

**MNPEF**  
Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física  
Polo **ufscar** Sorocaba



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

**O ENSINO DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES A  
PARTIR DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

**ORLANDO LEITE DE MOURA JÚNIOR**

**ORIENTADOR: PROF. DR. TERSIO GUILHERME DE SOUZA CRUZ**  
**COORIENTADORA: PROFA. DRA. FERNANDA KEILA DA SILVA MARINHO**

Sorocaba - SP  
Dezembro de 2020

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA, QUÍMICA E MATEMÁTICA

**O ENSINO DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES A  
PARTIR DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

**ORLANDO LEITE DE MOURA JÚNIOR**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Física no Ensino Médio.

Orientador: Prof. Dr. Tersio Guilherme de Souza Cruz

Sorocaba - SP  
Dezembro de 2020

**ORLANDO LEITE DE MOURA JÚNIOR**

**O ENSINO DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES A PARTIR DE UMA SEQUÊNCIA DIDÁTICA**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So) da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Área de concentração: Física no Ensino Médio.

Sorocaba - SP, 21 de Dezembro de 2020.

Orientador:

---

Prof. Dr. Tersio Guilherme de Souza Cruz  
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar - *campus* Sorocaba - SP

Examinador:

---

Prof. Dr. Zolacir Trindade de Oliveira Júnior  
Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC - Ilhéus - BA

Examinador:

---

Prof. Dr. Sérgio Dias Campos  
Universidade Federal de São Carlos - UFSCar - *campus* Sorocaba - SP

Sorocaba - SP  
Dezembro de 2020

Moura Júnior, Orlando Leite de

O Ensino das Partículas Elementares a partir de uma Sequência Didática / Orlando Leite de Moura Júnior -- 2020.  
93f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba  
Orientador (a): Tersio Guilherme de Souza Cruz  
Banca Examinadora: Zolacir Trindade de Oliveira Júnior, Sérgio Dias Campos  
Bibliografia

1. Ensino de Física. 2. Sequência Didática. 3. Partículas Elementares. I. Moura Júnior, Orlando Leite de. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano - CRB/8 6979

## **DEDICATÓRIA**

*Dedico esta dissertação às lindas presenças femininas que cruzaram meu caminho telúrico e muito me auxiliaram e me alegraram nesta fascinante trajetória de vida: Maria, Yvone, Sidônia, Benedita, Amélia, Salete, Ingrid, Daniela e Antonina.*

# AGRADECIMENTOS

Agradeço, antes de tudo, ao Deus do filósofo Baruch de Spinoza; pelo que eu não sei sobre a natureza de tudo, que (indubitavelmente) é algo bem maior do que penso que sei. Por me brindar com a oportunidade da vida, naturalmente, é a Ele que primeiro agradeço.

Ao Prof. Dr. Tersio Guilherme de Souza Cruz, por me aceitar como seu orientando, primeiramente. Também pela solicitude, imensa paciência e habilidade de condução que demonstrou ter. Absoluto em simplificar as coisas sem que elas percam sua importância ou deixem de ser interessantes.

À Profª Drª Fernanda Keila Marinho da Silva, pela extrema paixão, competência e dedicação para com a sua profissão; usou disso para orientar-me por muitas vezes neste trabalho acadêmico.

Agradeço a todos os Professores do MNPEF/PROFIS-So, pelas ótimas e edificantes aulas, que bastante contribuíram para que eu me tornasse um professor e uma pessoa melhor.

À minha esposa Amélia pelo apoio, resiliência e renúncia de si mesma em vários momentos, por esse bem maior, me incentivando e me renovando em tudo, sempre.

Agradeço à Marilim e à Renata, amigas que dividiram comigo as aflições e inseguranças do começo do curso. Mas houve o avesso: agradáveis tardes de estudo/café nos finais de semana e as alegrias e sucessos que o mestrado nos proporcionou, tudo imensamente válido e prazeroso.

Ao Prof. Ms. Luis Roberto, à Profª Drª Kátia Hanna, ao Prof. Laércio, à Profª Mônica e ao Eng. Antonio Donizete, amigos que ajudaram muito no que concerne a esta obra.

À tia Cida - costureira conceituada - que proporcionou a reforma de um banquinho de pano estruturado em barras de aço, onde melhor me adaptei para sentar e escrever esta dissertação.

