

Trabalho de Conclusão de Curso
Curso de Graduação em Física

ENSINO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Angelica Cassoni Barracco

Prof. Dr. Luiz Antonio Barreiro

Rio Claro (SP)

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

ANGELICA CASSONI BARRACCO

ENSINO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS NA EDUCAÇÃO
BÁSICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel e Licenciado em Física. Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio Barreiro.

Rio Claro - SP
2019

B268e Barracco, Angelica Cassoni
Ensino de Física de Partículas na Educação Básica /
Angelica Cassoni Barracco. -- Rio Claro, 2019
69 p. : il., tabs., fotos + 1 CD-ROM

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado e licenciatura -
Física) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de
Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro
Orientador: Luiz Antonio Barreiro

1. Quarks. 2. Modelo Padrão. 3. Recursos didáticos. 4.
Sequência didática. 5. Ensino de Física: Educação Básica. I.
Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do
Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor (a)

Essa ficha não pode ser modificada.

ANGELICA CASSONI BARRACCO

ENSINO DE FÍSICA DE PARTÍCULAS NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas - Câmpus de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, para obtenção do grau de Bacharel e Licenciado em Física.

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Luiz Antonio Barreiro (orientador)

Prof. Dr. Roberto Hessel

Prof. Dr. Edson Denis Leonel

Rio Claro, ____ de _____ de _____.

Assinatura da aluna

Assinatura do orientador

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a meus pais, Umberto e Eliana, pelos conselhos, críticas construtivas, orientações e pela educação de qualidade que me ofereceram, o que permitiu que eu chegasse onde estou.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Luiz Antonio Barreiro, por todas as oportunidades oferecidas; pela dedicação, paciência e prontidão; pelo acompanhamento e carinho desde o meu primeiro ano na graduação.

Ao Prof. Dr. Eugenio de Maria França Ramos por tudo o que me foi ensinado durante a sua incrível, mas absurdamente exigente, orientação no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação à Docência (PIBID), bem como, em ambas as disciplinas de Prática de Ensino e Estágio Supervisionado. Gostaria ainda de agradecer-lo pela honestidade e paciência, por aumentar a minha paixão pela docência e acreditar no meu potencial como Professora, em ambos os casos mencionados anteriormente.

A todos os Professores e Professoras da Universidade Estadual Paulista (UNESP) em Rio Claro - SP pelas aulas ministradas.

Ao Departamento de Física e seus Professores, principalmente ao Prof. Dr. Edson Denis Leonel e ao Prof. Dr. Roberto Hessel, por todo o apoio e ajuda nesta importante etapa de minha vida, aos quais serei eternamente grata.

À Sá, à Eli e à Val por todos os conselhos, broncas, paciência, orientações, e, principalmente nessa época final, pelos abraços e colos para eu chorar durante as minhas crises.

Ao Adriano por toda a ajuda nessa etapa final e ao Fattori pelas artes e assistências técnicas.

Aos meus amigos e amigas que me acompanharam e me auxiliaram durante esta fase da graduação.

Por fim, gostaria de agradecer, novamente, ao Eugenio e ao Barreiro por todo o suporte psicológico e emocional durante toda a minha graduação.

RESUMO

Este trabalho tem como intuito discutir o Ensino de Física de Partículas na Educação Básica com construção de sequências didáticas a partir da combinação de recursos didáticos alternativos. O foco do estudo foi a importância do ensino de Física de Partículas Elementares desde os anos iniciais até os anos finais da Educação Básica e como fazê-lo. Para isso analisou-se a viabilidade pedagógica, explicou-se as possíveis utilizações e a importância de recursos didáticos: jogos, experimentos, mapas conceituais, audiovisual e literatura. Como todos são viáveis, as combinações foram escolhidas a partir da pertinência para cada faixa etária. Assim, as sequências didáticas de cada etapa foram apresentadas detalhadamente bem como a metodologia escolhida para cada recurso: Quarkle!+; Disco de Newton de LED's; Câmara de nuvens; mapas conceituais tanto para definir os conhecimentos prévios e provocar discussões como para avaliar se houve aprendizagem significativa; vídeos para motivar e ilustrar conceitos; e leitura de artigos de divulgação científica. Por fim, conclui-se com a apresentação de ideias a serem realizadas em um futuro próximo.

Palavras-Chave: Quarks. Modelo Padrão. Recursos didáticos. Sequência didática. Ensino de Física: Educação Básica.

ABSTRACT

This monography aims to discuss the teaching of particle physics in elementary school, creating teaching sequences from the combination of alternative educational resources. The focus of the study was the importance of teaching elementary particle physics from the beginning to the end of the basic education and how to do it. For this reason, we analyze the pedagogical viability, explain the possible uses and the importance of educational resources: games, experiments, concept maps, audiovisuals and literature. As all are possible, the combinations were chosen based on the relevance of each age group. Therefore, the teaching sequences of each step were presented in detail, as well as the methodology chosen for each resource: Quarkle! +; Newton LED disc; Cloud room; concept maps to define prior knowledge and stimulate discussion and to assess whether there has been significant video learning to motivate and illustrate concepts; and the Reading of popular science articles. Finally, it ends with the presentation of ideas to be implemented in the near future.

Keywords: Quarks. Standard Model. Teaching Resources. Didactic Sequence. Physics Teaching: Basic Education.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	8
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1 O Ensino de Física Moderna	10
2.2 Introdução histórica da física de partículas	15
2.3 Operadores de Gell-Mann	22
2.4 Números quânticos de cor	25
3 RECURSOS	30
3.1 Jogos	30
3.2 Experimentos	35
3.3 Mapa conceitual	38
3.4 Audiovisual	44
3.5 Literatura	44
4 PROPOSTAS PEDAGÓGICAS	49
4.1 Ensino Fundamental I	49
4.2 Ensino Fundamental II	52
4.3 Ensino Médio	54
5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS	62
APÊNDICE A: BARALHO DO JOGO QUARKLE +!	63
APÊNDICE B: REGRAS DO JOGO QUARKLE!	66
ANEXO A: DISCO DE NEWTON COM LED's	68

1 INTRODUÇÃO

A situação da educação no Brasil está cada vez pior. Entretanto, o caso do ensino de Física é um pouco mais alarmante, principalmente no ensino médio. Para Neto e Pacheco (2001, p. 17) o ensino de Física no Brasil é caracterizado da seguinte forma:

“Ao longo de quase 160 anos, o processo escolar de ensino-aprendizagem dessa ciência tem guardado mais ou menos as mesmas características. Um ensino calcado na transmissão de informações através de aulas quase sempre expositivas, na ausência de atividades experimentais, na aquisição de conhecimentos desvinculados da realidade. Um ensino voltado primordialmente para a preparação aos exames vestibulares, suportado pelo uso indiscriminado do livro didático ou materiais assemelhados e pela ênfase excessiva na resolução de exercícios puramente memorísticos e algébricos [...]. Um ensino que apresenta a Física como uma ciência compartimentada, segmentada, pronta, acabada, imutável”.

Segundo Alves (2006) e Anjos (2013) a maioria dos alunos provenientes de escolas públicas não conseguem compreender, desenvolver aptidão e relacionar os conteúdos adquiridos em sala de aula com fenômenos físicos do cotidiano. Estes alunos também são incapazes de perceber a importância da Física para o desenvolvimento tecnológico e, principalmente, para o bem-estar social.

Acredita-se que isto ocorre por vários motivos. O primeiro é o contato tardio com a disciplina, bem como, a apresentação desmotivadora da Física, uma vez que, além de enfatizar exageradamente o formalismo matemático, é desatualizada e descontextualizada por focar apenas na Física Clássica. O segundo é a falta da linguagem científica, símbolos, significados e conceitos prévios.

Assim, incluir a Física Clássica, Moderna e Contemporânea, no ensino fundamental, permite um primeiro contato com esta ciência; introduzir a linguagem científica na estrutura cognitiva dos alunos; além de despertar curiosidade nestes ao trabalhar os conceitos físicos presentes no seu cotidiano. Portanto, esta abordagem poderia reduzir as dificuldades de aprendizado dos alunos quando estiverem no ensino médio.

Abordar conceitos de Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica através da utilização de práticas pedagógicas inovadoras no ensino gera: motivação, organização, gestão da informação, conhecimento e melhora a relação entre professor e aluno. Ou seja, uma forma de ensino-aprendizagem que facilite o desenvolvimento do conhecimento. Por fim, permite a desmistificação do método

científico positivista e que a formação do discente será mais atual e contextualizada. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivos:

- a) Discutir o Ensino de Física de Partículas na Educação Básica;
- b) Analisar recursos didáticos para o Ensino de Física de Partículas;
- c) Construir uma sequência didática para a Educação Básica.

Portanto, a dissertação está organizada da seguinte forma:

No primeiro capítulo será estabelecida uma fundamentação teórica na qual inicialmente discute-se o panorama atual e a necessidade do Ensino de Física Moderna, bem como, seu embasamento nas políticas públicas. Em seguida é feita a introdução histórica da Física de Partículas e discute-se os Operadores de Gell-Mann e Números quânticos de cor. No segundo capítulo serão apresentados alguns recursos didáticos e a viabilidade ou forma de sua utilização na sequência didática será analisada. No terceiro capítulo serão apresentadas as propostas pedagógicas para diversos níveis da Educação Básica. O quarto e último capítulo apresenta as conclusões e perspectivas do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 O Ensino de Física Moderna

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) do Ensino Fundamental I definem Ciências como a área que estuda a natureza e evidenciam que conhecer a natureza não é simplesmente acumular informações e interpretações. Para conhecê-la, as Ciências a estudam a partir da compreensão do universo, do espaço, do tempo, da matéria, do ser humano e da vida. Com isso é possível descobrir e explicar novos fenômenos naturais, organizar e sintetizar o conhecimento em teorias, trabalhadas e debatidas pela comunidade científica, que também se ocupa da difusão social do conhecimento produzido.

Ao levar isto em conta, o respectivo documento (PCN p.31) estabelece que ao fim do Ensino Fundamental I os alunos devem ser capazes de:

- compreender a natureza como um todo dinâmico, sendo o ser humano parte integrante e agente de transformações do mundo em que vive;
- identificar relações entre conhecimento científico, produção de tecnologia e condições de vida, no mundo de hoje e em sua evolução histórica;
- formular questões, diagnosticar e propor soluções para problemas reais a partir de elementos das Ciências Naturais, colocando em prática conceitos, procedimentos e atitudes desenvolvidos no aprendizado escolar;
- saber utilizar conceitos científicos básicos, associados à energia, matéria, transformação, espaço, tempo, sistema, equilíbrio e vida;
- saber combinar leituras, observações, experimentações, registros, etc., para coleta, organização, comunicação e discussão de fatos e informações;
- valorizar o trabalho em grupo, sendo capaz de ação crítica e cooperativa para a construção coletiva do conhecimento;
- compreender a saúde como bem individual e comum que deve ser promovido pela ação coletiva;
- compreender a tecnologia como meio para suprir necessidades humanas, distinguindo usos corretos e necessários daqueles prejudiciais ao equilíbrio da natureza e ao homem.

Como é possível notar, todas estas capacidades são essenciais para a alfabetização científica, bem como para compreensão da Física. Esta ciência é citada direta e indiretamente várias vezes no documento, como por exemplo na seção “Por que ensinar Ciências Naturais no ensino fundamental: Ciências Naturais e Cidadania?” em que há um breve resumo do desenvolvimento da ciência, cujo enfoque histórico é dado à evolução da Física Clássica. Além disso, a Física Moderna e Contemporânea está presente em todos os exemplos referentes à interdependência entre a ciência e tecnologia. Outrossim, o capítulo menciona

indiretamente a necessidade da implementação dos conteúdos da Física, em especial a Moderna:

“(...) As ideias herdadas da cultura clássica revelam-se insuficientes para explicar fenômenos, quando abordados do ponto de vista do infinitamente pequeno e do infinitamente grande” (*Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN, BRASIL, 1997, p. 24*).

Ademais, a educação científica possui uma dimensão filosófica indispensável no processo educativo, permite o desenvolvimento do pensamento científico e as características que o englobam, como ressalta Moreira:

[...] A educação em ciências, por sua vez, tem por objetivo fazer com que o aluno venha a compartilhar significados no contexto das ciências, ou seja, interpretar o mundo desde o ponto de vista das ciências, manejar alguns conceitos, leis e teorias científicas, abordar problemas raciocinando cientificamente, identificar aspectos históricos, epistemológicos, sociais e culturais das ciências. (Moreira, 1999, pg.1).

Ao analisar os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) do Ensino Fundamental II nota-se que definição de Ciências e os objetivos são os mesmos do PCN do Ensino Fundamental I. Entretanto o documento faz uma comparação da profundidade e de como as ciências são abordadas em ambos os casos, como demonstra a passagem a seguir:

Nos primeiros ciclos, por meio de diferentes atividades, os estudantes conhecem fenômenos, processos, explicações e nomes, debatendo diversos problemas e organizando várias relações. É uma aprendizagem, muitas vezes lúdica, marcada pela interação direta com os fenômenos, os fatos e as coisas. Poderão também construir noções científicas com uma menor complexidade e abrangência, ampliando suas primeiras explicações, conforme seu desenvolvimento permite. Nos ciclos finais, conforme as aquisições anteriores, os estudantes poderão trabalhar e sistematizar ideias científicas mais estruturadas (*Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN, BRASIL, 1998, p. 29*).

Este documento também determina os critérios para a seleção dos conteúdos de ciência a serem abordados. Os conteúdos a serem abordados devem favorecer a construção da concepção de que o mundo é formado por elementos inter relacionados; promover as relações entre diferentes fenômenos naturais e objetos da tecnologia; ser relevantes do ponto de vista social, cultural e científico, possibilitando a percepção de que o mundo está em constante transformação por ações humanas e naturais, bem como que a ciência está em constante mudança; e apresentar fatos, conceitos, procedimentos, atitudes e valores a serem desenvolvidos pelos estudantes, permitindo aprofundamento em seus conhecimentos atuais. Estes critérios apresentam-se resumidos no mapa conceitual da Figura 01.

Figura 01: Mapa conceitual dos critérios para a escolha de conteúdos a serem abordados na área de Ciências da Natureza.



Fonte: Autoria própria.

Por conseguinte, com o estudo destes Parâmetros para as Ciências Naturais, nota-se que é presente e justificada a viabilidade da implementação da Física, inclusive moderna e contemporânea desde cedo, uma vez que ela é uma Ciência da Natureza.

As Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Nacionais para o Ensino Médio (PCN+) (2002) estabelecem que é necessária a contextualização e interdisciplinaridade dos temas abordados, de modo que os discentes *“possam desenvolver competências, habilidades específicas das áreas de conhecimento, capacitando o estudante a atuar e viver em um mundo tecnológico, complexo e em permanente transformação”*.

Além disso, há a menção direta da estrutura da matéria nestes documentos, como é possível conferir no PCN Mais (2001, p. 19):

“(…) A compreensão dos modelos para a constituição da matéria deve, ainda, incluir as interações no núcleo dos átomos e os modelos que a ciência hoje propõe para um mundo povoado de partículas. (…) o estudo da matéria e radiação indica um tema capaz de organizar as competências relacionadas à compreensão do mundo material microscópico”.

Como dito por Praxedes e Krause (2015) os alunos do ensino médio sentem extrema dificuldade em associar a parte teórica com a parte prática, ademais de não entenderem o porquê de estudar Física, bem como sua importância. Sendo assim, introduzir a disciplina combinando recursos alternativos no Ensino

Fundamental, aumenta os anos de estudo destes conteúdos pelos discentes, possibilitando contato com a linguagem científica e a criação de uma estrutura cognitiva de um aprendizado em Física, bem como, que ao aprenderem a parte teórica saibam aplicá-la em experimentos e reconhecê-la em seu cotidiano.

Além disso, crianças são curiosas e quando agem de forma ativa em seu aprendizado, permite-se que, ao desenvolverem pensamentos e ideias em conceitos relacionados à Física, produzam conhecimentos. Posto isto, os autores sinalizam como o fato de os alunos chegarem ao ensino médio com conhecimentos prévios e com a linguagem científica em sua estrutura cognitiva, os permitirá que, ao terem contato novamente com estes assuntos, ativem seus subsunçores, facilitando a aprendizagem de novos conceitos.

Os conceitos prévios, como enfatiza David Ausubel (1968), são essenciais para a aquisição de conhecimento, uma vez que esta depende da aprendizagem verbal e inúmeras outras aprendizagens simbólicas. Vale lembrar que para construir um novo conhecimento também é preciso: pesquisa, discussão, questionamento e reflexão.

A linguagem científica, para Carvalho (2005), é essencial para a compreensão dos conceitos físicos. Ressalta ainda que *“é preciso que o estudante consiga ver algum sentido no conjunto de questões feitas pelo professor e, principalmente, que compreenda a Física como uma forma diferente de pensar e falar sobre o mundo, que ele passe a entender essa outra língua - a língua das ciências”* (p.61). Assim, nota-se que a dificuldade em aprender física, bem como outras ciências, está associada ao déficit na formação da estrutura cognitiva do aluno. Essa malformação ocorre devido à ausência de símbolos e significados físicos, os quais não foram trabalhados corretamente no ensino fundamental. Com isso, não se propiciou a formação da estrutura linguística científica, ou seja, não gerou os subsunçores para estabelecer a ancoragem dos novos conhecimentos e facilitar a aprendizagem significativa desses conceitos.

A partir disso, para que o aluno adquira conhecimentos é necessário a construção de uma rede de significados com os subsunçores adequados para permitir o desenvolvimento de conceitos futuramente. Portanto, a introdução da física no ensino fundamental permitirá que este processo ocorra facilmente e com

maior naturalidade, quando o aluno estudar os conteúdos de Física no ensino médio.

De acordo com Ostermann, Moreira e Silveira (1992) a principal justificativa para a inserção da Física Moderna no ensino fundamental é que, além de o primeiro contato com a Física no ensino formal ocorrer indiretamente na disciplina de Ciências nesta fase, a maior parte da população brasileira está no primeiro grau. Isto significa que se não houver um maior aprofundamento destes conceitos nestes ciclos, a grande parte da população desconhecerá muitos conceitos de extrema importância.

