variabilidades” Daniellou (2002) que podem ocorrer no decorrer da simulação.

A avaliação do tópico Controle e Manejo também teve uma boa aprovação, ficando grande parte da amostragem (67%) entre “2 – Ajuda” e “3 – Ajuda Muito”. Porém houve uma porcentagem de 33% que classificaram que a RV ajuda pouco.

Isto pode ser creditado ao tempo de resposta (pequena defasagem) entre a visão do usuário que por consequência é a visão do manequim projetado no telão e a captura feita pelo HMD (capacete com sensores de movimento).

Esta defasagem de tempo entre o sistema óptico-eletrônico e o software, também é mencionado no estudo da aplicação da RV imersiva feita pela equipe da Universidade Estadual de Wichita, no Kansas (WHITMAN, 2004), mostrando que a tarefa experimental executada em RV não é comparativa a uma similar tarefa experimental no ambiente real que envolve velocidades e acelerações.

O estudo feito pela equipe do professor Whitman (2004) vem ao encontro da pesquisa efetuada neste experimento o qual pode explicar a porcentagem de 33% que acreditam que a aplicação de RV referente a controle e manejo “Ajuda Pouco”.

Com relação aos dados relacionados ao grau de importância (questão 8) verificou-se que a importância dada pelos sujeitos pode estar associada às expectativas de cada sujeito criada pela tecnologia da Realidade Virtual. Isto pode ser entendida através da citação de Van Amstel (2008) que diz que os interesses e vivências são diferentes para cada pessoa e que a todo o momento converge-se ao debate, principalmente quando utilizado o design participativo.

Notou-se que na questão 8 o fator de movimentação simultânea, junto com o fator análise postural, teve grande destaque. Isto se deve à técnica de captura de

movimento que possibilita a análise postural em tempo real, diferentes das análises posturais feita tradicionalmente (fotos e desenhos estáticos).

Outro fato observado na mesma questão é a pontuação da percepção da visão do usuário maior que a interação, vantagem esta proporcionada pelo HMD interligado ao módulo do “*Human*” do CATIA. Este ferramenta possibilita observar a visão do usuário em um telão, sensação esta quase impossível de ser explorada pelos analistas em modelos de análises ergonômicas convencionais.

Outra explicação pode estar associada no fato de que a interação pode ter mais relevância para o sujeito que utilizou o sistema de RV do que para os observadores.

Especificamente a análise feita pelo o usuário sobre a utilização da RV, demonstra uma grade aceitação em praticamente em todos os tópicos, porém as questões 5 e 7 do questionário de percepção do usuário indicam que o sistema de realidade virtual utilizado pela empresa pode ser melhorado.

A questão 5 traz a discussão da utilização da estereoscopia, técnica esta, muito utilizada em RV. Esta técnica é comparada pelo usuário, o qual destaca com maior envolvimento do que o produzido pelo HMD. Esta comparação só foi possível ser feita pelo o usuário, pois foi o único sujeito que teve a oportunidade de utilizar os dois sistemas: Óculos 3D (óculos obturadores) e o HMD.

O usuário relata que o óculos 3D traz uma sensação de envolvimento maior que o HMD. Deste modo verifica-se uma possibilidade de melhoria dessa ferramenta utilizada pela empresa (aquisição de um HMD com imagens estereoscópica). Esta implantação poderia promover uma sensação de profundidade e assim melhorar a limitação do espaço e dos objetos virtuais, auxiliando o usuário a limitar seus movimentos.

Outro ponto levantado pelo usuário na questão 7, também em uma pergunta aberta, compartilha a mesma opinião dos observadores, que é o fato de ter mais objetos e dispositivos físicos para auxiliar a delimitação do espaço.

A dificuldade de delimitação do ambiente e objetos virtuais utilizados na simulação pode ter as causas encontradas em dois pontos a serem discutidos:

Primeiro a atividade simulada era de grande complexidade e precisaria de um tempo maior para preparação da simulação, tempo este necessário para aquisição de um bom conhecimento da ferramenta (RV) por parte da equipe do projeto. Este tempo poderia promover um melhor aproveitamento da potencialidade da RV,

prevendo as possíveis dificuldades que seriam encontradas, antecipando possíveis dispositivos físicos necessários e assim aproveitando ao máximo a simulação.

Segundo ponto seria o aproveitamento da técnica da estereoscopia, que já se encontra instalada neste Centro de Realidade Virtual, porém utilizada somente para demonstração de produtos para os clientes, ou para análise funcional de sistemas.

A utilização desta técnica (estereoscopia) acoplada no HMD potencializaria a percepção do usuário como também dos observadores, pois promoveria a sensação de visualizar toda a simulação em 3 dimensões, sensação esta, mais próxima da realidade física.

8. CONCLUSÃO

As dificuldades encontradas em pesquisar referências sobre o tema especificamente na aplicação dessa ferramenta (RV) em análise de postos de trabalho evidencia que ainda hoje muito ainda deve ser experimentado na relação da aplicação da realidade virtual à ergonomia. Esta falta de referência se deve pelo fato de muitas empresas que detêm essa tecnologia (RV) não estarem interessadas em divulgar seus experimentos por motivo de segurança da inteligência industrial e, por outro lado, os institutos de pesquisas que utilizam esta ferramenta ainda promovem poucos projetos ligados ao estudo da eficiência dessa ferramenta aplicada na análise ergonômica em posto de trabalho. Isto fica claro também em contato com pesquisadores internacionais que pesquisam esta tecnologia e relatam pouca existência de publicações nessa área.

Neste sentido o objetivo proposto nesta pesquisa que busca compreender as limitações e principalmente as potencialidades da realidade virtual imersiva aplicada à ergonomia especificamente em um posto de trabalho foi alcançado satisfatoriamente, uma vez que foi possível desenvolver vários estudos relacionados à aplicação dessa ferramenta em vários tópicos estudados em ergonomia como: biomecânica, percepção, interação, posto de trabalho, controle e manejo, análise de movimentos e campo de visão.

É importante esclarecer que existem outros tópicos estudados em ergonomia que não foram abordados neste experimento, mas que possivelmente poderiam ser estudados relacionando a aplicação da realidade virtual. Esta decisão de escolher

alguns tópicos “mais utilizados” na área de ergonomia foi tomada para que a pesquisa se tornasse mais fechada, e assim mais coesa.

Um tópico muito importante que também poderia ser explorada em outras pesquisas é a aplicação da realidade virtual na análise cognitiva do sujeito em seu ambiente de trabalho, tópico este não explorado nesta pesquisa, porém considerado muito importante na área de ergonomia.

Além de a pesquisa promover a exploração da eficiência desta ferramenta explorando cada tópico, também foi possível analisar as possíveis sugestões feitas pela equipe para solucionar o problema encontrado no posto de trabalho existente na empresa.

O procedimento utilizado para mensurar a aplicabilidade da RV como também escolher a solução para o problema encontrado no posto de trabalho foi baseado na metodologia do design participativo (DP) já empregada em outras pesquisas. Esta metodologia teve seu início de aplicação na década de 1970 (KENSING e BLOMBER 1998 apud FALZON, 2007). Através dessa técnica foi possível explorar a experiência de cada participante.

A aplicação do design participativo em conjunto com a utilização da realidade virtual para analisar situações referentes a soluções de problemas encontrado em um posto de trabalho gerou a descoberta na prática de que projetos que utilizam processos participativos com vários sujeitos dependem de uma boa gestão por parte do líder do projeto a fim de administrar os conflitos, buscar o foco sem perder o senso crítico do problema como também consolidar os argumentos que contribuam para a decisão final. Na teoria esta tarefa já não parece tão fácil e na prática isto veio a se confirmar.

Segundo Béguin e Weill-Fassina (2002), qualquer que seja o objetivo da simulação ela sempre estará entre dois pólos, o que foi constatado no decorrer do experimento. O primeiro pólo, dominado pela técnica, é centrado na eficiência e no desempenho do sistema homem-máquina, o que aqui chamamos na simulação virtual de aquisição do conhecimento das ferramentas CAD e RV. O segundo tende a privilegiar a atividade dos operadores – incluindo os projetistas, uma vez que a compreensão dessa atividade é considerada necessária para otimizar o funcionamento do sistema e assim obter uma aprovação satisfatória da simulação referente à análise ergonômica.

Estes dois pólos se tornam claros no momento em que se inicia a simulação virtual, pois no decorrer do experimento e nas análises dos dados, nota-se que se as potencialidades dessa ferramenta (RV) fossem mais bem compreendidas e houvesse um bom conhecimento da atividade a ser simulada (soluções para o problema), isso levaria a uma exploração melhor dos resultados.

Outro resultado da aplicação do design participativo em conjunto com a utilização da realidade virtual foi a possibilidade de transferência para a situação virtual das experiências adquiridas pelos sujeitos na situação real de trabalho, tornando a simulação mais confiável como também o enriquecimento da discussão da melhor escolha para a solução encontrada no posto de trabalho. Porém as transferências positivas ou negativas das experiências vividas pelos sujeitos ficam constatadas que dependem ao mesmo tempo das características da situação simulada, da pedagogia dos procedimentos e das competências prévias de todos os participantes.

Com relação às análises de dados, os estudos demonstram que realmente esta ferramenta potencializa o ganho de tempo, principalmente em análise de processos de grande complexidade como este estudado. Se a simulação, objeto de pesquisa, tivesse que ser executada em um ambiente físico, o tempo estimado para a preparação e análise das possíveis soluções levaria em torno de duas semanas, sem contar os gastos para desenvolver todos os dispositivos para simulação da atividade. Com a aplicação da realidade virtual este tempo foi reduzido em praticamente 1 dia, sem contar também com a redução de custo.

A rapidez da análise de várias proposta e a escolha da melhor solução mostrou que ainda uma das maiores potencialidades da aplicação dessa ferramenta (RV) é a facilidade de modificação do ambiente e seus sistemas, sem a necessidade de construção de modelos físicos. Isto nos leva a crer que a utilização dessa ferramenta tende a crescer com o passar do tempo, substituindo com mais facilidade as simulações tradicionais feitas em ambientes físicos.

Das diversas variáveis que influenciaram a aplicação da realidade virtual imersiva, a que mais chamou a atenção foi a não utilização da técnica estereoscópica em conjunto com o visor acoplado no capacete de captura de movimentos (HMD). Este hardware (HMD) aplicado ao software que gera as imagens estereoscópicas já existente no próprio Centro de Realidade Virtual construído pela empresa, poderia potencializar muito o envolvimento e interação dos

sujeitos, promovendo uma melhor percepção de profundidade e limitação dos movimentos corporais. Isso pode ser verificados nas questões 7 dos questionários de percepção tanto dos sujeitos observadores como do usuário, o quais relatam a falta de delimitação do espaço virtual. Outro fato que revela a influência dessa variável é a preferência feita pelo usuário dos óculos obturadores ao invés do HMD, relacionado à eficiência de envolvimento entre esse dois hardwares.

Mesmo com esta limitação do hardware HMD, não se pode descartar que este equipamento trouxe outra potencialidade que não poderia ser explorada em análises convencionais de ergonomia, que é a possibilidade de verificar o campo de visão do sujeito que está executando a atividade. Este privilégio exclusivo do campo de visão do sujeito que está executando a atividade foi importantíssima para que os restantes dos sujeitos (observadores) tivessem a oportunidade de entender o que o operador está visualizando e assim entender a dificuldade encontrada para executar o trabalho.

Outro aspecto muito importante demonstrado e confirmado pela análises dos dados foi a utilização da técnica do Sistema de Captura e Análise de Movimento (SCAM) (Pinheiro, 2008), que foi um dos pontos fortes relatado nos dados através dos tópicos de movimento simultâneo e biomecânica.