Ostermann, Ferreira e Cavalcanti (1998) trazem que o conteúdo de Física abordado no Ensino Médio, atualmente, é restrito às teorias clássicas e focado em fórmulas, ao invés de conceitos. Isto, juntamente com o despreparo de professores, gera a deterioração do ensino, desmotiva os alunos e os desinteressa pela ciência. Isto demonstra a grande necessidade de atualizar o currículo possibilitando a introdução da Física Moderna e Contemporânea, a qual despertará a curiosidade dos estudantes, uma vez que estes temas estão presentes em seu cotidiano, seja em notícias como na tecnologia que utilizam.

Valadares e Moreira (1998) enfatizam que é indispensável que os discentes conheçam os fundamentos da tecnologia atual, pois esta afeta diária e diretamente sua vida em todos os âmbitos, podendo até mesmo ditar seu futuro profissional. Pinto e Zanetic (1999) retomam que é preciso ensinar a física que explica fenômenos que a física clássica não explica, ou seja, a Física Moderna e Contemporânea. Por fim, Pereira (1997) ressalta a necessidade da desmistificação do trabalho científico, mostrando que este não é linear e cumulativo, através da inclusão de conceitos físicos que proporcionem a formação de um cidadão esclarecido.

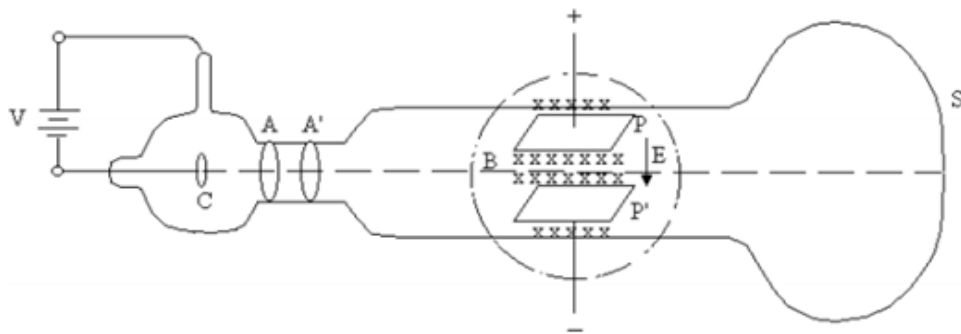
Logo, segundo os autores citados anteriormente, a introdução destes conhecimentos é justificada pela sua capacidade em despertar a curiosidade dos estudantes, por possibilitar que estes reconheçam a proximidade desta ciência com o mundo ao seu redor e sua realidade, demonstrar e explanar as ideias científicas revolucionárias do século XX que permitiram o desenvolvimento da tecnologia, e atrair jovens para a carreira científica como futuros pesquisadores e professores.

2.2 Introdução histórica da física de partículas

A física sempre buscou explicar a composição da matéria respeitando a simetria e as leis de conservação de energia. Durante estes estudos, estabeleceu-se que partícula elementar é toda partícula que não pode ser quebrada em partículas menores. Assim, partículas elementares são descritas por funções, as quais fornecem suas características e informações sobre a sua dinâmica.

Michael Faraday evidenciou, com a Eletrólise, a existência de “átomos de eletricidade”, os quais receberam o nome de elétron em 1894. Já em 1897, o físico inglês Joseph John Thomson mediu a razão carga/massa dos elétrons e a comparou com a razão para íons obtidos na eletrólise, demonstrando que a primeira é muito menor que a segunda. Isto foi feito na experiência com raios catódicos na Ampola de Crookes, mostrada na Figura 2, na qual os elétrons eram retirados do átomo e acelerados no vácuo na presença de uma diferença de potencial elétrico (d.d.p). Thomson também notou que os corpúsculos carregados eram os mesmos independentemente da composição do cátodo, do ânodo e do gás presente no tubo de raios catódicos.

Figura 2: Esquema do aparato experimental utilizado por Thomson na medida da razão e/m do elétron. V representa a fonte de tensão, C o cátodo, A o ânodo, B a bobina, e P e P' as placas do condensador.

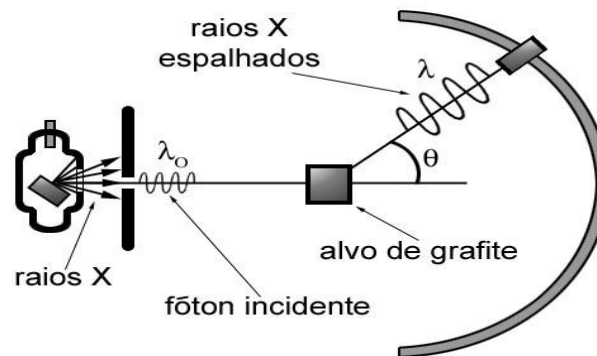


Fonte: BARREIRO, L. A. Aspectos de Partículas e Campos.

Assim, confirmou o elétron como partícula elementar de carga negativa com a massa bem definida e em 1906 recebeu o prêmio Nobel. Esta descoberta fez com que fosse necessária uma mudança no modelo atômico, uma vez que este deixou de ser indivisível, como postulado por Dalton. O modelo proposto por Thomson estabeleceu que os elétrons estavam em uma esfera de carga positiva e por isso ficou conhecido como pudim de passas.

Em 1905, o físico alemão Albert Einstein postulou a Relatividade Restrita e explicou o Efeito Fotoelétrico, para o qual considerou a hipótese de que a luz era composta por pacotinhos de energia. Estes pacotinhos de energia, também conhecidos como quantum de luz, receberam o nome de fótons. Esta partícula, com spin^1 1, sem massa e composta apenas de energia e momentum, teve sua existência confirmada na experiência do Efeito Compton, mostrada na Figura 3, em 1923. Assim, a segunda partícula elementar determinada foi o fóton.

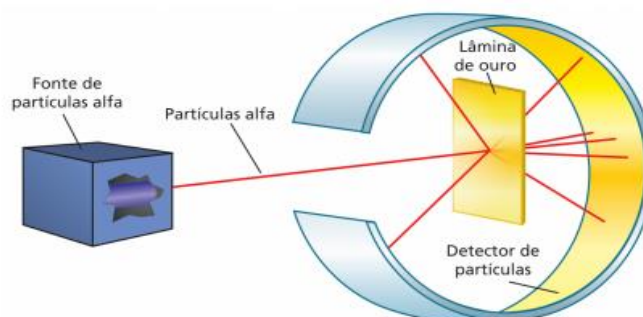
Figura 3: Esquema do equipamento utilizado por Compton



Fonte: <https://alemdainercia.wordpress.com/2016/03/01/fisica-quantica-efeito-compton/>

Em 1919, Ernest Rutherford, durante o experimento da lâmina de ouro, demonstrado no esquema da Figura 4, descobriu o próton – tal partícula possui spin $\frac{1}{2}$ e carga igual à do elétron, mas de sinal contrário – e em seguida, previu a existência do nêutron. Novamente houve a necessidade de alterar o modelo atômico, porque este experimento não teve o resultado previsto. Era esperado que partículas alfa apenas atravessassem a folha de ouro e não que desviassem seu trajeto ou fossem refletidas.

Figura 4: Esquema do experimento da Folha de Ouro de Rutherford



Fonte: Fundação CECIERJ.

¹ Spin é o momento angular intrínseco das partículas elementares. Foi nomeado assim por Uhlenbeck e Goudsmit somente em 1925. Como Stern e Gerlach fizeram seu experimento em 1922, tal conceito não existia antes.

Em 1932, James Chadwick descobriu o nêutron com spin $\frac{1}{2}$ e massa igual à do próton. Lembrando que, tanto o próton quanto o nêutron, não são partículas elementares, embora isso fosse desconhecido naquela época. Sendo assim, o novo modelo previa que no centro do átomo haveria um núcleo positivo composto por prótons e nêutrons e os elétrons descreveriam órbitas circulares em altas velocidades ao seu redor.

No contexto do desenvolvimento da mecânica quântica, Niels Bohr propõe que as energias dos elétrons nos átomos também são quantizadas. Ou seja, segundo ele os elétrons possuem valores de energia bem definidos e, quando realizam o movimento circular ao redor do núcleo, não podem irradiar energia continuamente e espiralar suavemente em direção ao núcleo. Assim, eles se limitam em “saltar” de um estado de energia a outro e emitir ou absorver energia para manter a energia total constante.

Em seguida, fornece a explicação quântica para os átomos, ou seja, os porquês do modelo de Bohr. Pauli postulou em 1927 uma equação de Schrödinger transformada (eq. de Pauli- Schrödinger) na qual aparece pela primeira vez as matrizes de Pauli. Com mais alguns estudos estabelece o Princípio de Exclusão de Pauli, segundo o qual duas partículas do mesmo tipo não podem ocupar o mesmo estado ao mesmo tempo.

Em 1928, Paul Dirac propôs uma equação de onda relativística, conhecida como Equação de Dirac, que descreve muito bem partículas elementares de spin $\frac{1}{2}$. Tal equação permitiu que ele previsse a existência da antimatéria, tal como o anti-elétron e anti-próton, a qual possui as mesmas características que a matéria, porém, com cargas inversas. O anti-elétron, conhecido como pósitron, foi detectado por Carl David Anderson em 1932.

Com a persistência do mistério da indefinição da energia atômica emitida pelo núcleo, em 1930, Pauli postulou a existência do neutrino, uma partícula leve, neutra e de fraca interação com a matéria. Esta partícula, com spin $\frac{1}{2}$, massa e cargas nulas, seria emitida no decaimento beta para equilibrar a aparente falha da conservação de energia nas medidas do momento do elétron ejetado. O neutrino, a terceira partícula elementar, foi observado experimentalmente em 1956, no reator nuclear Savannah River, na Carolina do Sul, Estados Unidos.

Já em 1933, Hideki Yukawa propôs uma teoria para explicar a coesão de prótons e nêutrons no núcleo. Para isto, previu uma partícula mediadora, cuja massa seria 200 vezes maior que a do elétron, da teoria da interação nuclear.

Seth H. Neddermeyer e Anderson anunciaram, em 1937, a primeira evidência da existência do múon (μ), uma partícula elementar instável, observada em uma câmara de nuvens. Esta partícula de spin $\frac{1}{2}$ pode ter duas cargas elétricas ($\mu +$) e ($\mu -$). A principal diferença entre o múon e o elétron é que o primeiro é instável e, portanto, decai, enquanto o segundo não decai por ser mais leve. Além disso, a trajetória de um múon na câmara de nuvens é menos curva que a de um elétron e mais encurvada que a de um próton.

Em 1953, Murray Gell-Mann batizou de *estranheza* um novo número quântico, para que certas partículas com comportamentos “estranhos” fossem identificadas. Postulou, ainda, que a *estranheza* seria conservada nas interações fortes e não nas fracas, uma vez que é a propriedade que governa a velocidade com que elas decaem.

A descoberta do neutrino de múon (μ), ocorreu em 1962 a partir do acelerador de partículas "Alternating Gradient Synchrotron" (AGS). Para tal, utilizou-se um feixe de prótons do AGS para produzir píons, os quais ao serem acelerados decaíram em múons e neutrinos. No acelerador há uma parede de 5000 toneladas de aço em direção do detector de neon, no qual somente os neutrinos podem passar. Com o impacto dos neutrinos contra as placas de alumínio dentro da câmara, produziu-se rastros de múons. Esses rastros foram detectados e fotografados, comprovando assim a existência de neutrinos de múons e permitindo que Leon Lederman, Melvin Schwartz e Jack Steinberger recebessem o prêmio Nobel em 1988.

Em 1964, Gell-Mann propôs que todos os hádrons seriam formados por três partículas fundamentais, que ele nomeou de *quark*, os quais são férmions de spin $\frac{1}{2}$. Então, ainda em 1964, Yoichiro Nambu e Moo-Young Han propuseram um novo número quântico para que o princípio de exclusão de Pauli não fosse violado: a cor. Deste modo, os quarks não só viriam em três sabores diferentes, mas também em três cores: vermelho, azul e verde.

Por questão de simetria, um outro férmion fundamental foi sugerido por James Daniel Bjorken e Sheldon Lee Glashow, em 1964, o quark charmoso. Assim, um novo número quântico nomeado *charme* seria violado apenas nas interações

fracas. Como a matéria ordinária estável é formada pelos quarks leves u e d, os quarks mais pesados, s e c, compõem as partículas mais instáveis, que vivem muito pouco e são produzidas em reações no laboratório. O quark charmoso foi observado simultaneamente por dois grupos, em 1974. Portanto, cada um de seus líderes, Samuel Chao Chung Ting e Burton Richter, recebeu metade do prêmio Nobel de 1976.

Steven Weinberg, em 1967, elaborou um modelo para unir a interação eletromagnética com a interação nuclear fraca, o qual ficou conhecido como teoria eletrofraca. Nesse modelo, essa interação é mediada por três bósons massivos (W^+ , W^- e Z^0) denominados *bósons mediadores*; e pelo fóton γ . Devido a isso Weinberg recebeu o prêmio Nobel em 1979 junto com Abdus Salam e Sheldon Glashow, os quais trabalharam outros aspectos fundamentais para a formulação da chamada Teoria Eletrofraca.

A confirmação experimental no CERN, dos três bósons, pelo grupo liderado por Carlo Rubbia, em 1983, lhe rendeu um Prêmio Nobel em 1984. Na experiência de detecção do W^+ e W^- foi observada a colisão de um próton e um antipróton para perseguir o decaimento: $W^+ \rightarrow e^+ + \nu_e$ e $W^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$. Para a detecção do Z^0 esta mesma colisão foi observada, entretanto o decaimento procurado era: $Z^0 \rightarrow e^+ + e^-$ e $Z^0 \rightarrow \mu^+ + \mu^-$.

Os *glúons* são oito partículas sem massa, eletricamente neutras, carregadas com uma carga cor e anticor e de spin 1, cuja sua troca o permite mediar a força forte. Como há três cargas cores (vermelho, azul e verde) e três anticolors (amarelo, magenta e ciano), há 9 espécies de glúons - um octeto e um singlete, que não é importante pois a soma das cores resulta em branco.

Enquanto Martin Perl observava o processo de aniquilação de elétrons e pósitrons, em 1975, detectou um lépton, quase duas vezes maior do que o próton. Assim, surge o tau (τ) para formar a terceira geração de léptons. Devido à necessidade de simetria, surgiu a esperança da existência de um neutrino do tau (ν_τ) proposto em 1956 por Fred Reines. Esta partícula foi detectada no Direct Observation of the Nu Tau (DONUT) em 2000.

Em 1977, Lederman, observou a primeira evidência de um *bottom* (b) comprovando a existência de uma terceira família de quarks. Em 1995 foi realizada a descoberta do último quark, o *top* (t), o qual é a maior partícula elementar. Por fim,

em 1964, Peter Higgs propôs um mecanismo que ficou conhecido por Mecanismo de Higgs, o qual é mediado pelo bóson de Higgs. Esta partícula foi detectada em 2013. O bóson de Higgs é a única partícula fundamental ESCALAR, ou seja, com spin nulo.

Uma definição direta e objetiva do Modelo Padrão é, pelas palavras de Abdalla (2005):

O Modelo Padrão (MP) estabelece: toda a matéria de que se tem notícia é composta de três tipos de partículas elementares: léptons, quarks e as mediadoras, e que um punhadinho de 61 partículas basta para construir toda a matéria observada neste universo.

Assim, a partir de toda a história descrita anteriormente, conclui-se que cada partícula tem uma antipartícula, cuja massa e spin são idênticos, mas as cargas opostas. Como os quarks possuem três cargas cores e os antiquarks têm três anticores como cargas cor, juntos somam 36 partículas. Os léptons são 6 partículas leves e indivisíveis que somadas com suas respectivas antipartículas totalizam 12 partículas. Considerando os bósons, as demais partículas são 8 glúons, 1 fóton, W^- , W^+ e Z^0 , ou seja, 61 partículas.

Os quarks são férmions, cujas cargas cor podem ser de três tipos (vermelho, verde e azul) e suas cargas elétricas são múltiplos fracionários da carga elementar e . As duas primeiras linhas do Quadro 01 correspondem à primeira geração, a terceira e a quarta linhas à segunda geração e as duas últimas linhas formam a terceira geração. A primeira geração constitui a matéria estável do universo.

Os Hádrons, os quais são divididos em dois grupos: os mésons e os bárions, são formados pela união de quarks através da troca de glúons. Mésons são compostos por pares quarks-antiquarks e bárions são compostos por três quarks. Já as partículas mediadoras sempre possuem spin 1 e dependem do tipo da interação em questão. Partículas com spin 1 são bósons vetoriais (fóton glúon, W^+ , W^- e Z^0) e as com spin $\frac{1}{2}$ são férmions espinoriais.

Sabe-se atualmente que existem quatro interações fundamentais que regem o Universo. Entretanto, apenas três entram no Modelo Padrão (MP): Interação Eletromagnética, Interação Nuclear Forte e Interação Nuclear Fraca; enquanto a Interação Gravitacional não é explicada por ele. A interação eletromagnética, cuja partícula mediadora é o fóton, ocorre através da troca destas partículas. Esta interação é de longo alcance e pode ser atrativa ou repulsiva.

Quadro 01: Representação atual da composição da matéria

Matéria				
Partículas da Matéria				
F é r m i o n s	Léptons	Quarks		
		Sabor	Carga Elétrica	Carga Cor
	Elétron	Up (u)	$+\frac{2e}{3}$	Vermelho Azul Verde
	Neutrino do Elétron	Down (d)	$-\frac{1e}{3}$	
	Múon	Charm (c)	$+\frac{2e}{3}$	
	Neutrino do múon	Strange (s)	$-\frac{1e}{3}$	
	Tau	Bottom (b)	$-\frac{1e}{3}$	
	Neutrino do Tau	Top (t)	$+\frac{2e}{3}$	
	Hádrons			
	Bárions		Mésons	
Trios de quarks		Pares quark-antiquark		
I n t e r a ç õ e s	Forças Fundamentais			
	Eletromagnética	Fraca	Forte	Gravitacional
	Eletrofraca			
B ó s o n s	Partículas de Força			
	Fótons	W^-, W^+ e Z^0	Glúons	Grávitons
A s s i m e t r i a	Partículas de antimatéria			
	Antimatéria			

Fonte: Adaptado de MOREIRA, M. A. A Física dos Quarks e a Epistemologia.

A interação Forte é uma interação atrativa de curto alcance e tem duas subdivisões: fundamental e residual. A fundamental é uma interação mediada pela

troca múltipla de glúons, os quais atuam na carga de cor dos quarks. Como é impossível isolar quarks e glúons, eles ficam confinados nos sistemas neutros em carga de cor (sistemas brancos), os hádrons. Já a interação forte residual é mediada pelos mésons, os quais atuam sobre todos os hádrons. Esta interação garante a estabilidade do núcleo, uma vez que é mais intensa que a repulsão da interação eletromagnética, impedindo sua quebra.

A última interação incluída no Modelo Padrão é a Nuclear Fraca. Ela é de curto alcance e mediada pelas partículas W^+ , W^- e a Z^0 , as quais atuam sobre os quarks e lépton. Esta interação é responsável por qualquer transformação de uma partícula em outra porque têm a propriedade de mudar o sabor (tipo de lépton ou quark), como por exemplo, o decaimento β . Os físicos responsáveis pela Unificação Eletrofraca foram: Abdus Salam, Steven Weinberg e Sheldon Lee Glashow. Por fim, a interação gravitacional é atrativa de longo alcance, mas diminui de intensidade quanto maior for a distância entre os corpos. Teoricamente é mediada pelo gráviton, mas este ainda não foi detectado experimentalmente.

Por fim, existe um campo que permeia todo o Universo denominado campo de Higgs. Quando este campo recebe energia, ou seja, quando fica excitado, cria o bóson de Higgs, a qual foi a última partícula elementar a ser detectada. Assim, quando ocorre a interação deste bóson com qualquer outra partícula elementar, ele media a transferência de energia na forma de massa do campo de Higgs para a partícula elementar. Logo, é o campo de Higgs quem determina a massa da partícula interagente com o Higgs a partir da intensidade de tal interação.

2.3 Operadores de Gell-Mann

Uma rotação obedece a propriedade de fechamento dentro da operação de multiplicação; a lei associativa; e a existência do elemento identidade e do elemento inverso. Um conjunto de elementos que respeite estas quatro regras é chamado de grupo. Este grupo de rotações é chamado R3 (ou O3). Além disto, o grupo deve ser não abeliano e participar do grupo de Lie, ou seja, suas operações serão funções analíticas do parâmetro.

A álgebra de Lie define o grupo SU(2) (special and unitary 2 x 2 matrix) e é a mesma álgebra do grupo das rotações:

$$[T_i, T_j] = i\varepsilon_{ijk}T_k \quad (1)$$

A representação definidora do grupo é dada pelas matrizes:

$$T_1 = J_x = \frac{1}{2}\tau_1 \quad (2.1)$$

$$T_2 = J_y = \frac{1}{2}\tau_2 \quad (2.2)$$

$$T_3 = J_z = \frac{1}{2}\tau_3 \quad (2.3)$$

onde são as Matrizes de Pauli

$$\tau_1 = \sigma_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

$$\tau_2 = \sigma_2 = \begin{pmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

$$\tau_3 = \sigma_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

Sendo assim, qualquer conjunto de matrizes que satisfaça as relações de comutação da Álgebra de Lie formam geradores para o $SU(2)$. Em um caso tridimensional, por exemplo

$$T_1 = J_x = i \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (4.1)$$

$$T_2 = J_y = i \begin{pmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (4.2)$$

$$T_3 = J_z = i \begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (4.3)$$

Essas matrizes são construídas para satisfazer a álgebra de Lie do $SU(2)$ em qualquer espaço. Assim, se essas matrizes para os geradores das rotações estão corretas, a rotação de um ângulo θ em torno do eixo z deve ser representada por $\exp(iJ_z\theta)$.

Na representação tripleto os elementos de matriz são dados pelas constantes de estrutura da álgebra,

$$(T_k)_{ij} = i\varepsilon_{ijk} \quad (5)$$

Por fim, a representação adjunta é a representação em que os elementos de matriz são dados pelas constantes de estrutura.

Spin isotrópico ou isospin (I) é um número quântico relacionado à força forte, a qual independia da identidade da partícula envolvida. Por exemplo, como as massas do próton e do nêutron são aproximadamente iguais, foi possível considerá-

los como sendo duas componentes (ou dois estados) de uma mesma partícula. Ou seja, a força entre dois prótons (descontando-se a força eletromagnética) era a mesma entre dois nêutrons que era a mesma entre um próton e um nêutron.

Em termos do isospin, a projeção no eixo z com $M_T = \frac{1}{2}$, representando o próton, somada com projeção com $M_T = -\frac{1}{2}$, representando o nêutron, forma um dubleto com $T = \frac{1}{2}$. Assim, nota-se que essas características correspondem diretamente com as propriedade definidora do grupo SU(2) e, definindo seus vetores como uma rotação no iso-espaço

$$\Psi_p = \hat{e}_{\frac{1}{2}} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} = T_{\Psi_n} \quad (6)$$

$$\Psi_n = \hat{e}_{-\frac{1}{2}} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} = T_{\Psi_p} \quad (7)$$

Para mudar de um estado para o outro, define-se os operadores escada como

$$T_+ = T_x + iT_y = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (8.1)$$

$$T_- = T_x - iT_y = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (8.2)$$

que aumentam ou diminuem o autovalor de T_z . Isso é visto através das relações de comutação

$$[T_+, T_-] = 2T_z \quad (9.1)$$

$$[T_z, T_{\pm}] = \pm T_{\pm} \quad (9.2)$$

Assim, função de onda representando o nucleon será a combinação do próton e nêutron,

$$\Psi = c_1 \Psi_p + c_2 \Psi_n \quad (10)$$

Duas rotações diferentes também não comutam no iso-espaço, assim, o operador de carga não comuta com o operador de isospin T . E, como a interação eletromagnética é variante por rotações no iso-espaço, Q representa o acoplamento com o campo eletromagnético. Consequentemente somente a parte forte da Hamiltoniana possui simetria de isospin. Portanto, a forma geral do operador de carga será

$$Q = T_z + \frac{1}{2}Y \quad (11)$$

Em que Y é a hipercarga, sendo $Y = 1$ para o nucleon e $Y = 0$ para o pión.

Após a descoberta de muitas partículas, devidas aos aceleradores de partícula, que interagem fortemente receberam o nome de hádrons e se subdividiam em dois grupos. O primeiro grupo era o das partículas denominadas bárions com spin semi-inteiro e número bariônico $B = 1$, como o próton e o nêutron. O segundo grupo era formado por partículas de spin inteiro denominadas mésons, de número bariônico $B = 0$, como os píons. Por fim, os possíveis valores para M_T , variando de $-T$ a T , são $-1; -\frac{1}{2}; 0; \frac{1}{2}; 1$.

2.4 Números quânticos de cor

Para explicar a ocorrência apenas da primeira equação dentre as três a seguir, foi proposto um número quântico chamado estranheza, o qual deveria ser conservado pela interação forte. Assim, como as partículas π^- e p são conhecidas, sua estranheza é $S = 0$. Supondo que a estranheza de K^+ seja $S = 1$ e a de Σ^- seja $S = -1$, nota-se que não há conservação nas outras duas equações.

$$\pi^- + p \rightarrow K^+ + \Sigma^- \quad (12.1)$$

$$\pi^- + p \rightarrow \pi^+ + \Sigma^- \quad (12.2)$$

$$\pi^- + p \rightarrow K^- + \Sigma^+ \quad (12.3)$$

Com a introdução desse novo parâmetro, a interação forte passa a ter uma invariância por estranheza. Para elaborar a representação matemática dessas simetrias, foi preciso determinar um grupo de simetria com dois geradores que possam ser diagonalizados simultaneamente. Ele foi chamado $SU(3)$, e o grupo das matrizes especiais ($\det g = 1$) e unitárias 3×3 é uma extensão natural do grupo $SU(2)$. Seus geradores devem ser matrizes hermitianas 3×3 de traço nulo, ou seja, são as 8 matrizes conhecidas como matrizes de Gell-Mann:

$$\begin{aligned} X_1 &= \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & X_2 &= \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & i & 0 \\ -i & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ X_3 &= \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} & X_4 &= \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \\ X_5 &= \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & 0 & i \\ 0 & 0 & 0 \\ -i & 0 & 0 \end{pmatrix} & X_6 &= \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \\ X_7 &= \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & i \\ 0 & -i & 0 \end{pmatrix} & X_8 &= \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (13)$$

Da mesma forma que foi feito para o isospin, ao fazer combinações lineares dos operadores vistos, é possível construir operadores de levantamento e abaixamento, tal que

$$T_+ = X_1 + iX_2 \quad e \quad T_- = X_1 - iX_2 \quad (14.1)$$

$$U_+ = X_6 + iX_7 \quad e \quad U_- = X_6 - iX_7 \quad (14.2)$$

$$V_+ = X_4 + iX_5 \quad e \quad V_- = X_4 - iX_5 \quad (14.3)$$

$$T_z = X_3 \quad e \quad Y = X_8 \quad (14.4)$$

Analogamente ao isospin, se forem definidos os operadores

$$U_z = \frac{3}{4}Y - \frac{1}{2}T_z \quad (15.1)$$

$$V_z = \frac{3}{4}Y + \frac{1}{2}T_z \quad (15.2)$$

encontram-se as seguintes relações de comutação

$$[U_+, U_+] = 2U_z \quad (16.1)$$

$$[V_+, V_+] = 2V_z \quad (16.2)$$

$$[U_z, U_\pm] = \pm U_\pm \quad (16.3)$$

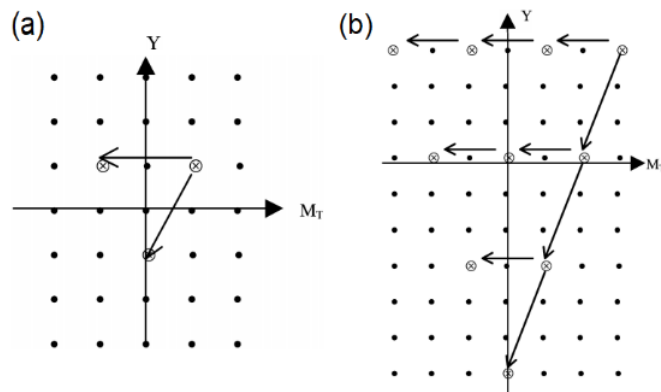
$$[V_z, V_\pm] = \pm V_\pm \quad (16.4)$$

Mostrando que U_\pm e V_\pm alteram os autovalores de U_z e V_z , os quais, por sua vez, estão ligados aos autovalores de Y e T_z . Com isso, é possível construir a base para o espaço $SU(3)$.

No caso do grupo $SU(2)$ havia somente um operador diagonal e os vetores da base eram representados por pontos, cujas coordenadas são dadas pelo autovalor M_T de T_z , em uma reta. Já o $SU(3)$ possui dois geradores diagonais (T_z e Y), e os vetores da base podem ser representados como pontos, cujas coordenadas são dadas pelos autovalores M_T de T_z e Y de Y , em um plano.

Assim, analogamente ao $SU(2)$, é possível partir de um vetor da base e construir a base completa através da aplicação sucessiva dos operadores de levantamento e abaixamento. Sabe-se que ao comutar com Y , T_+ (T_-) simplesmente aumenta (diminui) o autovalor M_T de T_z . Portanto, não há alteração do autovalor Y . Conhecendo os deslocamentos efetuados pelos operadores espaço vetorial é possível construir a base do espaço vetorial, qual também pode ser representado por $D^{(\lambda\mu)}$. A Figura 5 apresenta algumas bases do espaço vetorial.

Figura 5: (a) Representação da base do espaço vetorial de um triploto ($D^{(10)}$) e (b) Representação da base do espaço vetorial de um decuplo ($D^{(30)}$)



Fonte: BARREIRO, L. A. Aspectos de Partículas e Campos.

Após a análise dos números quânticos de cada partícula detectada até o momento apresentados no Quadro 2, notou-se que há uma íntima relação entre a hipercarga e a estranheza, e, portanto, a hipercarga é dada por $Y = B + S$. Assim, quando falamos que interação forte tem uma simetria de estranheza, podemos dizer a mesma coisa em relação à hipercarga. A partir disto, escolhendo o eixo x para representar a componente z do isospin e escolhendo o eixo y para representar a hipercarga, é possível representar graficamente no plano essas partículas, como mostrado na Figura 6.

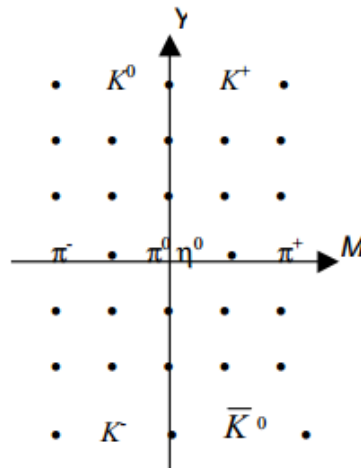
Quadro 2: Características das partículas detectadas até o momento.

Partícula	Massa	Spin	Isospin	Hipercarga
p	938.28	1/2	1/2	1
n	939.57	1/2	-1/2	1
Λ	1115.6	1/2	0	0
Σ^+	1189.4	1/2	1	0
Σ^0	1192.5	1/2	0	0
Σ^-	1197.4	1/2	-1	0
Ξ^0	1315	1/2	1/2	-1
Ξ^-	1321	1/2	-1/2	-1
Δ^{++}	1232	3/2	3/2	1
Δ^+	1232	3/2	1/2	1
Δ^0	1232	3/2	-1/2	1
Δ^-	1232	3/2	-3/2	1
Σ^{+*}	1385	3/2	1	0
Σ^{0*}	1385	3/2	0	0
Σ^{-*}	1385	3/2	-1	0
Ξ^{0*}	1532	3/2	1/2	-1
Ξ^{-*}	1535	3/2	-1/2	-1
Ω^-	1672	3/2	0	-2

Fonte: BARREIRO, L. A. Aspectos de Partículas e Campos.

Dado que há uma grande semelhança entre esses gráficos e as representações singleto mais octeto e decuplete do grupo $SU(3)$, basta associarmos a hipercarga ao autovalor Y do operador Y do $SU(3)$ e a componente z do isospin ao autovalor M_T do operador T_z e a identificação estará completa. Assim, foi possível prever os hádrons ausentes nas classificações representadas.

Figura 6: Classificação em octeto mais singleto dos bárions de spin $\frac{1}{2}$.

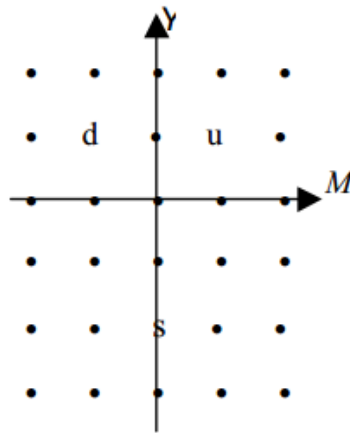


Fonte: BARREIRO, L. A. Aspectos de Partículas e Campos.

Ao estudar a possibilidade de multiplicação e redução de representações dos grupos notou-se que as representações podem ter qualquer dimensão. Mas, para algumas dimensões é possível escrever as matrizes representando os geradores como sendo composta por blocos na diagonal. Estas matrizes podem ser reduzidas separando-se os blocos da diagonal. Ou seja, a representação de dimensão maior é dada como uma soma direta das representações de dimensão menores. Assim, normalmente, quando multiplicamos representações, a representação resultante pode ser escrita como uma soma direta de representações de dimensões menores.

Como é possível demonstrar que essas representações de maior dimensão (hádrons) aparecem na redução do produto de representações tripleto, conjecturou-se que as partículas observadas seriam construídas de partículas mais fundamentais, as quais formariam um tripleto, a representação definidora do $SU(3)$. Essas partículas fundamentais foram chamadas de quarks por Gell-Mann. Já que os quarks são dados pela representação tripleto, eles podem ser representados graficamente como na Figura 7 na qual as letras u , d e s designam cada tipo diferente de quark, denominados sabores dos quarks.

Figura 7: Representação triplete e a distribuição dos quarks.



Fonte: BARREIRO, L. A. Aspectos de Partículas e Campos.

Conhecendo a hipercarga e o isospin é possível determinar as cargas dos quarks pela relação

$$Q = M_t + \frac{1}{2}Y \quad (17)$$

Portanto, nota-se que os quarks possuem carga fracionária. As outras propriedades podem ser encontradas partindo das propriedades das partículas por eles compostas. Ou seja, como todos os bárions possuem spin semi-inteiro, portanto são férmions, os quarks devem ter spin semi-inteiro.

Entretanto observaram-se casos em que as partículas eram compostas por três quarks iguais com mesmo spin, o que era um problema pois desobedecia ao Princípio de Exclusão de Pauli. Este estabelece que dois férmions idênticos não podem estar no mesmo estado quântico. Logo, para resolver esse impasse foi preciso inventar um novo número quântico para que o Princípio de Pauli fosse obedecido. Para explicar esses estados de três quarks idênticos, esse novo número quântico deveria ter três possíveis valores, os quais foram chamados r (red), g (green) e b (blue). Todos esses resultados podem ser aplicados aos mésons.

3 RECURSOS

3.1 Jogos

A expressão “jogo educativo”, como afirma Brougère (1998), foi criada no início do século XX com o intuito de ensinar, disfarçadamente, a um grupo de crianças. Alves e Bianchin (2010) destacam que:

...é importante explicar que a palavra "jogo" se origina do vocábulo latino ludus, que significa diversão, brincadeira e que é tido como um recurso capaz de promover um ambiente planejado, motivador, agradável e enriquecido, possibilitando a aprendizagem de várias habilidades. Dessa maneira, alunos que apresentam dificuldades de aprendizagem podem aproveitar-se do jogo como recurso facilitador na compreensão dos diferentes conteúdos pedagógicos.