Este sistema permitiu a análise de movimentos e posturas em tempo simultâneo com o sujeito que estava simulando a atividade, sem a necessidade de animação do manequim digital, técnica esta muito utilizada em análise ergonômica para o desenvolvimento de concepção de atividades futuras conforme citada por Lämkuil (2007) e Gill e Ruddle (1998).

Esta tecnologia sem dúvida será uma das mais utilizadas e procuradas por profissionais ligados a ergonomia, pois permite visualizar as posturas do corpo em diferentes ângulos, com a confiabilidade dos movimentos, pois o movimento do manequim digital é exatamente o movimento capturado do usuário. Esta técnica eliminará as antigas preocupações de animadores de simulação humana que utilizam como, por exemplo, o software "JACK". Estes animadores se preocupam com a condução dos movimentos do manequim digital, verificado se as angulações feitas por meio de animações estão o mais próximo do movimento do corpo humano. Com esta tecnologia (SCAM) as análises de posturas se tornam mais eficientes e confiáveis.

O experimento também demonstrou algumas limitações tanto no momento de elaborar a avaliação para a pesquisa, pelo fato, do não conhecimento total dessa ferramenta (RV) utilizada por esta empresa, como também a própria limitações dessa tecnologia. Um exemplo de limitação desse CRV é a utilização do HMD sem a visão estereoscópica. Esta limitação prejudicou a sensação de profundidade e delimitação do objeto dificultando parcialmente algumas análises.

Os estudos efetuados neste experimento com a realidade virtual imersiva auxiliada com o sistema de captura de movimentos, confirmou que os estudos realizados pela Universidade Estadual Wichita, no Kansas (WHITMAN et al., 2004), relacionado à velocidade e aceleração continuam com deficiência. Esta comprovação pode ser verificada através da questão 4 do questionário dos observadores mostrada pela figura 46 referente ao tópico controle e manejo.

No entanto, o desenvolvimento tecnológico principalmente dos hardwares e softwares alimentados pela grande velocidade de evolução da eletrônica e informática demonstra que a realidade virtual tem muito ainda a oferecer. Um exemplo dessa constante evolução é a aplicação da realidade aumentada que, segundo Lopes (2005), pode proporcionar um benefício considerável em aplicações de pesquisas educacionais, pois permite a experiência simultânea do ambiente virtual. Outra vantagem da realidade aumentada é que esta técnica tem maior flexibilidade com relação a RVI, pelo motivo de permitir a aplicação da RA em qualquer ambiente sem a necessidade de um laboratório com vários equipamentos.

Isto também mostra que os estudos da aplicação da RV em laboratório não são menos importantes, e sim estudos complementares e necessários, pois sem estes primeiros estudos laboratoriais não teríamos referências para o entendimento de variáveis isoladas e estabilizadas, o que promove um aproveitamento melhor de conceitos e por conseqüência uma melhor compreensão dos resultados.

É importante salientar que as situações de simulação apresentam características específicas e por esta razão devem ser compreendidas e apreendidas como situações, meios de trabalho particulares, e não somente como o espelho de uma situação de referência.

Fica comprovado também nesta pesquisa que quaisquer que sejam os esforços do pesquisador ou projetista para obter uma situação de simulação a mais fiel possível, essa situação sempre será próxima da real, porém nunca será

exatamente igual, pois sempre existirão variáveis que não serão possíveis de ser previstas.

Neste sentido, os resultados obtidos através do experimento, sempre levando em considerações as variabilidades da simulação, puderam comprovar a eficiência da aplicação da RV em vários tópicos estudados em ergonomia como na análise biomecânica, movimentação simultânea, percepção e interação do usuário o qual obteve uma aprovação expressiva.

Certamente a realidade virtual tem suas limitações que, com o passar do tempo, serão superadas pela evolução tecnológica. Fica claro nesta pesquisa que mesmo com as limitações, a aplicação dessa ferramenta pode ser bem empregada nas análises ergonômica e com grande eficiência, principalmente quando se conhece essas limitações. Por outro lado as potencialidades são gigantescas conforme evidenciada no decorrer do experimento.

Fica demonstrado dessa maneira que esta ferramenta deve ser utilizada sempre que possível para solucionar os problemas detectados do desenvolvimento de projetos, principalmente pelos profissionais como os designers que necessitam de ferramentas cada dias mais eficientes e velozes.

Deste modo a pesquisa também atinge seu objetivo de ser mais uma referência na aplicação da realidade virtual aplicada à ergonomia pois, conforme discutido anteriormente, ainda hoje existem poucas pesquisas efetuadas neste sentido como também poucas pesquisas efetuadas com situações reais de trabalho em empresas.

Por fim, destaca-se que o entendimento das potencialidades da realidade virtual aplicada à análise e avaliação ergonômica, objeto desta pesquisa, foi atingido satisfatoriamente, trazendo contribuições para os pesquisadores da área de ergonomia, tornando mais compreensível e confiável a utilização dessa ferramenta (RV).

9. REFERÊNCIAS

- ACKERMAN, D. **A natural history of the senses**. New York, Vintage Books, 1990, 331p.
- ADAMS, J. A. On the evaluation of training devices. **Human Factors**, 1979. 21, p.711-720.
- ADAMS, L. **Visualização e realidade virtual**. São Paulo, Ed. Makron Books, pp. 255-259. 1994.
- ANDREONI, G.; SANTAMBROGIO, C. G.; RABUFFETTI, M.; PEDOTTI, A. Method for the analysis of posture and interface pressure of car drives. Elsevier. **Applied Ergonomics**, 33, 511-522, 2002.
- ARAÚJO, R. B. **Especificação e análise de um sistema distribuído de realidade virtual**, São Paulo, Tese (Doutorado), Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Junho 1996. 144 p.
- ASARO, Peter. Transforming society by transforming technology: the science and politics of participatory design. **Accounting, Management and Information Technologies**, v. 10, p. 257-290, 2000.
- AUKSTAKALNIS, S.; BLATNER, D. **Silicon mirage : the art and science of virtual reality**. Berkeley: Peachip press,1992. 336p.
- AZUMA, R. et al. Recent Advances in Augmented Reality. **IEEE Computer Graphics and Applications**, vol. 21, 2001, p. 34-47.
- BAARS, E. M. **A gestão do design no contexto das empresas e órgão de fomento à indústria de Santa Catarina**. 2002 147f. Dissertação (Mestrado) Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2002.
- BADLER, N. **Computer Graphics Animation and Control. Simulating Humans**. New York, University Press, New York, 1993. 270p.
- BAXTER, M. **Projeto de produto**: guia prático para design de novos produtos. 2.ed., São Paulo, Edgard Blucher, 2000, 260p.
- BÉGUIN, P.; WEILL-FASSINA, A. **Da simulação das situações de trabalho à situação de simulação**. In: DUARTE, F. (Org.) Ergonomia e projeto na indústria de processo contínuo. Rio de Janeiro, Editora Lucerna, 2002. p. 34-63.
- BONSIEPE, G. **Design: do material ao digital**. Florianópolis: FIESC/IEL Santa Catarina, 1997. 192p. (Edição especial do LBDI Laboratório de Brasileiro de Design)
- BONSIEPE, G. **Teoria y práctica del diseño industrial**. Barcelona: Editorial Gustavo Gilli, 1978. 254p.

BOWMAN, D.A.; DATEY A.; RYU Y. S.; FAROOG U; VASNAIK O. **Empirical comparison of human behavior and performance with different display devices for virtual environments**. Grado Department of Industrial and Systems Engineering, Virginia Polytechnic Institute and State University, 1-5. 1999.

BRASIL: MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. Norma Regulamentadora nº 17 – NR-17. Disponível em : < http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/nr_17.pdf>. 2007. Acesso em: 10 dez. 2009.

BRUNETTI, G. et al. Virtual reality techniques supporting the product and process development, In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ALTA TECNOLOGIA, 5., 2000, Santa Bárbara. **Anais...** Santa Bárbara: UNIMEP, 2000. pp. 83-98.

BURDEA, G. E.; COIFFET, P. **Virtual reality technology**, New York, John Wiley & Sons, 1994. 128p.

BÜRDEK, B. E. **História, teoria e prática do design de produtos**. São Paulo, Editora Edgard Blücher, 2006. 496p.

CÂMARA, J. J. D.; VAZ, C. S. Design versus Ergonomia: considerações sobre a prática de ergonomia por profissionais provenientes das escolas de design. **Ação Ergonômica**, v. 1, p. 72-78, 2001.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Design para a competitividade**: recomendações para política industrial no Brasil, relatório síntese. Rio de Janeiro, DAMPI, Núcleo de Design, 1996. 33p. (Programa Brasileiro de Design ,12)

COSTA, R. M. E. M.; RIBEIRO, M. W. S. **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2009. p.146.

DANIELLOU, F. Simulating future work activity is not only a way of improving workstation design. **@ctivités revue électronique**, v. 4, n.2, 2007, p. 84-90. Disponível em: < <http://www.activites.org/v4n2/v4n2.pdf>> Acesso em: 20 jan. 2010.

DANIELLOU, F. Métodos em ergonomia de concepção: a análise de situações de referência e a simulação do trabalho. In:DUARTE, F. (Org.) **Ergonomia e projeto na indústria de processo contínuo**.Rio de Janeiro: Editora Lucerna, 2002. p. 29-33.

DENIS, R. C. **Uma introdução à historio do design**. São Paulo: Edgard Blucher, 2000. 240p.

FALZON, P. **Ergonomia**. São Paulo, Editora Blucher, 2007.

FERNANDES, B. C. A.; SANCHEZ, J. F. Realidade Aumentada aplicada ao Design. **Revista de Divulgação Científica e Tecnológica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte**, Holos, n.24, v.1. Rio Grande do Norte, 2008. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/viewArticle/161>>. Acesso em : 20 mar. 2010.

FORESTER, J. **The deliberative practitioner: encouraging participatory planning processes**. Cambridge: MIT Press, 1999. 305p.

FRÜND, J.; GAUSEMEIER, J.; MATYSCZOK, C.; RADKOWSKI, R. Application areas of AR-technology within automobile advance development. **International Workshop on Potential Industrial Applications of Mixed and Augmented Reality**, 2003.

GARDNER, R. **Boeing - magazine challenge: an engineering, operations e technology magazine**. Saint Louis, Missouri, 2007. p. 4-6. Disponível em: <<http://www.boeing.com/news/frontiers/archive/2007/december/dec07challenge.pdf>>. Acesso em: 14 mai. 2008.

GASPERINI, R.; PASCHOARELLI, L.C.; SILVA, J. C. P. Realidade Virtual como ferramenta de análise e validação ergonômica: uma possibilidade de aplicação. In: ERGODESIGN - CONGRESSO INTERNACIONAL DE ERGONOMIA E USABILIDADE DE INTERFACES HUMANO-TECNOLOGIA, 7. 2007, Balneário Camboriú, 2007. **Anais...** Balneário Camboriú: Ergodesin, 2007. 1 CD-ROM.

GILL, S.A.; RUDDLE, R.A. **Using virtual humans to solve real ergonomic design problems**. In: SIMULATION 98 INTERNATIONAL CONFERENCE , v.1, (Conf. Publ. No. 457), York, UK pp. 223 – 229, October 1998.

Disponível em:
<<http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/login.jsp?url=/iel4/5938/15810/00731853.pdf>>.
Acesso em : 14 mai. 2008.

GUERIN, F; LAVILLE, A; DANIELLOU, F; DURAFFOURG, J; KERGUELEN, A. **Comprendre le travail pour le transformer. La pratique de l'ergonomie**. Mountrouge : ANACT, 1991. 322p.