Dois dos aspectos fundamentais da aprendizagem são: o cognitivo e o afetivo e, como dito por Tezani (2006), os jogos contribuem para o desenvolvimento de ambos por proporcionar uma zona de desenvolvimento proximal do discente. Isto porque, quando aplicados em ambiente desafiador capaz de estimular o intelecto, ocorre a interação e a comunicação intensa entre elementos, regras, alunos, colegas, professor e significado cultural de cada indivíduo. Assim, segundo Tezani (2006):

O jogo representaria, então, a articulação entre o desejo, a afetividade, a inteligência e os processos de apropriação do conhecimento e o avançar das zonas de desenvolvimento. Momentos de aprendizagem significativa que proporcionem processos de desenvolvimento ressaltariam o valor do sucesso escolar como algo verdadeiro e realmente importante para a criança. A relação entre educadores e alunos, então, deverá ser verdadeira e de trocas de experiências e opiniões, favorecendo um clima harmônico para a socialização do conhecimento.

Para Marcelo Luiz Fardo (2013) há várias formas de aplicação de um jogo no ensino, porque estes são compostos por inúmeros elementos e possibilitam a obtenção de diversos resultados finais. De acordo com o mesmo autor, através da aproximação do cotidiano dos alunos com fenômenos físicos no jogo, é possível aplicar jogos com a estratégia de transformar os processos de ensino e aprendizagem. A fim de propiciar aprendizagem satisfatória com jogos, Simões et al., (2012) estabelecem que é necessário:

- Possibilitar chegar na solução esperada por diferentes caminhos;
- Observar os indícios de aprendizado em menor espaço de tempo para caso os alunos não tenham atingido os objetivos esperados mudar as estratégias utilizadas;

- Disponibilizar diferentes níveis de dificuldade para estimular o desenvolvimento pessoal e ritmo de aprendizagem próprio de cada aluno;
- Realizar tarefas complexas em etapas menores e mais fáceis, assim o aluno constrói o conhecimento de forma gradual, resolvendo partes do problema para que se chegue à resolução do problema como um todo;
- Incorporar o erro no processo de aprendizagem de modo que os alunos reflitam sua causa e encontrem soluções adequadas;
- Demonstrar e explicar a importância do empenho dos alunos na busca do aprendizado;
- Favorecer competições e colaborações entre os indivíduos para estimular a interação e cooperação na busca dos objetivos;
- Valorizar sempre a diversão, pois ela melhora as experiências em ambientes de aprendizagem bem como estimula o processo de ensino-aprendizagem.

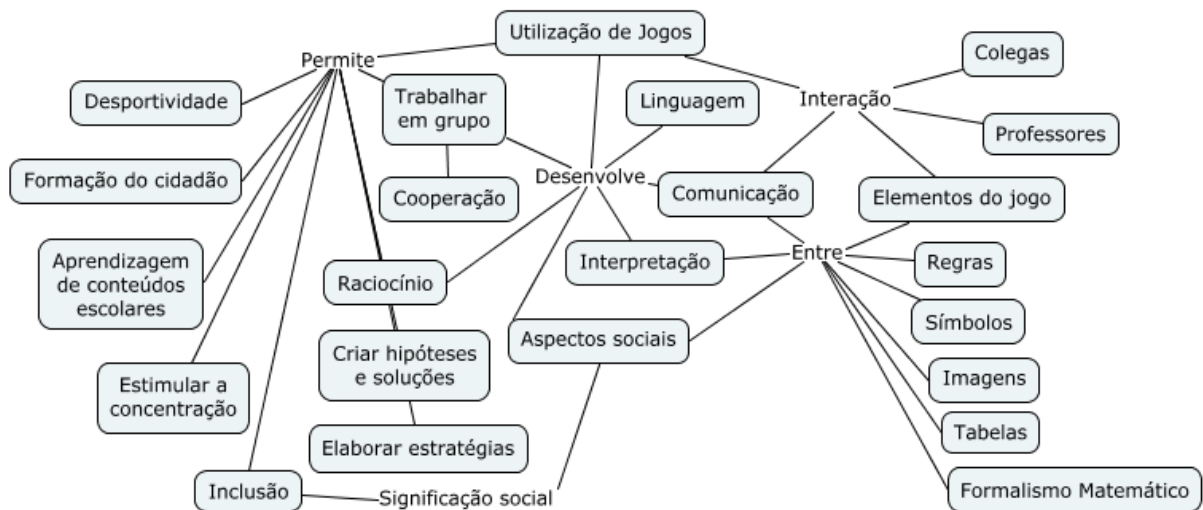
Para Friedmann (1996) é possível a utilização de jogos como um meio para se atingir objetivos preestabelecidos. Ainda, como afirma Fortuna (2000), o jogo ensina a aprender, uma vez que desenvolve a imaginação e a criatividade, e, portanto, exercita as funções cognitivas de modo geral. Segundo Huizinga (2008, p. 21): “as características lúdicas são ordem, tensão, movimento, mudança, solenidade, ritmo, entusiasmo”. Assim, atividades lúdicas, vão além dos conteúdos educativos inseridos no jogo.

João Bittencourt e Lucia Giraffa (2003) afirmam que um jogo possui múltiplas inteligências, o que inviabiliza que sua análise seja feita apenas em relação ao conteúdo. Uma justificativa disso é o fato de o aluno desenvolver sua inteligência e sensibilidade enquanto joga, uma vez que esta atividade o permite experimentar, inventar, explorar e negociar. Melo e Azevedo (2011) recomendam que, principalmente a nível fundamental, os conceitos ganhem maior importância em detrimento do formalismo matemático.

Inúmeras são as justificativas para empregar jogos na educação escolar. As principais motivações, segundo os autores (MAHONEY e ALMEIDA, 2005; TEZANI, 2006; ALVES e BIANCHIN, 2010; BARCELOS et al., 2011; COSTA, 2012; SILVA, 2012; FERREIRA e CARVALHO, 2014), são apresentadas no esquema da Figura 08.

Ao considerar todos os aspectos descritos anteriormente, nota-se que os jogos podem ser aplicados com vários intuitos e em qualquer nível. Sendo assim, o jogo Quarkle! + foi escolhido por contemplar todos os aspetos necessários para uma aprendizagem efetiva. Este jogo atualmente tem três níveis diferentes: o primeiro, nível iniciante, com o foco para o Ensino Fundamental I; o segundo, nível médio, para o Ensino Fundamental II; e o terceiro, avançado, para o Ensino Médio.

Figura 08: Mapa conceitual das vantagens da utilização de Jogos no Ensino.



Fonte: Autoria própria

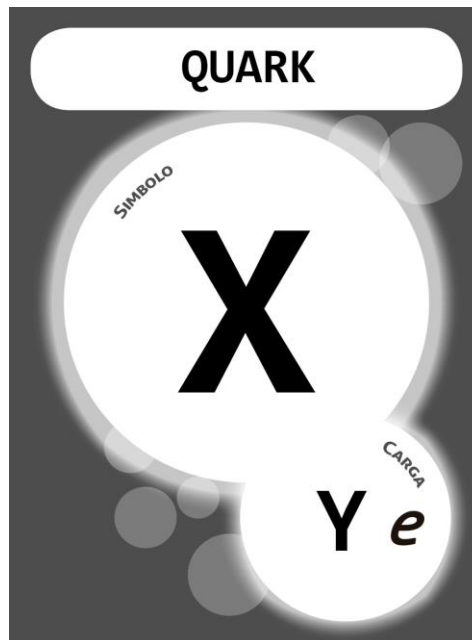
No primeiro nível do fundamental, a atividade lúdica tem objetivo de introduzir a noção de que o mundo é composto pela combinação de partículas elementares. Uma vez que esta não é arbitrária, o jogo permitirá mostrar aos alunos que para sistemas de partículas sejam formados, certas propriedades de combinação devem ser respeitadas. Neste caso as características trabalhadas serão as cargas cores, ou seja, cada aluno deverá juntar duas ou três cartas coloridas do jogo (os quarks) para formar o branco (sistema de partículas) e ganhará quem formar 5 combinações primeiro.

Já no segundo nível do fundamental, o escopo será demonstrar esta mesma condição, mas para cargas elétricas. Sendo assim, combinarão duas ou três cartas com cargas elétricas fracionárias (os quarks) para formar um número inteiro (sistema de partículas). Enfim, no Ensino Médio o jogo será aplicado de forma que

os conceitos básicos da formação das partículas possam ser explicados em seu decorrer.

O jogo Quarkle! + é composto por um baralho de 72 cartas, como a mostrada na Figura 09, que representa quarks e antiquarks com suas respectivas cargas cores e cargas elétricas. Este jogo deve ser jogado por 2 a 4 jogadores, mas pode ser adaptado para mais pessoas como mencionado anteriormente. Serão distribuídas três cartas para cada participante com o objetivo de combinar trios ou pares de quarks para formar cinco sistemas de partículas, cada qual com carga cor neutra e uma das cargas elétricas inteiras a seguir: $+2e$, $+1e$, 0 , $-1e$, $-2e$.

Figura 09: Carta esquemática do Jogo Quarkle! +. No topo da carta está o nome do quark, x é o símbolo, y é a carga elétrica fracionária e a cor de fundo da carta é a sua carga cor da partícula.



Fonte: Autoria própria

A Figura 10 mostra algumas das possíveis combinações respeitando estas condições. Assim, estarão construindo hádrons (mésons = duplas de quarks ou bárions = trios de quarks) e realizando aniquilações. O baralho completo e as regras estão disponíveis no Apêndice 1 e 2, respectivamente.

Figura 10: Fotografia de algumas possíveis combinações que podem ocorrer durante o jogo para formar sistema de partículas.



Fonte: Autoria própria

Como dito anteriormente o jogo atende todos os aspectos propostos:

- Construção do conhecimento por diversos meios, dado que as cartas possuem inscrições e a abordagem pode ser variada a partir das regras estabelecidas;
- Diversos níveis;
- Possibilidade de, pelo comportamento dos alunos no decorrer do jogo, analisar se compreenderam e atingiram os objetivos pré-estabelecidos;

- d) Competitividade no caso dos dois níveis iniciais podendo ser adaptado para trabalho em grupo/colaboração como mostrado no nível final;
- e) Dedicção para e a importância da compreensão do conteúdo proposto em cada nível;
- f) Possibilidade de aprendizagem com o erro, uma vez que o professor-mediador deve orientar os alunos para que encontrem seus erros e soluções;
- g) É um jogo divertido!

Por fim, o jogo também pode ser usado para a complementação de aprendizagem do tema de Física de Partículas Elementares.

3.2 Experimentos

Segundo Blosser (1988) o laboratório é uma atividade que desperta o interesse nos alunos, além de desenvolver sua habilidade de observação e viabilizar a elaboração de conhecimentos detalhados. Assim, é um importante meio instrucional no ensino de ciências. Hofstein e Luneta (2004) estabelecem que este tipo de atividade facilita a compreensão de conceitos físicos, além de encorajar a aprendizagem ativa, motivar, despertar o interesse, desenvolver o raciocínio lógico, a comunicação, estimular a capacidade de iniciativa e de trabalho em grupo.

Neste sentido, para Gaspar (2005, p. 227), utilizar experimentos desperta o interesse, mas também instigam a curiosidade e participação dos estudantes, bem como os maravilha. Este autor salienta que ao aplicar experimentos em sala de aula, assegura-se a diversidade de estratégias para o ensino-aprendizagem da disciplina pelos alunos. Por fim, Pereira e Moreira (2017) ressaltam que atividades práticas possuem cunho investigativo e problematizador, o que viabiliza o desenvolvimento da linguagem científica. Estas características permitem a criação de relações entre aspectos empíricos e teóricos, facilitando que o aluno compreenda o vínculo entre ciência e natureza.

Dadas as diversas possibilidades que o uso de experimentos proporciona, existem vários tipos de laboratórios didáticos, cada qual com seu objetivo. Os possíveis objetivos dos laboratórios didáticos de Ensino de Física são:

- a) Verificar/comprovar leis e teorias;
- b) Ensinar o método científico;

- c) Facilitar a aprendizagem e a compreensão dos conceitos;
- d) Ensinar habilidades práticas;
- e) Explorar fenômenos.

Cada um destes objetivos influencia na formação do aluno, uma vez que cada tipo de laboratório tem sua referência filosófica e visão de ciência. Assim, as diferentes abordagens existentes e suas características são mostradas no Quadro 03. Dentre os diversos tipos de laboratórios apresentados, ALVES FILHO (2000, p.64) salienta que o mais antigo e mais utilizado é o Laboratório Didático Demonstrativo.

Segundo ele isto ocorre porque esta abordagem é de fácil planejamento e não envolve o docente em seu desenvolvimento, ou seja, o aluno é passivo e limita-se a observar a prática experimental realizada pelo professor. Esta demonstração pode despertar o interesse do aluno pela ciência, mas tem como propósito facilitar a aprendizagem e a compreensão de alguns conceitos físicos. Segundo Araújo e Abib (2003, p.190):

(...) a utilização adequada de diferentes metodologias experimentais, tenham elas a natureza de demonstração, verificação ou investigação, pode possibilitar a formação de um ambiente propício ao aprendizado de diversos conceitos científicos sem que sejam desvalorizados ou desprezados os conceitos prévios dos estudantes. Assim, mesmo as atividades de caráter demonstrativo, (...) que visam principalmente a ilustração de diversos aspectos dos fenômenos estudados, podem contribuir para o aprendizado dos conceitos físicos abordados, na medida em que essa modalidade pode ser empregada através de procedimentos que vão desde uma mera observação de fenômenos até a criação de situações que permitam uma participação mais ativa dos estudantes, incluindo a exploração dos seus conceitos alternativos de modo a haver maiores possibilidades de que venham a refletir e reestruturar esses conceitos.

Portanto, o Laboratório Didático Demonstrativo foi escolhido para o Ensino Fundamental I para ilustrar os fenômenos da sobreposição das luzes coloridas, de modo que os alunos possam aplicar estes conceitos na combinação de cargas cores durante a aplicação do Jogo Quarkle!+. O experimento adotado para tal fim foi o Disco de Newton com LED's cujos materiais utilizados na sua construção estão no Anexo A.

Quadro 03: Características dos Laboratórios Didáticos

Laboratório	Tradicional	Divergente	Demonstrativo	Projetos	Biblioteca	Redescoberta	Estrutura do Experimento	Epistemológico	Investigativo
Caráter	Estruturado	Semi - estruturado	Estruturado	Semi-estruturado	Estruturado	Semi - estruturado	Não-estruturado	Não estruturado	Semi – estruturado ou não estruturado
Papel do Aluno	Executor	Executor	Observador	Executor	Executor	Reprodutor	Executor	Executor	Participativo
Objetivo	A	B	C	B	D	A e B	C e D	C e D	E
Meta	Elaborar relatório experimental	Discutir c/ o professor a fim de validar hipóteses e corrigir erros	Acompanhar raciocínio lógico do processo demonstrativo	Desenvolver um ensaio experimental novo	Elaborar relatório experimental	Verificar/ Comprovar lei ou teoria	Identificar a estrutura do experimento	Estabelecer conexões entre eventos, fatos e conceitos envolvidos na experimentação	Registrar atividade experimental
Papel do Professor	Legitimador	Orientador Legitimador	Reprodutor	Orientador	Legitimador	Orientador	Orientador	Orientador	Mediador
Visão de Ciências	Cientificista	Cientificista	Cientificista	Cientificista	Cientificista	Cientificista	Cientificista	Cientificista	Construtivista

Fonte: Elaborado pela autora.

Urias e Assis (2014) acreditam no potencial da utilização de uma abordagem mais qualitativa no Ensino Fundamental em detrimento do formalismo matemático. Não que a análise algébrica seja desnecessária, mas o estudo conceitual permite partir de concepções prévias dos alunos e pode propiciar a curiosidade e o interesse dos discentes em aprender a física. Ou seja, os alunos podem ser motivados a aprender esta disciplina se ela for introduzida com a utilização de experimentos de fácil compreensão.

Acrescentam ainda que, ao colocá-los em contato com a ciência, desperta o pensamento crítico e aperfeiçoa a percepção dos fenômenos por meio da observação. Ademais aulas experimentais podem ser utilizadas para criar subsunçores na estrutura cognitiva dos alunos, facilitando uma aprendizagem significativa no Ensino Médio. Para tanto, os autores recomendam que sejam utilizadas estratégias metodológicas que favoreçam a reflexão, a interação social, o trabalho de símbolos e significados para a formação da estrutura da linguagem científica.

Estes autores também ressaltam que é de extrema importância a formulação de hipóteses pelos estudantes no decorrer da prática experimental, para que o professor identifique o que eles sabem sobre o assunto. Isto é fundamental para que o docente dê continuidade ao trabalho, pois os conceitos poderão ser corrigidos ou incrementados no decorrer da experiência.

Por fim, no Ensino Fundamental II será aplicada a abordagem do laboratório didático epistemológico, na qual será proposta a construção de uma câmara de nuvens, como a descrita no Anexo 6. Esta atividade tem o intuito de estabelecer conexões entre eventos, fatos e conceitos envolvidos na experimentação; facilitar a aprendizagem e a compreensão dos conceitos; e ensinar habilidades práticas.

3.3 Mapa conceitual

Com base no estudo das obras do Marco Antônio Moreira, Mapas Conceituais são diagramas de significados com o intuito de demonstrar relações significativas entre conceitos, ou entre palavras chaves e hierarquizá-los, se for o caso. Para explicitar possíveis hierarquias, é possível estabelecer que conceitos mais inclusivos estão no topo do mapa e conceitos específicos estão na parte inferior ou utilizar figuras geométricas, como elipses, retângulos e círculos.

Lembrando que é importante deixar claro quais conceitos são mais importantes e quais são os secundários ou específicos.

Outra forma, mas não obrigatória, de estabelecer relações conceituais é utilizando setas para dar um sentido de direção a elas. Já para explicar a natureza dessa relação, pode-se usar linhas com uma ou duas palavras-chave escritas sobre elas conectando os conceitos. Por fim, é necessário que quem elaborou o mapa conceitual o explique, uma vez que a pessoa externaliza significados ao fazê-lo.

Não há regras gerais fixas para o traçado de mapas de conceitos. O importante é que o mapa seja um instrumento capaz de evidenciar significados atribuídos a conceitos e relações entre conceitos no contexto de um corpo de conhecimentos, de uma disciplina, de uma matéria de ensino. (MOREIRA,2000).