HANCOCK, D. *Viewpoint: virtual reality in search of middle ground*, **IEEE Spectrum**, v.32, p.67-70, 1995.

HAND, C. Other faces of virtual reality, First International Conference MHVR'94 - Lecture Notes in Computer Science n.1077, Rússia: **Springer**, 1994. p.107-116.

ICSID. **Internacional concil of societies of industrial design**. Disponível em: <<http://www.icsid.org>>. Acesso em: 13 dez. 2009.

IIDA, I. **Ergonomia: projeto e produção**. 2.ed., São Paulo, Edgard Blucher, 2005. 630p.

JACOBSON, L. **Realidade virtual em casa**. Rio de Janeiro, Berkeley, 1994. 445p.

JASTRZEBOWSKI, W. An outline of ergonomics, or the science of work. **Central Institute for Labour Protection**, Varsóvia, 1857.

KALAWSKY, R.S. **The Science of virtual reality and virtual environments**. Boston, Addison-Wesley, 1993.

KINKADE, R. G.; WHEATON, G. R. Training device design. In: Human engineering guide to equipment design. Washington : **Government Printing Office** ,1972. p 667 – 699.

KIRWAIN, B; AINSWORTH, L. K. **A Guide to task analysis**. Taylor and Francis. London, 1992. 417p.

KRUEGER, M. W. **Artificial reality II**. Addison-Wesley, Reading, MA, USA, 1991. 304p.

KUHN, G. R.; GOMES, P. C. R. **Animação de um Personagem Virtual Utilizando Captura Óptica de Movimento com Marcações Especiais**. Disponível em: < <http://www.inf.furb.br/seminco/2005/artigos/134-vf.pdf>> 2005. Acesso em: 20 jan. 2010.

LÄMKULL, D.; HANSON, L.; ÖRTENGREN, R. The influence of virtual human model appearance on visual ergonomics posture evaluation. **Applied Ergonomics**, v.38, p.713-722, 2007.

LANDAU, K. **Ergonomic software tools in product and workplace design**. Stuttgart, Germany: Verlag ERGON GmbH. 2000. 276p.

LATTA, J.N.; OBERG, D. J. A conceptual virtual reality model. **IEEE Computer Graphics & Applications**, p.23-29, 1994.

LEITE, M, K.; SOARES, J. M. R.; MARTINS, A. P.; SILVA, J. C. P.; PASCHOARELLI, L. C. Ergonomia: tendências e apresentações no cenário brasileiro. In: ERGODESIGN - CONGRESSO INTERNACIONAL DE ERGONOMIA E USABILIDADE DE INTERFACES HUMANO-TECNOLOGIA, 7., 2007, Balneário Camburiú. **Anais...**Balneário Camboriú, 2007. 1 CD ROM.

LEPLAT, J. **Simulation and generalization work context: some problems and comments**. In: BREHMAER B., Models of human activities in work context. Dinamarca: Riso National laboratory, v.1, p.15-24, 1992,

LESTON, J. Virtual reality: the it perspective, **Computer Bulletin**. p.12-13, June, 1996.

LOPES, L. F. B. **O Estudo e a implementação de interfaces para utilização em sistemas de realidade aumentada**. 2005. 108f. Dissertação (Mestrado), Centro Universitário Eurípides de Marília, Marília. 2005.

LOPES, P. R. **Aplicação do ambiente simulado na resolução de Problemas ergonômicos em postos de trabalho Industrial.** 2004. 108f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 2004.

MACHADO, L. S. **Conceitos básicos da realidade virtual. Monografia,** INPE-5975-PUD/025, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos/SP, novembro 1995. Disponível em: <<http://www.lsi.usp.br/~liliane/conceitosrv.html>>, 1995. Acesso em: 28 jul. 2007.

MALINE, J. **Simuler pour approcher la réalité des conditions de realization du travail: la gestion d'un paradoxe.** In: COLLECTION COLLOQUES, LA SIMULATION EN ERGONOMIE: CONNAÎTRE, AGIR ET INTERAGIR. Coordinateurs Pascal Béguin; Annie Weill-Fassina, Octares Editions, Toulouse, France, 1997.

MARRAS, W.S.; FATHALLAH, F.A.; MILLER, R.J.; DAVIS, S.W.; MIRKA, G.A. Accuracy of a three-dimensional lumbar motion monitor for recording dynamic trunk motion characteristics. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v9, p.75-87, 1992.

MASCHIO, V. A. **A estereoscopia: Investigação de processo de aquisição, edição e exibição de imagens estereoscópicas em movimento,** 2008. 231f. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista – Bauru 2008.

MEISTER D. **Evaluation of human work: simulation and modeling,** London, 2.ed. Taylor & Francis, 1995. p.202-228.

MILGRAM, P.; DRASCIC, D. Perceptual issues in augmented reality. **SPIE**, San Jose, 1996. v. 2653, p.123-134.

MORAES, A. Quando a primeira sociedade de ergonomia faz 50 anos, a IEA chega aos 40, a Associação Brasileira de Ergonomia debuta com 16. In: ABERGO 1999 - IX Congresso Brasileiro de Ergonomia, III Seminário de Ergonomia da Bahia, 1999, Salvador, Bahia. **Anais...Bahia: ABERGO - Associação Brasileira de Ergonomia,** 1999. 1 CD-ROM.

MORAES, A.; MONT'ALVÃO, C. **Ergonomia conceitos e aplicações.** 2. ed. Rio de Janeiro: Editora 2AB, 2000. 132p.

MULLER, M. J. **Participatory design: the third space in HCI.** In: Mahway, N. J. Handbook of HCI. New York: Lawrence Erlbaum, 2003. 356p.

MURRELL, K.F.H. **Ergonomics – man and his working environment.** London: Chapman and Hall. 1965. 496p.

OLIVEIRA, F. P. Z. **Projeto Participativo – Um estudo de caso: A especificação dos requisitos de um sistema de informação para uma escola.** 2004. 180f. Dissertação (Mestrado), Programa de pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2004.