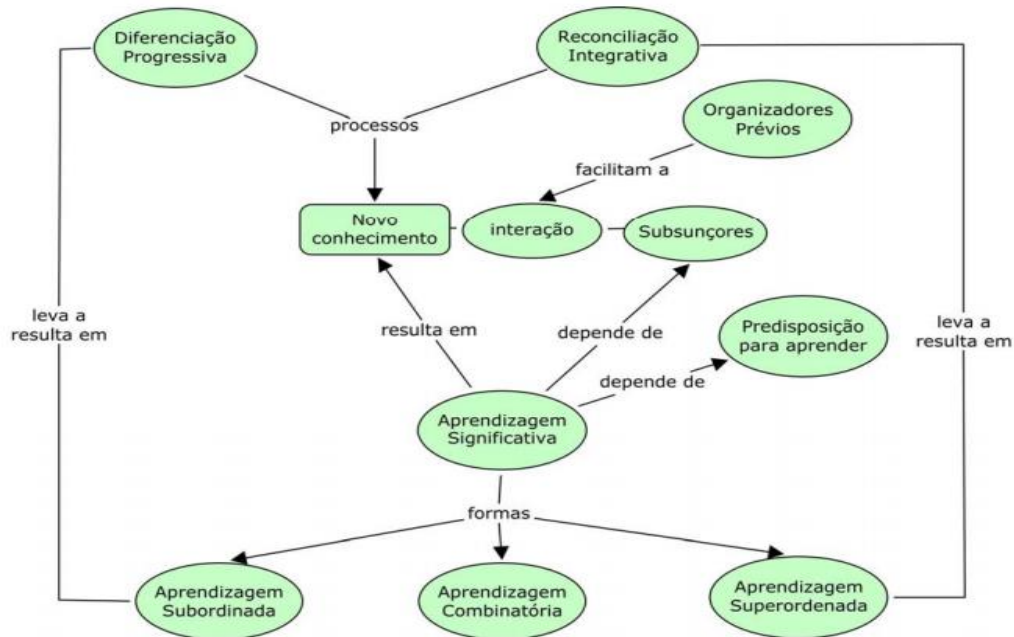
Mapas conceituais são flexíveis, assim, podem ser utilizados como instrumento de análise do currículo, técnica didática, recurso de aprendizagem e meio de avaliação (Moreira e Buchweitz, 1993). Como recurso de aprendizagem, possibilita analisar artigos, textos, capítulos de livros, romances e experimentos de laboratório. Assim, recomenda-se que mapas conceituais sejam usados quando os alunos já estejam familiarizados com o conteúdo, permitindo a integração, reconciliação e diferenciação de significados de conceitos (Moreira, 1980, 2010). Como instrumento de avaliação, permitirá aos alunos que demonstrem qual organização conceitual, significados e relações significativas atribuíram aos conhecimentos abordados, ou seja, é uma avaliação qualitativa da aprendizagem.

O embasamento teórico dos mapas conceituais vem da Teoria de Ausubel, cujo aspecto central é a aprendizagem significativa. Segundo Moreira (2000):

A aprendizagem é dita significativa quando uma nova informação (conceito, ideia, proposição) adquire significados para o aprendiz através de uma espécie de ancoragem em aspectos relevantes da estrutura cognitiva preexistente do indivíduo, isto é, em conceitos, ideias, proposições já existentes em sua estrutura de conhecimentos (ou de significados) com determinado grau de clareza, estabilidade e diferenciação. Esses aspectos relevantes da estrutura cognitiva que servem de ancoradouro para a nova informação são chamados “subsunçores”.

O mapa conceitual da Figura 11, além de servir como exemplo, mostra os conceitos básicos da teoria de Ausubel a serem discutidas a seguir.

Figura 11: Alguns conceitos básicos da teoria de Ausubel



Fonte: Moreira e Buchweitz, 1993

Durante a aprendizagem significativa há uma interação entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio de dado assunto. Estes conhecimentos já existentes servem de base para a atribuição de significados às novas informações adquiridas, ou seja, ambos se modificam baseados em significados pessoais. Sendo assim, os subsunçores vão adquirindo novos significados, interagindo entre si e formando novos subsunçores. Portanto, durante a aprendizagem significativa ocorre uma reestruturação da estrutura cognitiva do indivíduo.

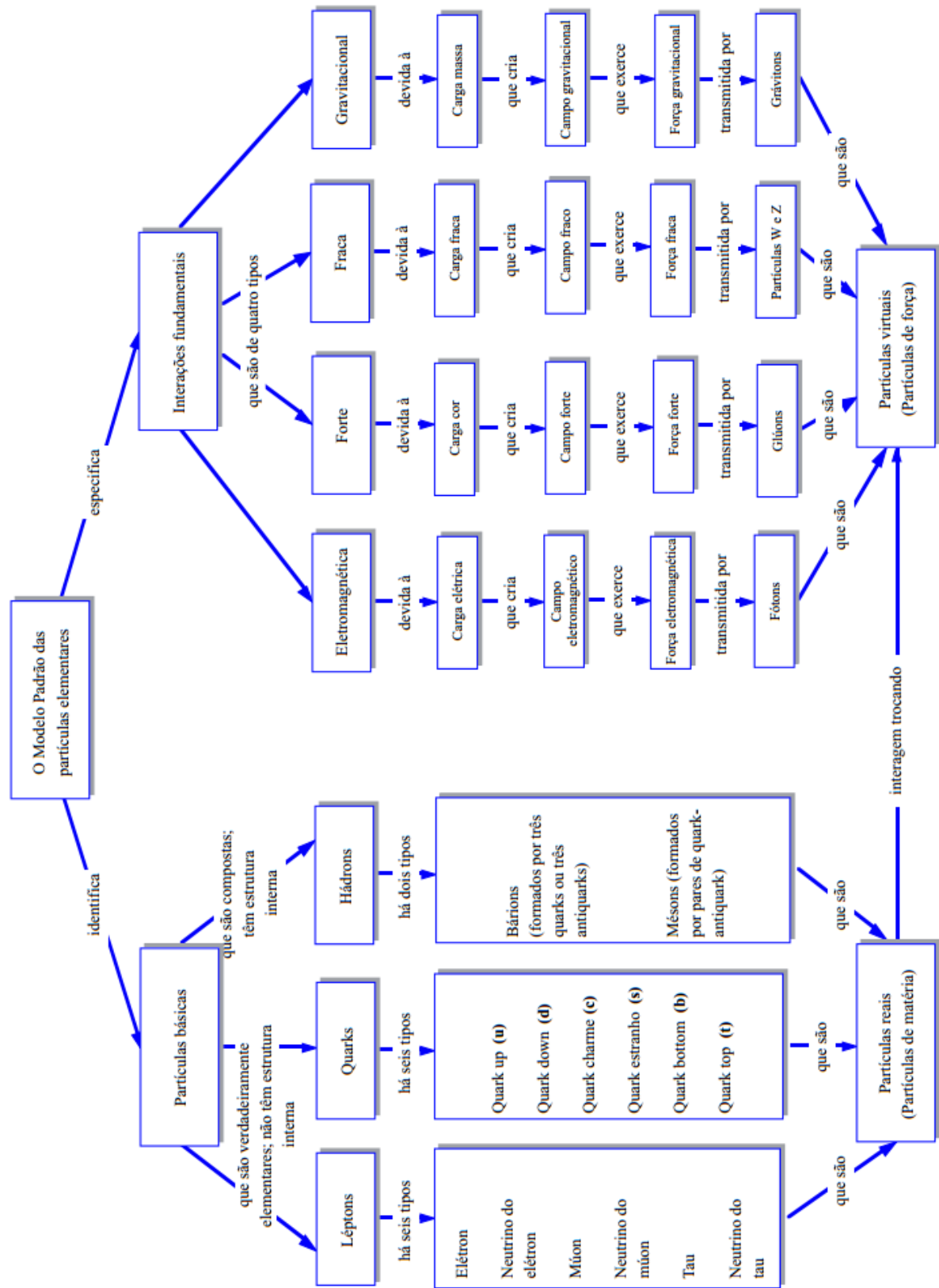
A diferenciação progressiva é o processo da dinâmica da estrutura cognitiva, no qual conforme há a interação entre conhecimentos, estes se tornam base para novas significações e assim sucessivamente. Ou seja, conforme o subsunçor se torna cada vez mais elaborado, mais diferenciado, mais será capaz de servir de âncora para a atribuição de significados a novos conhecimentos. Já a reconciliação integrativa é a recombinação de relações entre ideias, conceitos, e proposições na estrutura cognitiva do indivíduo.

A reconciliação integrativa e a diferenciação progressiva são dois processos relacionados que ocorrem no curso da aprendizagem significativa. Toda aprendizagem que resultar em reconciliação integrativa resultará também em diferenciação progressiva adicional de conceitos e proposições. A reconciliação integrativa é uma forma de diferenciação progressiva da estrutura cognitiva. É um processo cujo resultado é o explícito delineamento de diferenças e similaridades entre ideias relacionadas. (MOREIRA,)

A partir disto, o uso deste artifício nas propostas pedagógicas não só é possível, como apropriado. Dado que mapas conceituais podem ser usados como recurso de aprendizagem e meio de avaliação, serão aplicados em ambos os momentos. No nível médio, em um primeiro instante, ele será produzido em conjunto para que o professor identifique os conhecimentos prévios dos alunos a respeito da constituição da matéria.

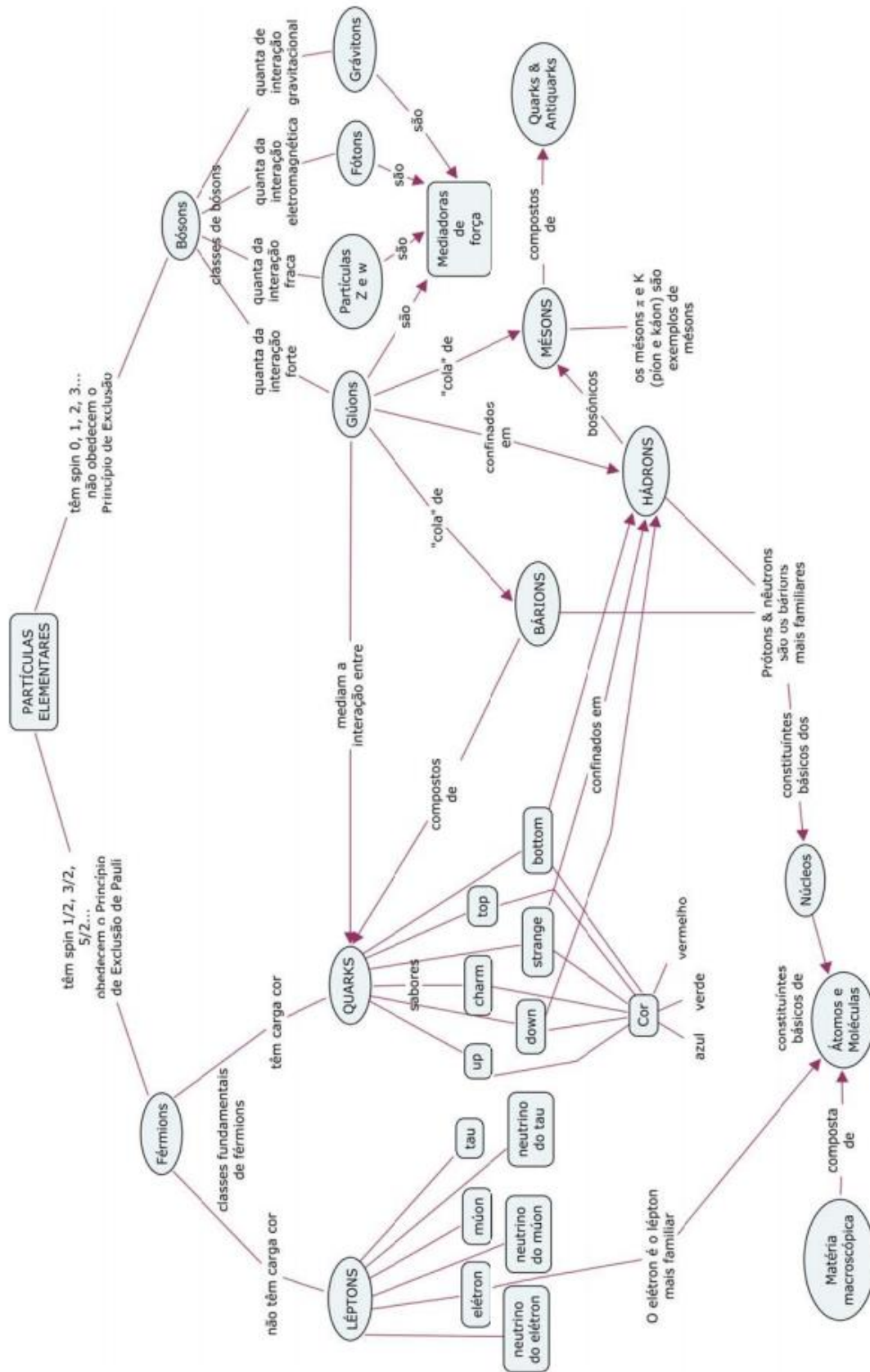
Em um segundo momento, um dos possíveis mapas conceituais do Modelo Padrão das Partículas elementares será exposto após a leitura de um texto, para provocar uma discussão entre os alunos a respeito do assunto, de modo que eles sejam capazes de explicá-lo. Por fim, será aplicado como avaliação qualitativa da aprendizagem significativa dos alunos, ao pedir-lhes que entreguem seus próprios mapas sobre o conteúdo abordado. É possível a utilização de ambos mapas conceituais das Figuras 12 e 13.

Figura 12: Mapa conceitual sobre o Modelo Padrão das Partículas Elementares e Interações Fundamentais.



Fonte: MOREIRA, M. A. O Modelo Padrão da Física de Partículas.

Figura 13: Mapa conceitual sobre as Partículas Elementares



Fonte: Moreira, M. A. 1989, revisado em 2004.

3.4 Audiovisual

O vídeo é sensorial, visual, linguagem falada, linguagem musical e escrita. Linguagens que interagem superpostas, interligadas, somadas, não separadas. Daí sua força. Somos atingidos por todos os sentidos e de todas as maneiras. O vídeo nos seduz, informa, entretém, projeta em outras realidades (no imaginário), em outros tempos e espaço. (MORÁN, 1995, p.28)

Assim, para Morán (1995) o vídeo pode ser usado adequadamente como sensibilização, ilustração, simulação, conteúdo de ensino (forma direta ou indireta), produção (documentação, intervenção e expressão), integração/suporte, espelho e avaliação. Este autor também estabelece que os tipos de uso inadequado de vídeo em sala de aula são:

- a) Vídeo-tapa buraco: professor colocar vídeo quando há um problema inesperado;
- b) Vídeo-enrolação: docente exhibe um vídeo sem muita ligação com a matéria.
- c) Vídeo-deslumbramento: uso exagerado do recurso audiovisual por professores que acabaram de descobrir o uso do vídeo, o que diminui a sua eficácia e empobrece as aulas;
- d) Vídeo-perfeição: educadores questionam todos os vídeos que possuem algum erro, esquecendo que podem partir destes e questionar os alunos;
- e) Só vídeo: apresentar o vídeo sem discuti-lo, sem integrá-lo com o assunto de aula, sem voltar e mostrar alguns momentos mais importantes.

Portanto, será interessante a utilização de recursos visuais para ilustrar os assuntos abordados nas propostas pedagógicas e provocar discussões a respeito de temas trazidos, bem como, estimular o raciocínio dos alunos para que elaborem um experimento.

3.5 Literatura

Atualmente, segundo Marchi e Leite (2011), considera-se que os alunos são avessos à leitura e que a realizam somente sob pressão ou por obrigação e que os jovens, de maneira geral, estão se afastando dela. Entretanto, justificam que o último caso não é uma consideração justa, uma vez que atualmente há uma grande oferta de textos através dos meios eletrônicos. Sendo assim, a leitura realizada é

diferente daquela que a Escola considera legítima porque seu conteúdo distingue-se dos presentes nos livros e pela relação estabelecida entre o leitor e o texto.

Os PCNEM (1999) determinam a capacidade de comunicação através da leitura e interpretação de textos de interesse científico e tecnológico como uma das competências e habilidades a serem desenvolvidas no Ensino Médio na área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Especificamente em Física, aponta-se a importância do conhecimento de fontes de informações e formas de obtenção de informações relevantes, o que capacita o aluno a interpretar notícias científicas. Assim, nessas mesmas diretrizes curriculares:

Um texto apresenta concepções filosóficas, visões de mundo, e deve-se estimular o aluno a ler além das palavras, aprender, avaliar e mesmo se contrapor ao que lê. A leitura de um texto deve ser sempre um dos recursos e não o essencial da aula. Assim, cabe ao professor problematizar o texto e oferecer novas informações que caminhem para a compreensão do conceito pretendido (BRASIL, 1999, p. 268).

Os PCN+ Ensino Médio (2002) estimula a presença do diálogo entre o conhecimento, os alunos e os professores, considerando o contexto cultural-político-socioeconômico do aluno. Uma das formas de realização deste diálogo é através da análise e interpretação de textos de ciência e tecnologia, com o uso dos meios de comunicação e informação presentes na realidade do aluno, *“como notícias de jornal, livros de ficção científica, literatura, programas de televisão, vídeos, promovendo diferentes leituras e/ou análises críticas”* (BRASIL, 2002, p. 83).

De acordo com Solé (1998), como todas as disciplinas exigem que os alunos saibam ler, o ensino da leitura é responsabilidade de todas as matérias e deve estar no projeto curricular. Complementa, ainda, que o trabalho da leitura não deve se restringir ao ciclo inicial, mas sim ser realizado ao longo de toda a escolaridade.

Todo professor, independente da disciplina que ensina, é professor de leitura e esta pode ser transformada numa atividade interdisciplinar envolvendo os professores de física, português e história. “Física e Cultura” - João Zanetic (2005).

A respeito do papel do professor no despertar dos alunos para a importância da leitura, Silva (1998) diz que:

Sem que o professor transmita e faça ver aos seus alunos a importância dos livros (e da linguagem verbal escrita) nas suas formas de ser e de se posicionar no mundo, pouco ou nada será conseguido em termos de desenvolvimento de hábitos de leitura (p. 85-86).

Hoje em dia, a leitura presente nas aulas de Física é no momento de uso do Livro Didático, seja para ler e compreender o conteúdo como para resolver exercícios. Entretanto, este tipo de prática de leitura não estimula o hábito de leitura nem desperta o interesse do aluno por temas científicos atuais ou pela História da Ciência. Sendo assim, Solé (1998) enfatiza que há uma variedade de objetivos e finalidades da leitura:

[...] devanear, preencher um momento de lazer e desfrutar; procurar uma informação concreta; seguir uma pauta ou instruções para realizar uma determinada atividade [...]; informar-se sobre um determinado fato [...]; confirmar ou refutar um conhecimento prévio; aplicar a informação obtida com a leitura de um texto na realização de um trabalho, etc (p. 22).

Para Ribeiro e Martins (2007), alguns livros didáticos têm indicações de leituras complementares sobre biografias de cientistas renomados, grandes fatos, experimentos e descobertas da ciência ou episódios da História da Ciência que comprometem sua importância para a compreensão dos conteúdos que os antecedem. Esta postura é prejudicial porque a ciência não é linear, não consiste em verdades absolutas e é realizada por inúmeros cientistas. E, além disso, muitos destes cientistas buscavam compartilhar com a população em geral, ou seja, com pessoas que não são especializadas no assunto nem possuem domínio do formalismo matemático no qual a Física expressa suas descobertas, inquietações e ideias científicas.

Pinto (2009) ressalta que determinados materiais de divulgação científica possibilitam uma leitura que leve os alunos “aos terrenos da imaginação e criatividade científica” (p.11), o que permite a reflexão sobre como a ciência é feita e não como verdade única, imutável e irrefutável. De acordo com Marchi e Leite (2011) é de maior interesse e conveniência a utilização de textos e livros de divulgação científica da autoria de cientistas, pois estes têm maior domínio e contato com tais assuntos, uma vez que estão presentes em sua área de atuação. Estes textos ainda trazem características ausentes em livros didáticos, tais como: a preocupação com o leitor; a sugestão de caminhos de leitura; a busca pela linguagem adequada, criando cumplicidade, utilizando-se de uma variedade de recursos e valorizando a reflexão, o questionamento, procurando imagens e acrescentando informações, situando, localizando, utilizando situações concretas, familiares, abordando temas atuais ou mesmo trazendo relatos sobre a história da ciência (SALÉM & KAWAMURA, 1996).

Complementarmente, Benjamin e Teixeira (2001) entendem que a criação do hábito de leitura e a motivação dos alunos pela busca de novas fontes de informações podem ser desencadeadas pela utilização de textos alternativos na prática docente. Também chamam a atenção que é preciso considerar a existência de textos mais complexos, os quais exigem maior reflexão e instrumentos, pois sua compreensão não é trivial. Por fim, para questionar, discutir e criticar um texto é preciso que os educandos sejam questionados, vivam situações de discussão e crítica junto com os seus companheiros e com a participação do professor (SILVA, 1998, p. 87).

Segundo Almeida e Ricon (1993), ao ler textos literários, como por exemplo romances, crônicas, biografias, poesias, quadrinhos, etc, há a aproximação do belo, do lúdico e de suas fantasias e emoções. Assim, gera-se um estado de desenvolvimento. Desta forma, para estes autores a leitura de textos de divulgação científica oriundos de livros para tal fim e de outros encontrados em jornais e revistas pode resolver dúvidas, mas também motivar outras leituras. Este incentivo pode provocar discussões e contribuir para que o estudante seja mais persistente no ato de ler. Por conseguinte, ao ler diferentes tipos de textos literários em aulas de Física também é possível gerar sentimentos e emoções desejáveis, curiosidade científica, consciência crítica, etc.

Os autores anteriores estabelecem que alguns aspectos negativos do incentivo a leituras relativas à Ciência são: a desvalorização de algumas das informações contidas num texto; desconsiderar as interpretações do estudante; avaliações baseadas na memorização de informações; e a expectativa de resultados imediatos. Enquanto isso, Fraknoi (2003:4) defende o uso de ficção científica escrita no ensino de ciências e sugere algumas formas de utilizá-la em sala de aula:

1. Quando se estiver abordando um tema particular de ciências, simplesmente descrever uma história de ficção científica que lance luz sobre aquele tópico (...);
2. Atribuir a um aluno ou grupo de alunos mais adiantados a tarefa de ler uma história particularmente boa e então relatá-la à classe (...) logo após o tópico de ciência que a história envolve ser coberto. (...);

3. Pegar uma história de ficção científica que desatualizada ou que utilize ciência incorreta e então fazer com que os alunos discutam quais são os problemas. (...);
4. Atribuir a leitura de uma história curta como tarefa para casa, solicitar aos alunos que pensem a respeito dela e então dividi-los em pequenos grupos para responder questões sobre a história. (...);
5. Fazer com que os estudantes selecionem uma história à sua escolha e façam uma análise da ciência nela presente. (...);
6. Após discutir um certo número de histórias de ficção científica durante o curso de um semestre, pode ser interessante encorajar os estudantes (...) a escrever as suas próprias histórias.

De acordo com Piassi e Pietrocola (2009) contos escolhidos adequadamente são de leitura fácil e agradável, além de serem, por definição, mais rápidos e focados. Mas, geralmente, trazem ideias mais complexas e intrínsecas que os filmes. Sendo assim, segundo estes autores, *“é possível proporcionar discussões no âmbito do processo de produção do conhecimento científico e das relações sócio-políticas da ciência e da tecnologia”*.

A ficção científica tem sua própria maneira de falar sobre a ciência (...). Ela é didática, porque se propõe a veicular ideias, mas não no sentido de explicar o que é a ciência ou ensinar conceitos científicos, embora isso possa ocorrer ocasionalmente (PIASSI, 2013, p.12).

Por fim, Piassi (2013) destaca o porquê da validade do uso de ficções científicas no ensino de conceitos científicos.

4 PROPOSTAS PEDAGÓGICAS

Neste capítulo são apresentadas propostas pedagógicas para a Educação Básica compostas por sequências didáticas. Segundo Zabala (1998) elas são:

“Um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos (...)” (ZABALA, 1998, p.18).

Já de acordo com Pais (2002, apud GUIMARÃES; GIORDAN, 2011) “é formada por certo número de aulas planejadas e analisadas previamente com a finalidade de observar situações de aprendizagem, envolvendo os conceitos previstos na pesquisa didática” com objetivo de ter significado para o aluno. Por fim, a importância de organizar uma sequência didática é apresentada pelo Ministério da Educação, por meio da Secretaria de Educação Básica, Diretoria de Apoio à Gestão Educacional (2012):

Ao organizar a sequência didática, o professor poderá incluir atividades diversas como leitura, pesquisa individual ou coletiva, aula dialogada, produções textuais, aulas práticas, etc., pois a sequência de atividades visa trabalhar um conteúdo específico, um tema ou um gênero textual da exploração inicial até a formação de um conceito, uma ideia, uma elaboração prática, uma produção escrita (BRASIL, 2012, p-21).

4.1 Ensino Fundamental I

Com a sala disposta em círculo, o professor atuará como mediador instigando a curiosidade e o raciocínio dos alunos, logo os questionará sobre a combinação de luzes coloridas para a formação da luz branca para averiguar quais os conhecimentos prévios dos alunos. A partir destas respostas, sugere-se que o professor enuncie que luzes coloridas aditivas formam luzes de outras cores e os questione se as conhecem. Caso as conheçam, é de grande interesse que os estimule a enumerá-las, caso contrário, fica a cargo do educador fazê-lo e justificar porquê são chamadas desta forma. É essencial que o responsável ressalte que recebem o nome de cores aditivas por gerarem o branco quando somadas, porque é a base de toda a atividade, portanto, deve ficar muito claro.

Dado que crianças são mais visuais e possuem certa dificuldade com conceitos abstratos, foi escolhida a utilização do laboratório demonstrativo. Isto porque o experimento selecionado, Disco de Newton de LED's, permite ilustrar a sobreposição de luzes coloridas para facilitar a aprendizagem e compreensão

destes conceitos, uma vez que serão utilizados para a introdução da noção de combinação de características para a formação de sistemas de partículas.

O disco é composto por 6 LED's (2 vermelhos, 2 azuis e 2 verdes) intercalados como mostrado na montagem experimental da Figura 18. O aparato experimental deve ser apresentado aos alunos, ou seja, mostrar a eles cada par de luzes acesas sozinhas. A seguir, o docente deve fazer a mesma coisa, mas com o disco em rotação. Para iniciar a demonstração da combinação de cores, pede-se aos alunos que escolham duas cores para serem sobrepostas inicialmente e questioná-los de qual cor será formada. Depois disso, mostra-se a sobreposição das cores escolhidas para gerar uma discussão a respeito do porquê isso ocorre. O mesmo deve ser feito com as outras duas combinações escolhidas por eles, e por fim, questionar o que ocorrerá ao combinar as três, mostrar o resultado e discuti-lo.

Após a demonstração experimental, será preciso revisar quais luzes coloridas são formadas a partir de cada par e trio combinado. Em seguida, sugere-se a realização dos mesmos procedimentos para um Disco de Newton composto por 2 LED's magenta, 2 ciano e 2 amarelo para demonstrar a subtração das cores formando o branco. Entretanto, como ainda não foi possível realizar sua construção, uma folha com os diagramas das cores aditivas e subtrativas será entregue aos alunos para que eles possam interpretar como acontece a formação do branco nesse caso. Recomenda-se que a figura de sobreposição de luzes anexa nas regras também seja projetada no quadro, de modo a facilitar o diálogo. Para verificar se os alunos compreenderam a lógica do que foi demonstrado, observa-se sua desenvoltura no decorrer desta atividade, bem como as dificuldades apresentadas.

Uma vez que estes conceitos estejam claros, será possível propor o início do jogo Quarkle! +. O docente deverá explicar as regras do jogo da forma mais clara possível, preferencialmente com uma rodada de exemplo. É sugerido que a sala seja dividida em grupos com no máximo quatro discentes e que sejam entregues três cartas por integrante e o restante do baralho virado para baixo no centro da mesa. O jogo tem como objetivo combinar pares ou trios de cartas coloridas para conseguir o branco. Uma vez que a combinação formada for colocada na frente do jogador, não poderá mais ser alterada, e ganhará quem fizer as cinco combinações primeiro!

Após a finalização do jogo, conta-se a eles que estavam formando sistemas de partículas a partir da combinação de uma característica de partículas elementares. Ou seja, combinando dois ou três pequenos elementos (quarks) que resultam na cor branca, forma-se um sistema de partículas. Ao juntar dois destes sistemas com uma outra partícula aparentemente menor que as outras (elétron), gera-se o que é conhecido como átomo (por exemplo o hidrogênio) que ao se combinar com outros átomos, forma a matéria. Por exemplo, se eu combinar dois hidrogênios com um oxigênio terá a molécula da água conhecida pelos estudantes. Inicialmente parecerá muito abstrato e, novamente, para superar esta barreira propõe-se uma nova dinâmica.

Para a realização desta será preciso entregar duas metades de uma folha para cada grupo, em que um grupo receberá uma folha de uma cor: vermelha, verde, azul, amarela, magenta e ciano. A primeira metade deverá ser picada no menor tamanho possível com uma tesoura, a segunda no menor tamanho possível com as mãos e depois devem contar quantos pedaços foram obtidos com cada um dos meios. Após a realização desta atividade, deve-se questioná-los porque ocorreu diferença no número de papéis picados. Isto os permitirá criar hipóteses prévias, conforme o professor - através de indagações pertinentes mas não indutivas - os guie até que concluam que mais tecnologia fornece maior precisão.

Uma vez que os alunos reconheçam este fato, caberá ao professor propor uma situação problema para verificar se os discentes compreenderam o que foi apresentado. Pedir-se-á aos alunos que sentem no chão em círculo com seus pequenos pedaços de papel colorido e os juntem de modo a formar sistemas de partículas. Quando todos os alunos formarem suas duplas e trios de papéis de forma correta, o professor deve entregar um pequeno pedaço de papel preto para cada quarteto e pedir a eles que formem os átomos. Espera-se que os alunos juntem o pedaço de papel preto com dois sistemas de partículas, uma vez que este foi o exemplo dado e os quarks não foram nomeados, embora seus nomes e cargas estejam presentes em cada carta.

Esta sequência de ensino permite que os estudantes saibam que a matéria é composta por elementos muito menores daquilo que se imagina, sendo assim, que criem subsunçores para quando o assunto for apresentado no Ensino Médio.

Também permite que despertem interesse pela Física além de compreenderem a importância da ciência e da tecnologia.

4.2 Ensino Fundamental II

A proposta da introdução deste conteúdo ocorre também através da aplicação combinada de recursos tais como vídeos, dinâmica, experimento, jogo e mapa conceitual.

Uma vez que os alunos estejam sentados em uma parábola durante toda a atividade, a sequência didática inicia-se com questionamentos sobre a constituição da matéria para identificar os conhecimentos prévios dos alunos a respeito do tema. As respostas serão colocadas na lousa em torno deste título de forma a construir um esquema que permita que eles vejam a amplitude do subtema, bem como sua correlação. Feito isso, aplica-se o Jogo Quarkle! + no qual os alunos juntarão duas ou três cartas com cargas elétricas fracionárias (os quarks) para formar um número inteiro (sistemas de partículas) com cargas elétricas inteiras: -2; -1; 0; 1; e 2. Lembrando que o docente deve explicar as regras e que o ideal é dividir a sala em grupos com no máximo quatro discentes e que sejam entregues três cartas por integrante e o restante do baralho seja colocado virado para baixo no centro da mesa.

Após a finalização do jogo, isto é, quando alguém conceber os cinco sistemas de partículas, será realizada a mesma dinâmica dos papéis picados proposta ao ensino fundamental I, entretanto, com folha branca e uma discussão histórica com maior profundidade. Para isso o projetor pode ser usado para mostrar a linha do tempo do desenvolvimento da teoria atômica. Com sua exposição e explicação é possível fazer questionamentos e introduzir novas ideias tal como a realização de experimentos para o desenvolvimento da ciência.

É interessante mostrar o esquema experimental do experimento de Thompson da Figura 02, do efeito Compton da Figura 03, experimento da Folha de Ouro da Figura 04, a Câmara de Nuvens e os atuais Aceleradores de Partículas bem como seus vídeos sugeridos a seguir.

Experimento de Thompson disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=KgXCGIkUJWQ>

<https://www.youtube.com/watch?v=NZ4-YJWjZ4s>

Experimento da Folha de Ouro de Rutherford disponível em:

https://www.youtube.com/watch?v=8wf2OJHz_E

Câmara de nuvens disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=XGNvAEtYZkw&t=715s>

<https://www.youtube.com/watch?v=tp0DgqujP3>

Aceleradores de Partículas disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=ksKP-Vvh52k>

<https://www.youtube.com/watch?v=o8x4wLkV90>

A partir disto, cada grupo de alunos recebe um copo de plástico, uma caixa pequena de isopor com gelo seco, papel preto, uma placa de alumínio ou qualquer metal, uma esponja, massinha e um pouco de álcool isopropílico (90%). Os discentes terão, primeiro, como objetivo elaborar uma câmara de nuvens com esses materiais. Uma vez feito isto, devem observar e analisar seu funcionamento, ou seja, os rastros deixados pelas partículas oriundas dos raios cósmicos.

Por fim, baseado no que foi discutido, devem escrever um texto explicando como a estruturaram, seu funcionamento e para que serve. Então será aberta uma nova roda de conversa na qual cada grupo explicará seus resultados aos colegas. Para finalizar a sequência didática, pede-se aos alunos que façam um mapa conceitual sobre a constituição da matéria e sua história.

Assim, o mapa conceitual permite determinar os conceitos prévios dos alunos, bem como, avaliar como foi sua aprendizagem e qual a rede de significados criada. A atividade lúdica explica o conceito de como os sistemas de partículas observadas se formam. O experimento da Câmara de Nuvens permite o desenvolvimento da linguagem científica e prática experimental, a habilidade e o conhecimento da construção de experimentos de baixo custo e, por fim, a demonstração de como encontram-se os sistemas de partículas construídos, possibilitando sua explicação e compreensão. Já o resumo possibilita o desenvolvimento da capacidade de sintetização e da linguagem científica.

Vale ressaltar que nos dois últimos anos do ensino fundamental II também é possível inserir, juntamente com a combinação de cargas elétricas, a combinação das cargas cores, a qual deve resultar em carga cor neutra. Para isso, sugere-se que os conceitos de sobreposição de luzes coloridas (vermelho, verde, azul, amarelo, magenta e ciano) sejam revistos.

4.3 Ensino Médio

A proposta preparada para este nível de ensino mescla quatro recursos e estratégias de ensino diversas: dinâmica, o jogo Quarkle! +, leitura e mapas conceituais. Existem inúmeras maneiras de aplicar o jogo, mas a descrita a seguir pode ser considerada a mais interessante até o momento. Pretende-se que a atividade inteira seja realizada com as carteiras da sala formando uma parábola ou uma circunferência, o que permite uma maior interação entre os alunos e o professor-mediador.

A aula será iniciada com “Composição da Matéria” escrito no centro da lousa. O professor deve perguntar aos alunos do que a matéria é composta, gerando uma discussão e depois pedir-lhes quais palavras surgem em sua mente a respeito disso. A seguir, uma vez que foram originados subtemas, pergunte-lhes o que estes lhes remetem e repetir o processo de completar as palavras no quadro. Como será formado uma espécie de mapa com temas e subtemas relacionados com o assunto central, será possível mostrar que todos os aspectos estão relacionados entre si e com o tema central. Esta atividade permitirá ao professor saber quais são os conhecimentos prévios dos alunos a respeito das partículas.