OMBREDANE, A.; FAVERGE, J. **L'analyse du travail. Facteur d'économie humaine et de productivité.** Presse Universitaire de France - PUF, Paris. 1955.

PINHEIRO, A. P. **Desenvolvimento de um sistema de captura e análise de movimentos baseado em técnicas de visão computacional.** 2008. 109f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2008.

PIMENTEL, K.; TEIXEIRA, K. **Virtual reality - through the new looking glass.** 2.ed. New York, McGraw-Hill, 1995.

PRATSCHKE, A.; ALMEIDA, C. R. P.; LA ROCCA, R.; SANTIAGO R. P. **Da participação à colaboração_ estruturando ambientes digitais de conhecimento.** In: SIGraDi 2005 – 9º Iberoamerican Congress of Digital Graphics. Lima, Peru, v. 1, p. 315-320, 2005. Disponível em: <http://cumincades.scix.net/data/works/att/sigradi2005_315.content.pdf> Acesso em: 23 de mai. 2010.

QUARESMA, M.; MORAES, A. *Ergodesign: uma solução para a interação Ergonomia-Design.* In: ERGODESIGN - CONGRESSO INTERNACIONAL DE ERGONOMIA E USABILIDADE DE INTERFACES HUMANO-TECNOLOGIA, 1. 2001, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Ergodesign 2001. 1 CD-ROM.

RAPOSO, A.B.; ZENBERG, F.; GATTASS, M.; CELES, W. **Visão Estereoscópica, Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Colaboração.** 2004. Disponível em: <http://www.tecgraf.puc-rio.br/publications/artigo_2004_visao_estereoscopica_realidade_virtual.pdf>. Acesso em : 16 de jan. 2009.

REIS, A, A. *Pesquisa interdisciplinar para um módulo simulador de vôo: o processo em design.* In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE PESQUISA EM DESIGN, 4. 2007, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Nacional de Pesquisa em Design, 2007. v.1, p. 1-7.

REUZEAU, F. **Assister l'évaluation participative de systèmes complexes: role des saviors et savoir-faire dans la conception d'un poste de pilotage d'avion.** 2000 Thèses (Doctorat) – CNAM, Paris, 2000.

REVISTA BANDEIRANTES, São Paulo, cbnews editora, 2008. 32p.

RIGHI, C. A. R.; SANTOS, N.; CASTANHA, E. D. A Ergonomia como base conceitual para o Design de bens de capital. In: ERGODESIGN - CONGRESSO INTERNACIONAL DE ERGONOMIA E USABILIDADE DE INTERFACES HUMANO-TECNOLOGIA, 5. 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Ergodesign 2005. 1 CD-ROM.

ROGALSKI, J. **Simulations: fonctionnalités? Validités? Approche sur lê cãs de la gestion dévironnements dynamiques ouverts.** In: Collection Colloques, La simulation en ergonomie: Connaître, agir et interagir, Coordinateurs Pascal Béguin; Annie Weill-Fassina, Octares Editions, Toulouse, France, 1997. p.56-75.

SANTOS, S. S. **O Design Participativo do Sistema de Informações da Associação dos Agricultores Ecológicos da Encostas da Serra Geral – AGRECO**. 2002. 90f. Dissertação (Mestrado), Programa de pós-graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2002.

SCHIAVINI, R.; EVERLING, M.T. O ensino da Ergonomia no Desenho Industrial. In: ERGODESIGN - CONGRESSO INTERNACIONAL DE ERGONOMIA E USABILIDADE DE INTERFACES HUMANO-TECNOLOGIA, 1., 2001, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Ergodesign, 2001. 1 CD-ROM.

SCHIAVINI, R.; KINDLEIN JÚNIOR, W.; CÂMARA, J. J..D. O ensino do design industrial e a ergonomia. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE PESQUISA EM DESIGN, 1., e CRONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM DESIGN, 5., 2002, Brasília. **Anais...** Brasília: Congresso Internacional de Pesquisa em Design e 5º Crongresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design, 2002. 1 CD-ROM.

SEIDL, A. *Ramsis* - A New Cad Tool for Ergonomic Analysis of Vehicles Developed for the German Automotive Industry. **Society of Automotive Engineers**, Technical Paper 970088, 1997.

SILVA, F. W. S. V. **Um sistema de animação baseado em movimento capturado**. 1998. 101f. Dissertação (Mestrado) Laboratório de Computação Gráfica COPPE/Sistemas, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998.

SOARES, M. M. 21 anos da ABERGO: a ergonomia brasileira atinge a sua maioria. In: ABERGO 2004 - XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ERGONOMIA, II FORUM BRASILEIRO DE ERGONOMIA, 13. E CONGRESSO BRASILEIRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA EM ERGONOMIA, 1., 2004, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: ABERGO - Associação Brasileira de Ergonomia, 2004. 1 CD-ROM.

SPINUZZI, C. A. **Scandinavian challenge, a US response: methodological assumptions in scandinavian and US prototyping approaches**. New York : ACM Press, 2002. p. 208 – 215.

SUTHERLAND, D. H. **The evolution of clinical gait analysis Part II Kinematics. Gait and Posture**, n. 16, p.159-179, 2002.

THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 7.ed. , São Paulo, Cortez, 1996. 128p.

TORI, R.; KIRNER, C.; SISCOOTTO, R. **Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada**. Porto Alegre, Editora SBC – Sociedade Brasileira de Computação, 2006. 412p.

VALÉRIO NETTO, A. **Prototipação de um torno CNC utilizando realidade virtual**. 1998. 131f. Dissertação (Mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

VALÉRIO NETTO, A.; ANITELLE, A. T. ; PENACHIO, A. M. Virtual reality technology for the automotive engineering area. In: CONGRESSO 2002 SAE BRASIL, 2002, São Paulo. **Anais...**São Paulo: SAE Brasil, 2002.