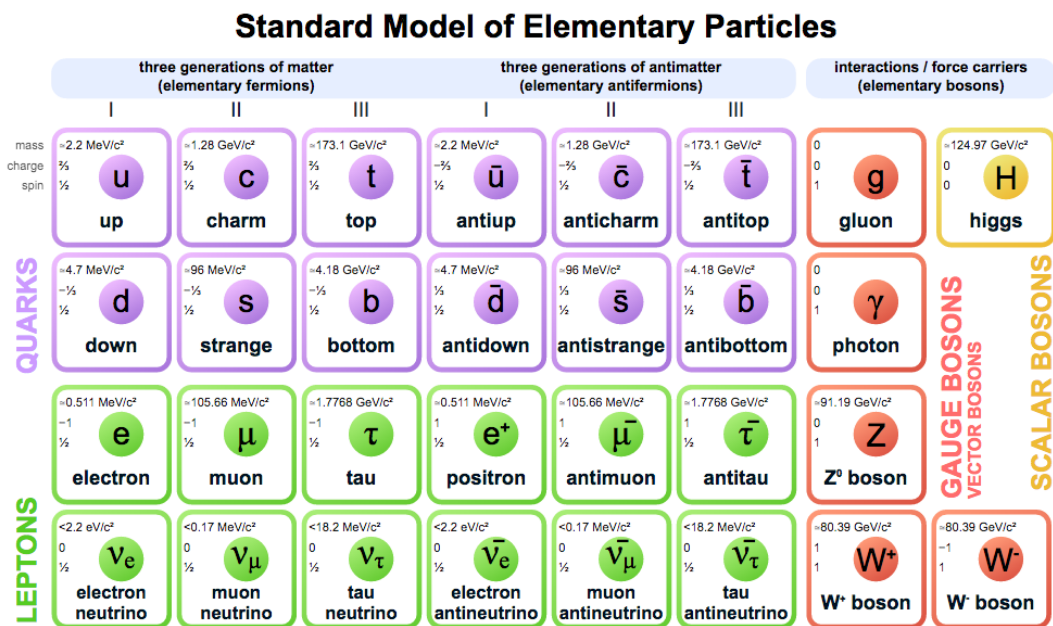
Em seguida pede-se aos estudantes que peguem um papel e o cortem ao meio: a primeira metade deverá ser picada com a mão até atingir o menor tamanho possível enquanto a segunda deve ser cortada com a tesoura com o mesmo objetivo. Os alunos devem comparar os papéis picados pelos dois meios e dizer qual deles permitiu obter menores pedaços, mais papéis e porquê. Em seguida, é importante provocar uma discussão para que os discentes se conscientizem que conforme a tecnologia se desenvolve é possível estudar com maior precisão a composição da matéria.

Após esta dinâmica exemplifica-se este processo contando brevemente a história dos modelos atômicos. Para isto, sugere-se que uma linha do tempo dos modelos atômicos seja projetada, e, ao chegar no Modelo Padrão das Partículas Elementares, passa-se para a imagem da sua representação atual mostrada na Figura 13, definindo-a e explicando-a brevemente.

Para dar sequência a atividade, formam-se grupos de dois a quatro alunos, em que cada grupo representará um jogador. O objetivo do jogo é, através da combinação de pares ou trios de quarks, formar cinco partículas com carga cor

neutra e com as respectivas cargas elétricas: $2e$, $1e$, 0 , $1e$ e $2e$, uma vez que estas são as condições para que ocorra a formação de sistemas de partículas. Para isto, distribui-se três cartas para cada grupo e o jogo inicia-se quando o primeiro jogador comprar uma carta do baralho do centro. Conforme uma partícula é criada, o grupo a apresenta explicando como se deram as combinações e o professor-mediador explicará os conceitos de hádrons, mésons, bárions, aniquilação, carga cor, carga elétrica e glúons.

Figura 14: Representação completa do Modelo Padrão das partículas elementares.

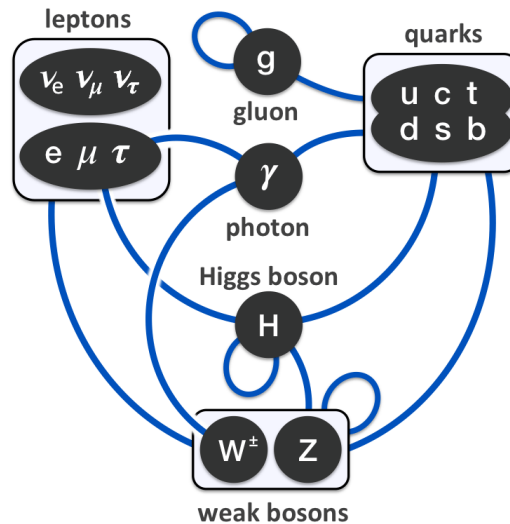


Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Modelo_padr%C3%A3o. Acesso: Junho de 2019.

A partir disto, será entregue a cada discente uma cópia do texto “Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares” da autora Maria Cristina Batoni Abdalla, e proposto a eles que cada um leia, em voz alta, um parágrafo do texto, interprete-o e explique-o aos seus colegas. O professor-mediador deve corrigir caso ocorra algum erro de interpretação ou de explicação de conceito, assim como fazer um apanhado do que foi explicado pelos alunos. É de extrema importância que o professor faça as devidas atualizações do texto, pois na época de sua publicação o Bóson de Higgs ainda não havia sido detectado. Então o fluxograma da Figura 12 será projetado e pedir-se-á aos alunos que o interpretem e expliquem, primeiro em uma folha pra ser entregue, para depois proporcionar um diálogo em sala com os demais colegas.

Logo após, o Mapa conceitual da Figura 09 será projetado para apresentação das Interações fundamentais. Será pedido aos alunos que interpretem, assim como sua relação com o Modelo Padrão. Sugere-se que esta explicação incite a construção destas ideias pelos estudantes a partir de uma discussão gerada pelo mapa conceitual demonstrado.

Figura 15: Fluxograma da relação entre as partículas do Modelo Padrão.



Fonte: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Interacciones-de-las-particulas-elementales-en-el-Modelo-Estandar-Los-ovalos_fig10_321883132

Como análise do que foi assimilado e internalizado pelos alunos, ou seja, se houve uma aprendizagem significativa, pede-se a eles que façam um mapa conceitual a respeito do modelo padrão e das interações fundamentais. A partir deste mapa será possível observar e analisar qual a rede de significados construída pelos estudantes.

5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

As propostas pedagógicas para os três níveis da Educação Básica, apresentadas neste Trabalho de Conclusão de Curso, foram elaboradas no formato de sequências didáticas construídas pela combinação de diversos recursos didáticos considerados pertinentes para tal. Esta escolha foi feita porque tal estratégia permite atingir um maior número de alunos.

Aos analisar as políticas públicas constatou-se que a implementação da Física, mesmo a moderna e contemporânea, desde cedo não só é viável como pertinente. Como apresentado por (CARVALHO, 2005; OSTERMANN, FERREIRA e CAVALCANTI, 1998; OSTERMANN, MOREIRA, SILVEIRA, 1992; PEREIRA, 1997; PINTO; PRAXEDES, KRAUSE, 2015; ZANETIC, 1999; VALADADES, MOREIRA, 1998) o estudo deste conteúdo permite o desenvolvimento da linguagem científica, a criação de uma rede de significados, desperta a curiosidade dos estudantes, aproxima esta ciência com o cotidiano dos alunos, demonstra e interdependência da ciência e o desenvolvimento da tecnologia, e atrai jovens para a carreira científica como futuros pesquisadores e professores.

Com a análise dos recursos didáticos, conclui-se que é possível construir sequências didáticas para todos os níveis da Educação Básica com uma variedade de combinações entre os recursos: Literaturas, Vídeos, Mapas conceituais, Jogos e Experimentos. Ademais, cada um desses recursos pode ser empregado de inúmeras formas. A escolha dos arranjos, nas propostas pedagógicas elaboradas, foi feita para contemplar os objetivos propostos para cada nível, baseando-se nas políticas públicas.

Como as políticas públicas viabilizam a aplicação destas sequências didáticas nos diversos níveis da Educação Básica, pretende-se ministrá-las em diversas escolas da região e analisar os dados de sua efetividade. Caso estas práticas se mostrem positivas, futuramente planeja-se verificar a possibilidade de aprofundamento com a inserção de conceitos de spin, número bariônico, número leptônico e cartas glúons, com o objetivo de tornar o jogo mais divertido e investigar a interação forte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALLA, M. C. B. **Sobre o discreto charme das partículas elementares.** Física na Escola, São Paulo, v. 6, n. 1, p. 38-44, maio 2005.
- ALMEIDA, M. J. P. M. de; RICON, A. E. **Divulgação Científica e Texto Literário: Uma Perspectiva Cultural em aulas de Física.**
- ALVES FILHO, J. P. **Atividades Experimentais: do método à prática construtivista.** 2000. p. 298. Tese apresentada junto ao curso de pós-graduação em Educação: Ensino de Ciências Naturais da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de doutor em educação.
- ALVES, V. F. **A inserção de atividades experimentais no ensino de Física em nível médio: em busca de melhores resultados de aprendizagem.** Dissertação (Mestrado profissional em Ensino de Ciências) – Faculdade de Educação, UNB, Brasília, 2006.
- ANJOS, A. Pesquisa em Ensino de Física e sala de aula: uma reflexão necessária. **Caderno de Física da UEFS**, Feira de Santana, v. 11, n.1, p. 7-12, 2013.
- ARAÚJO, M. S. T; ABID, M. L. V. S. Atividades Experimentais no Ensino de Física: Diferentes Enfoques, Diferentes Finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, p. 176-194, 2003.
- AUSUBEL, D.P. (1968). *Educational psychology: a cognitive view.* New York: Holt, Rinehart and Winston. 685p.
- BARTHEM, R. B.; SILVEIRA, M. V. **Disco de Newton com LEDs.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 38, n. 4, 4502. 2016.
- BENJAMIM, A.A., TEIXEIRA, O.P.B. Análise do uso de um Texto Paradidático Sobre Energia e Meio Ambiente. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 23, n. 1, p. 74-82, 2001.
- BITTENCOURT J. R., GIRAFÁ J. M. M. **A Utilização dos Role-Playing Games Digitais no Processo de Ensino-Aprendizagem.** Porto Alegre:TechnicalReports Series, 2003
- BLOSSER, P. E. **O papel do Laboratório no Ensino de Ciências.** caderno catarinense de ensino de física .Florianópolis, 1988. 74 - 78 p.
- BRASIL. **LEI de Diretrizes e Bases da Educação Nacional** – Lei nº 9.394, 20 de dezembro de 1996. Sancionado pelo presidente da República: CARDOSO, F. H. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9394.html. Acesso em: 05 ago. 2019.
- BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. **Parâmetros Curriculares Nacionais.** Primeiro e Segundo Ciclos de Ensino Fundamental. Ciências Naturais. Brasília: MEC, 1997.

BRASIL. Ministério da Educação e Cultura. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Terceiro e Quarto Ciclos de Ensino Fundamental. Ciências Naturais. Brasília: MEC, 1998.

CARVALHO, A. M. P. **Introduzindo os alunos no universo das ciências**. In: Jorge Werthein; Célio da Cunha. (Org.). Educação Científica e Desenvolvimento: O que pensam os cientistas. Brasília: UNESCO, 2005, v., p. 61 -67.

FARDO, M. L. **A GAMIFICAÇÃO APLICADA EM AMBIENTES DE APRENDIZAGEM**. Caxias do Sul: Novas Tecnologias na Educação, V. 11, 2013.

FRIEDMANN, A. **Brincar: Crescer e Aprender – O Resgate do Jogo Infantil**. São Paulo: Moderna, 1996. 128p.

FRAKNOI, Andrew. **Teaching Astronomy with Science Fiction: A Resource Guide**. Astronomy Education Review. Jul 2002 / Jan 2003.

Fundação CECIERJ. **Caminhando pela estrada que investiga do quê somos feitos**. Ciências da Natureza e suas Tecnologias - Química. Fascículo 1, Unidade 3. Disponível em:
<https://canal.cecierj.edu.br/122016/92345f8ef08ba22d98050dc246528b92.pdf>.
Acesso em: 05 ago. 2019.

GASPAR, A; MONTEIRO I. C. C. **Atividades experimentais de demonstrações em sala de aula**: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotsky. UNESP-SP, 2005.

HOFSTEIN, A.; LUNETTA, V. N. The laboratory in science education: foundations for the twenty-first century. **Science Education**, v. 88, n. 1, p. 28-54, 2004.

HUIZINGA, J. Homo. **Ludens: o jogo como elemento da cultura**. São Paulo: Perspectiva, 2008.

LANGANÁ, C. **Estudo de raios cósmicos utilizando uma câmara de nuvens de baixo custo**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 3, 3302 (2011)

MARCHI, F.; LEITE, C. **Leitura e Ensino de Física**: considerações e possibilidades. XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF 2011 – Manaus, AM, 2011.

MELO, M. G. de A.; AZEVEDO, L. S. de. **Física no ensino fundamental**: a quinta da experiência.

MORÁN, J. M. **O vídeo na sala de aula**. Comunicação & Educação, v. 2, p. 27-35, 1995.

MOREIRA, M.A. **Aprendizaje significativo: teoría y práctica**. Madrid: Visor. 2000.

MOREIRA, M.A. **Mapas conceituais como instrumentos para promover a diferenciação conceitual progressiva e a reconciliação integrativa**. Ciência e Cultura, 32(4): 474-479. 1980

- MOREIRA, M.A. **Mapas conceituais e Aprendizagem significativa**. São Paulo: Centauro Editora. 2010.
- MOREIRA, M. A. Revista Brasileira de Ensino de Física **11**, 114. 1989.
- MOREIRA, M.A. Uma abordagem cognitivista ao ensino da Física. Porto Alegre: Editora de Universidade. 1983.
- MOREIRA, M.A; BUCHWEITZ, B. **Novas estratégias de ensino e aprendizagem: os mapas conceituais e o Vê epistemológico**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas. 1993.
- MOREIRA, M. A; MASSONI, N. T. **Interfaces entre teorias de aprendizagem e ensino de ciências/física**. Porto Alegre. Textos de apoio ao professor de física. v. 26 , n.6. 2015. 42 p.
- NETO, J. M.; PACHECO, D. **Pesquisa sobre o ensino de Física no nível médio no Brasil: concepção e tratamento de problemas em teses e dissertações**. In: NARDI, Roberto (Org). Pesquisas no ensino de física. 2.ed. São Paulo: Escrituras Editora, p. 15-30, 2001.
- OSTERMANN, F; CAVALCANTI, C. J. H. Rev. Bras. Ens. Fis. **20**, 3 (1998)
- OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A.; SILVEIRA, F. L. **A Física na formação de professores para as séries iniciais**. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 106- 112, 1992.
- PEREIRA, M. V.; MOREIRA, M. C. do A. **Atividades prático - experimentais no ensino de Física**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 34, n. 1, p. 265-277, abr. 2017
- PIASSI, L. P. **Interfaces didáticas entre cinema e ciência**. São Paulo: Livraria da Física, 2013.
- PIASSI, L. P.; PIETROCOLA, M. **Quem conta um conto aumenta um ponto também em Física: Contos de Ficção Científica na sala de aula**.
- PINHEIRO, L.; COSTA, S. S. C. da; MOREIRA M. A. **Projetando o ensino de Física de Partículas Elementares e interações fundamentais no Ensino Médio**. XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física – SNEF 2009 – Vitória, ES.
- PINTO, A.C.; ZANETIC, J. **É possível levar a física quântica para o ensino médio? Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 16, n. 1, 1999.
- PINTO, G.A. Literatura não-canônica de divulgação científica em aulas de ciências. **Revista Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 11, n. 2, p. 262-276, 2009.
- PRAXEDES, J. M. de O.; KRAUSE, Jonas K. **O Estudo de Física no Ensino Fundamental II: Iniciação ao conhecimento científico e dificuldades enfrentadas para sua inserção**. II Congresso Nacional da Educação.

RIBEIRO, R.M.L.; MARTINS, I. O potencial das narrativas como recurso didático para o ensino de ciências: uma análise em livros didáticos. **Ciência & Educação**, v. 13, n. 3, p. 293-309, 2007.

SALÉM, S.; KAWAMURA, M.R. Os textos de divulgação científica: conhecimentos diferentes? In: V ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, Águas de Lindóia, 1996. **Atas do V EPEF**, Belo Horizonte: UFMG/CECIMIG/FAE, 1997.

SIMÕES, J.; REDONDO, R. D.; VILAS, A. F. **A social gamification framework for a K-6 learning platform. Computers in Human Behavior**, 2012.

SILVA, E.T. **Elementos de pedagogia da leitura**. 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998

SILVA, W. V. da; DUARTE, M. de O. **ENSINO DE FÍSICA E ATIVIDADES EXPERIMENTAIS EM SALA DE AULA: ALGUMAS CONSIDERAÇÕES**. Encontro de Pesquisadores em Educação a Distância. Congresso internacional de Educação e Tecnologias de 2018.

SOLÉ, I. **Estratégias de leitura**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 1998.

URIAS, G. ; ASSIS, A. **EXPERIMENTOS FÍSICOS NAS SALAS DE AULA DO ENSINO FUNDAMENTAL: MEIO DE ACESSO À LINGUAGEM FÍSICA**.

VALADARES, E.C. e MOREIRA, A.M. Cad. Bras. Ens. Fis. **15**, 2 (1998)

BIBLIOGRAFIAS CONSULTADAS

BARREIRO, L. A. Aspectos de Partículas e Campos. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Rio Claro, São Paulo, 2017.

FELIZARDO, R. de O. **Aplicação do jogo “Aventuras Radiológicas” para o Ensino de Física**. Juazeiro do Norte, 2018. 97 p.

MOREIRA, M. A. **A FÍSICA DOS QUARKS E A EPISTEMOLOGIA**. Instituto de Física da UFRGS, Porto Alegre, RS.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e Aprendizagem Significativa**. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/mapasport.pdf>. Acesso: Set. de 2019.

MOREIRA, M. A. **O Modelo Padrão da Física de Partículas**. São Paulo, 2009. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 1, 1306 p.

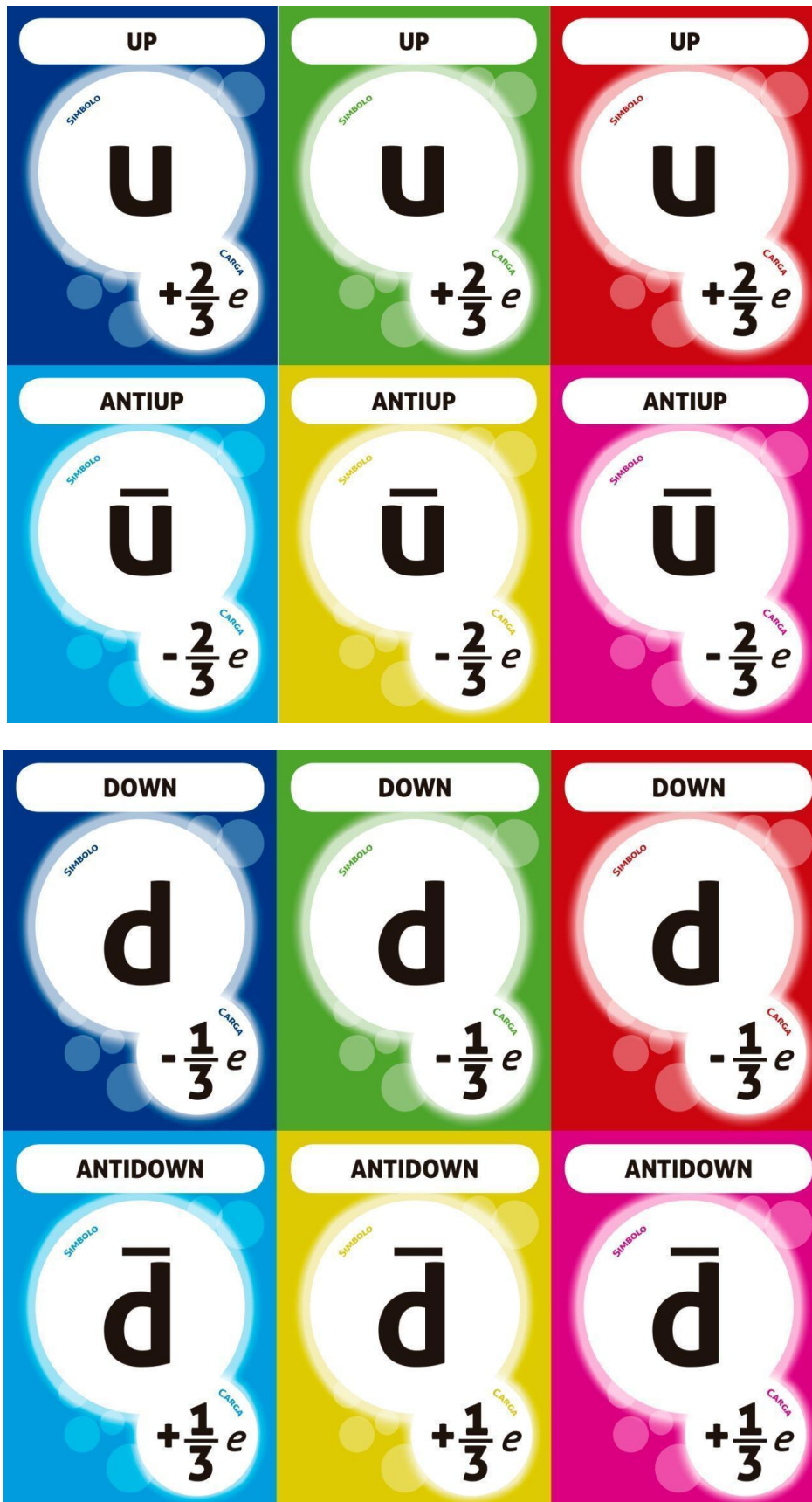
Moreira, M.A. **Teorias de aprendizagem**. 2 ed. ampl. São Paulo: 2011. 242p

OSTERMANN, F. **Um texto para professores do ensino médio sobre partículas elementares**. São Paulo. Revista brasileira de ensino de física, v. 21, n. 3 (set. 1999), p. 415-436, 1999.

OSTERMANN, F; CAVALCANTI, C. J. H. **Um pôster para ensinar Física de Partículas na escola**. São Paulo. Física na escola, v. 2, n. 1 (maio 2001), p. 13-18, 2001.

RAMOS, E. M. F. **Brinquedos e Jogos no Ensino de Física**. 1990. 289 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências – Modalidade Física) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

APÊNDICE A: BARALHO DO JOGO QUARKLE +!



<p>CHARM</p> <p>Simbolo</p> <p>C</p> <p>Carica</p> <p>$+\frac{2}{3}e$</p>	<p>CHARM</p> <p>Simbolo</p> <p>C</p> <p>Carica</p> <p>$+\frac{2}{3}e$</p>	<p>CHARM</p> <p>Simbolo</p> <p>C</p> <p>Carica</p> <p>$+\frac{2}{3}e$</p>
<p>ANTICHARM</p> <p>Simbolo</p> <p>\bar{C}</p> <p>Carica</p> <p>$-\frac{2}{3}e$</p>	<p>ANTICHARM</p> <p>Simbolo</p> <p>\bar{C}</p> <p>Carica</p> <p>$-\frac{2}{3}e$</p>	<p>ANTICHARM</p> <p>Simbolo</p> <p>\bar{C}</p> <p>Carica</p> <p>$-\frac{2}{3}e$</p>
<p>STRANGE</p> <p>Simbolo</p> <p>S</p> <p>Carica</p> <p>$-\frac{1}{3}e$</p>	<p>STRANGE</p> <p>Simbolo</p> <p>S</p> <p>Carica</p> <p>$-\frac{1}{3}e$</p>	<p>STRANGE</p> <p>Simbolo</p> <p>S</p> <p>Carica</p> <p>$-\frac{1}{3}e$</p>
<p>ANTISTRANGE</p> <p>Simbolo</p> <p>\bar{S}</p> <p>Carica</p> <p>$+\frac{1}{3}e$</p>	<p>ANTISTRANGE</p> <p>Simbolo</p> <p>\bar{S}</p> <p>Carica</p> <p>$+\frac{1}{3}e$</p>	<p>ANTISTRANGE</p> <p>Simbolo</p> <p>\bar{S}</p> <p>Carica</p> <p>$+\frac{1}{3}e$</p>

<p>TOP</p> <p>Simbolo</p> <p>t</p> <p>CARICA</p> <p>$+\frac{2}{3}e$</p>	<p>TOP</p> <p>Simbolo</p> <p>t</p> <p>CARICA</p> <p>$+\frac{2}{3}e$</p>	<p>TOP</p> <p>Simbolo</p> <p>t</p> <p>CARICA</p> <p>$+\frac{2}{3}e$</p>
<p>ANTITOP</p> <p>Simbolo</p> <p>\bar{t}</p> <p>CARICA</p> <p>$-\frac{2}{3}e$</p>	<p>ANTITOP</p> <p>Simbolo</p> <p>\bar{t}</p> <p>CARICA</p> <p>$-\frac{2}{3}e$</p>	<p>ANTITOP</p> <p>Simbolo</p> <p>\bar{t}</p> <p>CARICA</p> <p>$-\frac{2}{3}e$</p>
<p>BOTTON</p> <p>Simbolo</p> <p>b</p> <p>CARICA</p> <p>$-\frac{1}{3}e$</p>	<p>BOTTON</p> <p>Simbolo</p> <p>b</p> <p>CARICA</p> <p>$-\frac{1}{3}e$</p>	<p>BOTTON</p> <p>Simbolo</p> <p>b</p> <p>CARICA</p> <p>$-\frac{1}{3}e$</p>
<p>ANTIBOTTON</p> <p>Simbolo</p> <p>\bar{b}</p> <p>CARICA</p> <p>$+\frac{1}{3}e$</p>	<p>ANTIBOTTON</p> <p>Simbolo</p> <p>\bar{b}</p> <p>CARICA</p> <p>$+\frac{1}{3}e$</p>	<p>ANTIBOTTON</p> <p>Simbolo</p> <p>\bar{b}</p> <p>CARICA</p> <p>$+\frac{1}{3}e$</p>

APÊNDICE B: REGRAS DO JOGO QUARKLE!

Número de participantes: 2 a 4 jogadores.

Conteúdo: 72 cartas que representam cada sabor de quark com suas respectivas cargas elétricas e possíveis cargas cor.

Objetivo do Jogo: Formar 5 sistemas de partículas de acordo com o nível do jogo.

O jogo: Primeiramente é necessário que seja escolhido o nível e qual das modalidades propostas será utilizada assim como qual será o sentido do jogo. Assim, cada participante recebe 3 cartas do baralho misturado e o restante é colocado de cabeça para baixo no centro da mesa. Então o primeiro jogador pesca uma carta do monte e tenta formar um sistema de partículas adequado ao nível escolhido. Os sistemas de partículas podem ser criados em qualquer ordem e serão colocados na mesa em frente ao jogador. Portanto, cada participante precisa de espaço para 5 pilhas em sua frente. Além disso, uma vez que a combinação for feita e colocada na mesa, não poderá mais ser alterada. Se o jogador ficar sem cartas, receberá mais 3 cartas do maço, mas a vez será do próximo. É possível ao jogador criar mais de um sistema de partículas em sua vez mas quando não puder mais formá-los será a vez do próximo jogador. O vencedor será aquele que primeiro atingir o objetivo de seu nível. Por fim, se acabarem as cartas da mesa e nenhum jogador conseguir formar mais partículas, ganha o que tiver mais sistemas de partículas criados.

Níveis:

Ensino Fundamental I: O objetivo é formar um sistema de partículas combinando as cores (carga cor) das cartas (partículas) de sua mão para criar o branco (carga cor neutra). Para isso é importante lembrar das seguintes combinações de cores:

Vermelho + Azul + Verde = Branco

Amarelo + Azul = Branco

Como,

Magenta + Verde = Branco

Vermelho + Verde = Amarelo

Ciano + Vermelho = Branco

Vermelho + Azul = Magenta

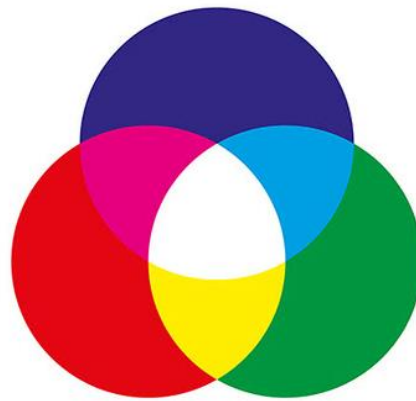
Logo,

Verde + Azul = Ciano

Ciano + Magenta + Amarelo = Branco

Como é possível observar no diagrama da Figura 16. Todas as combinações de cores escritas podem ser feitas em qualquer ordem. Ganha quem for o primeiro a fazer as 5 combinações de cores para chegar no branco, ou seja, “criar” os 5 sistemas de partículas de cor neutra!

Figura 16: Diagrama da sobreposição de cores aditivas e subtrativas.



Cores Aditivas

● vermelho ● verde ● azul ○ branco

Fonte: <https://www.todamateria.com.br/cores-primarias/>

Ensino Fundamental II: O objetivo é formar um sistema de partículas cuja carga elétrica seja um dos seguintes valores: $-2e$, $-e$, 0 , $+e$, $+2e$. Se em sua vez o jogador pôde formar um sistema de partículas, colocará as cartas que a compõe viradas para cima em sua frente e dirá sua carga elétrica. Ganha quem for o primeiro a conseguir os números inteiros, ou seja, “criar” os 5 sistemas de partículas com carga elétrica inteira.

Ensino Médio: O objetivo é formar uma partícula cuja carga elétrica seja um dos seguintes valores: $-2e$, $-e$, 0 , $+e$, $+2e$; DESDE QUE, ao combinar as cargas elétricas de sua mão, obtenha a carga de cor neutra, ou seja, branco. Para isso é importante lembrar das seguintes combinações de cores:

Vermelho + Azul + Verde = Branco

Amarelo + Azul = Branco

Como,

Magenta + Verde = Branco

Vermelho + Verde = Amarelo

Ciano + Vermelho = Branco

Vermelho + Azul = Magenta

Logo,

Verde + Azul = Ciano

Ciano + Magenta + Amarelo = Branco

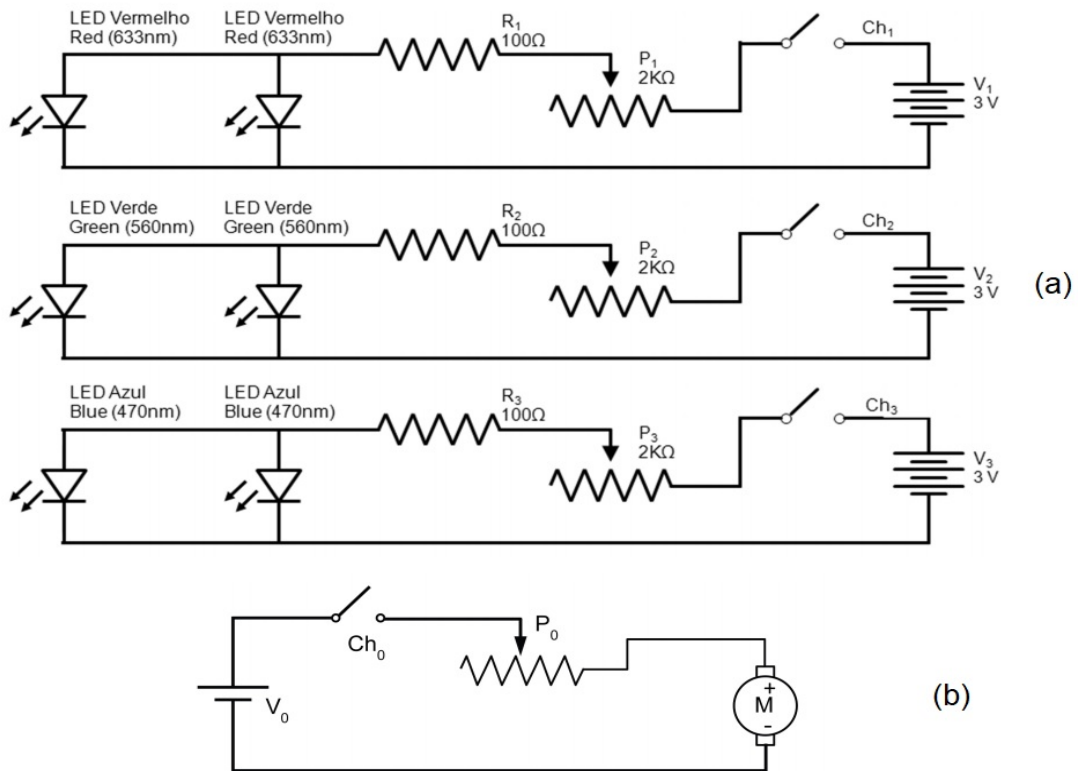
Se em sua vez o jogador pôde formar uma partícula, colocará as cartas que a compõe viradas para cima em sua frente e dirá qual é o tipo de hádron (méson ou bárion) formado e sua carga elétrica. Vence quem for o primeiro a “criar” os 5 sistemas de partículas, sendo cada um com carga cor nula e carga elétrica $-2e$, $-e$, 0 , $+e$, $+2e$.

ANEXO A: DISCO DE NEWTON COM LED's

Materiais utilizados

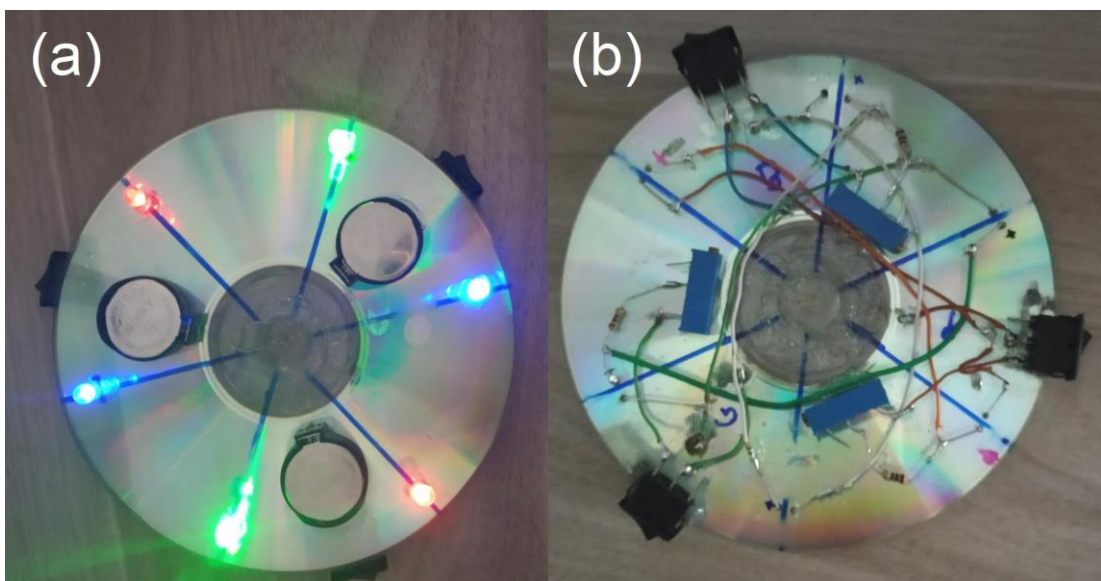
- 2 CD ou DVD
- 2 LED vermelho de 5 mm e alto brilho
- 2 LED verde de 5 mm e alto brilho
- 2 LED azul de 5 mm e alto brilho
- 3 Resistores de 100Ω 1/8 W
- 3 Trimpot multivolta 3006 de 2 k Ω
- 3 Suportes com baterias CR 2032 (3,0V)
- 4 Mini chaves interruptoras (liga e desliga)
- 1 Potenciômetro de fio 4W, 5k Ω
- 1 Motor de alta rotação
- 1 Fonte de tensão contínua 6V, 200mA
- 2 Brocas de metal de 2 e 5 mm
- 1 Furadeira
- 2 Parafusos para madeira 3,5 x 12 mm
- Fios cabinhos de cores variadas
- Cola quente
- Ferro de solda e Fio de solda
- Transferidor
- Caneta marca CD

Figura 17: (a) Circuitos eletrônicos para os três LEDs. R1, R2 e R3 são resistores responsáveis por limitar a corrente e impedir que os LEDs sejam danificados. Os potenciômetros P1, P2 e P3 permitem um ajuste fino no brilho de cada par de LEDs. (b) Esquema do circuito elétrico da alimentação do motor.



Fonte: BARTHEM, R. B.; SILVEIRA, M. V. Disco de Newton com LEDs.

Figura 18: Montagem experimental dos circuitos do Disco de Newton de LED's



Fonte: Autoria própria