VALÉRIO NETTO, A.; FERREIRA DE OLIVEIRA, M. C. **Realidade Virtual: Noções básicas sobre o tema e suas áreas de aplicação.** Disponível em: <<http://cg2007.1.googlepages.com/aulaIntroRV.pdf>>, 2001. Acesso em: 18 abr. de 2009.

VALÉRIO NETTO, A.; FERREIRA DE OLIVEIRA, M. C. **Realidade Virtual aplicada ao desenvolvimento de produto.** In: SBC SYMPOSIUM ON VIRTUAL REALITY, 4., Florianópolis, 2001. p. 44-55.

VAN AMSTEL, F. M.C. **Das interfaces às interações: design participativo do Portal Broffice.org.** 2008. 128f. Dissertação (Mestrado), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

WHICKER, M. L; SIGELMAN, L. **Computer simulation applications: an Introduction.** Newbury Park: Sage Publications, 1991. 160p.

WHITMAN, L. E. W.; JORGENSEN, M. J.; HATHIYARI, K.; MALZAHN, D. **Virtual reality: its usefulness for ergonomic analysis.** 2004. In: 2004 WINTER SIMULATION CONFERENCE. Supported by the National Science Foundation under Grant No. 0125414, Washington, 2004.
Disponível em: < <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1162059>> Acesso em : 15 set. 2008

VILELA, J. B. et al. **Desenvolvimento virtual de produto,** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO, 2., São Carlos, p. 187-190, Agosto, 2000.

WILSON, R. Virtual environments applications and applied ergonomics. **Applied Ergonomics**, v.30, 3 – 9, 1999.

WISNER, A. **A inteligência no trabalho: textos selecionados de ergonomia.** FUNDACENTRO, São Paulo. 1994. 191p.

VON SCHWEBER, L. E VON SCHWEBER , E. Cover story: realidade virtual, **PC Magazine Brasil**, v. 5, n. 6, p. 50-73, 1995.

WOODS, D. D; POPLE, H.E; ROTH, E.M. The cognitive environment simulation as a tool for modelling human performance and reliability. Washington: **Report NUREG/CR-5213 Nuclear Regulatory Commission**, 1990.

APÊNDICES

Apêndice A – Protocolo de abordagem

QUESTIONÁRIO

DE

PERCEPÇÃO

(Centro de Realidade Virtual)

(Captura de movimentos)

2009

QUESTIONÁRIO PARA OS PARTICIPANTES DO CRV

Nome da pesquisa: Percepção quanto à utilização do Centro de Realidade Virtual (captura de movimentos) aplicado à análise ergonômica da selagem no Objeto.

Responsável: Núcleo de ergonomia Industrial (ramal: 3134)

TERMO DE CONSETIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Informações aos participantes: Os Colaboradores que participarem das atividades propostas para a coleta de dados terão suas respostas estudadas para colaborar no estabelecimento da relação “da utilização do Centro de Realidade Virtual (CRV) utilizando a ferramenta de captura de movimentos aplicada à análise ergonômica da selagem do objeto de estudo” a fim de validar as propostas de melhorias os quais não seria possível momentaneamente executar em um local físico. Este estudo é bastante importante para que possamos conhecer quais as atividades realizadas são mais desgastantes, necessitando de maior atenção na intervenção ergonômica e de como realizar modificações mais efetivas (mudanças ambientais, de equipamentos, sistema de produção, etc).

Eu, _____, abaixo assinado, estou ciente que faço parte da pesquisa. Contribuirei com dados ao responder um questionário, ao ter minhas atividades registradas em filmagem ou fotos e ao participar de discussões sobre atividades envolvidas. Declaro estar ciente:

- a) Do objetivo do projeto;
- b) Da segurança de que não serei identificado e que será mantido o caráter confidencial das informações que prestarei;
- c) De ter liberdade de recusar participar da pesquisa.

Data: _____

UTILIZAÇÃO DO CENTRO DE REALIDADE VIRTUAL

QUESTIONÁRIO DE PERCEPÇÃO				
Nome			Função / Cargo	
Turno	Idade	Sexo		
		() F	() M	
Tempo na empresa		Tempo na função		

-3	-2	-1	0	1	2	3
Atrapalha Muito	Atrapalha	Atrapalha pouco	Não Ajuda	Ajuda pouco	Ajuda	Ajuda Muito

Legenda: Escala subjetiva

1 – Com relação ao uso do CRV (Centro de realidade Virtual) aplicando a técnica de captura de movimentos, você considera que o objetivo de visualizar as possíveis posturas do operador foi atingido? Marque na escala abaixo.

-3	-2	-1	0	1	2	3
←				→		

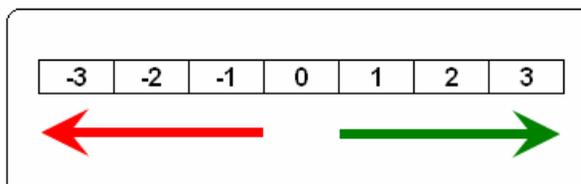
Observações:

2 – Você considera a ferramenta RV (Realidade Virtual) de grande avalia para projetos referente a ergonomia ?

-3	-2	-1	0	1	2	3
←				→		

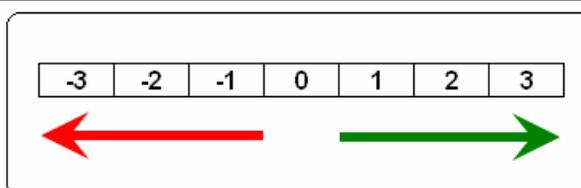
Observações:

3 – Para o projeto em questão (simulação do objeto em várias posições) a simulação virtual chegou próximo do real ?



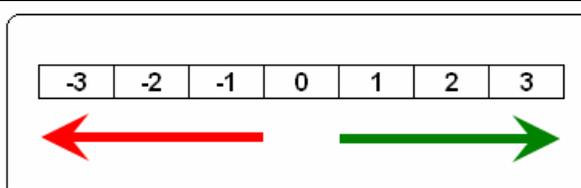
Observações:

4 – A captura de movimentos produz a sensação instantânea dos movimentos no manequim virtual a fim de ficar o mais próximos dos movimentos humanos.



Observações:

5 – As posturas críticas assumida pelo manequim virtual estava semelhante ao usuário (operador) que estava usando a roupa e os sensores de captura de movimentos na sala de projeção.



Observações:

6 – Com relação a visão produzida pelo capacete utilizado pelo o usuário (operador) você considera que conseguiu ter a percepção da visão do usuário (operador)?

-3	-2	-1	0	1	2	3
----	----	----	---	---	---	---



Observações:

7 – Somente a ferramenta de RV sem nenhum cenário auxiliar (dispositivos, cadeiras, mesa e objetos para interação) é suficiente para efetuar uma análise projetual ou ergonômica?

-3	-2	-1	0	1	2	3
----	----	----	---	---	---	---



Observações:

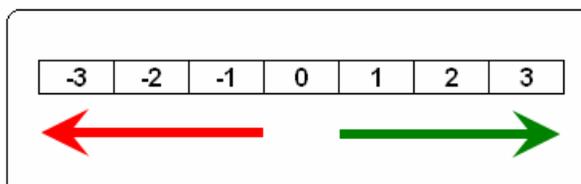
8 – Classifique o grau de importância em uma escala de 1 à 5, quais aplicações abaixo você considerou mais importante para o projeto com relação ao Centro de Realidade Virtual (CRV)?

- Análise da atividade através da movimentação simultânea (manequim virtual e usuário)
- Análise Postural (biomecânica)
- Possibilidade de interagir com cenários ainda não existentes fisicamente
- Percepção da visão do usuário (Visão do capacete)
- Interação do Usuário com o ambiente Virtual

Observações:

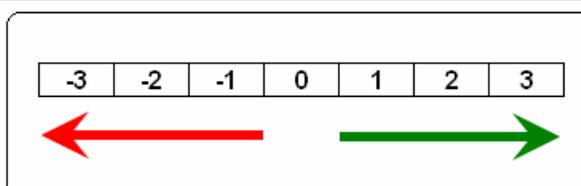
Somente para o colaborador (usuário) que utilizou a roupa e sensores de movimento em conjunto com o capacete.

1 – O CRV (Centro de Realidade Virtual) produz a sensação de envolvimento com ambiente virtual?



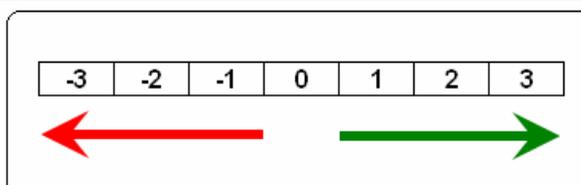
Observações:

2 – Com base na sua experiência exercida na atividade real do dia a dia (Considerando a mesma condição de trabalho – “Objeto com as janelas de inspeção para baixo) o CRV (Centro de Realidade Virtual) produz uma percepção próxima da atividade real com relação ao espaço e altura?”.



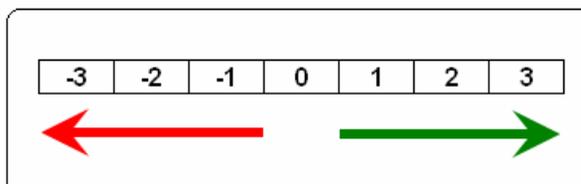
Observações:

3 – O CRV permitiu explorar todas as possíveis propostas com relação ao projeto “ Angulações do Objeto”?



Observações:

4 – A visão produzida pelo capacete é próximo da visão obtida no ambiente real (Considerando a mesma condição de trabalho – “Objeto com as janelas de inspeção para baixo) ?



Observações:

5 – Com relação a visões produzidas pelo CRV; óculos em 3D e o uso do capacete qual produz uma interação e envolvimento maior?

- Óculos 3D (obturadores)
- Capacete com sensor de movimentos

Observações:

6 – Classifique o grau de importância em uma escala de 1 à 5, quais aplicações abaixo você considerou mais importante para o projeto com relação ao Centro de Realidade Virtual (CRV)??

- Análise da atividade através da movimentação simultânea (manequim virtual e usuário)
- Análise Postural (biomecânica)
- Possibilidade de interagir com cenários ainda não existentes fisicamente
- Percepção da visão do usuário (Visão do capacete)
- Interação do Usuário com o ambiente Virtual

Observações:

7 – No seu ponto de vista, o que poderia ser feito para melhorar a sensação de envolvimento, interação para que a realidade virtual possa se aproximar do ambiente real?

ANEXO A – Autorização da Pesquisa pela Empresa



Botucatu, 01 de junho de 2009.

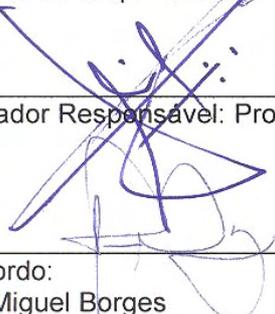
Ilmo Sr. Diretor Almir Miguel Borges

Venho mui respeitosamente solicitar a aprovação da aplicação do questionário de percepção sobre a utilização do Centro de Realidade Virtual como ferramenta de análise e validação ergonômica e sua publicação na dissertação como requisito para obtenção do Título de Mestre no curso de pós-graduação em Design, área de concentração: Desenho do produto; Linha de Pesquisa: Ergonomia; da Faculdade de Arquitetura Artes e Comunicação da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP – campus de Bauru – SP.

A referida Universidade se compromete a não divulgar o nome da empresa, como também utilizar os dados somente com o efeito de pesquisa no mestrado se comprometendo a não divulgação ou publicação das questões fora do âmbito da universidade.

Atenciosamente,


Pesquisador responsável: Ricardo Gasperini


Orientador Responsável: Prof. Dr. José Carlos Plácido da Silva

De acordo:
Almir Miguel Borges
Diretor Industrial