Agradeço ao meu irmão Héveri e, em memória, ao meu grande pai Orlando; ao meu tio Sidney, aos meus avôs Benedito e Ciríaco e ao meu bisavô Francisco Paes, por ajudarem na construção dos valores que existem em mim; a partir disso essa vitória se culminou.

E, por fim, agradeço à Sociedade Brasileira de Física (SBF) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fomento ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) durante todo o período de formação e pela bolsa de estudos fornecida.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.”

“This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance code 001.”

*“A liberdade é para a ciência o que o ar é para o animal.”*

*Jules Henri Poincaré (1854-1912)*

# RESUMO

MOURA JÚNIOR, Orlando Leite de. O Ensino das Partículas Elementares a partir de uma Sequência Didática. 2020. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, Sorocaba, 2020.

Apresentamos neste trabalho acadêmico o desenrolar do estudo, elaboração, aplicação e verificação dos dados de uma Sequência Didática (SD) que visa auxiliar no aprendizado de alunos (as) da terceira série do Ensino Médio (EM), situados em uma escola pública estadual no interior de São Paulo. O conteúdo a ser estudado são as Partículas Elementares (PE) - componentes básicos da matéria - e suas interações, parte integrante do tema de Física Moderna e Contemporânea (FMC). A SD foi amparada pela Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) e pelo Currículo do Estado de São Paulo para o EM. As atividades pedagógicas presentes na SD estão esclarecidas em quatro Unidades Didáticas (UD) distintas que objetivam mitigar as dificuldades aparentes de se ensinar e aprender conteúdos vinculados à disciplina de Física, principalmente a FMC. As atividades foram acompanhadas de avaliações de caráter formativo e somativo (aplicada ao final da SD). Esperamos assim ser pertinente para o contexto pedagógico e poder contribuir na contínua busca de uma relação ensino/aprendizagem cada vez mais adequada e eficaz.

**Palavras-chave:** Sequência Didática. Partículas Elementares. Ensino de Física. Ensino Médio. Física Moderna e Contemporânea.



# ABSTRACT

MOURA JÚNIOR, Orlando Leite de. O Ensino das Partículas Elementares a partir de uma Sequência Didática. 2020. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, Sorocaba, 2020.

In this academic work we present the development of the study, elaboration, application and verification of the data of a Didactic Sequence (SD) that aims to assist students learning in the third year of high school (EM), in a state public school in the interior of São Paulo. The content to be studied are the Elementary Particles (PE) – basic components of matter – and their interactions, an integral part of the theme of Modern and Contemporary Physics (FMC). The SD was supported by the Theory of Meaningful Learning (TAS) and by the State of São Paulo High School Curriculum. The pedagogical activities present on the SD are clarified in four distinct Didactic Units (UD) that aim to mitigate the apparent difficulties of teaching and learning contents related to the subject of Physics, mainly FMC. The activities were followed by formative and summative assessments (taken at the end of the SD). We thus hope to be pertinent to the pedagogical context and to contribute to the continuous search for an increasingly adequate and effective teaching/learning relationship.

**Keywords:** Didatic Sequency. Elementary Particules. Physics Teaching. High School. Modern and Contemporary Physics.

# LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Imagem de uma âmpola de Crookes ou tubo de raios catódicos .....	25
Figura 1.2 - Ilustração do experimento de espalhamento de Rutherford .....	26
Figura 1.3 - Ilustração da ocorrência do efeito Compton .....	32
Figura 1.4 - Ilustração do Modelo Padrão das Partículas Elementares.....	35
Figura 1.5 - Alunos (as) produzindo suas próprias paródias .....	64
Figura 1.6 - Atividade diagnóstica incluída na categoria 1.....	68
Figura 1.7 - Atividade diagnóstica incluída na categoria 2.....	69
Figura 1.8 - Atividade diagnóstica incluída na categoria 3.....	70
Figura 1.9 - Atividade de produção de paródias incluída na categoria 1.....	72
Figura 1.10 - Atividade de produção de paródias incluída na categoria 2.....	73
Figura 1.11 - Atividade de produção de paródias incluída na categoria 3.....	74
Figura 1.12 - Atividade de caráter formativo incluída na categoria 1 .....	76
Figura 1.13 - Atividade de caráter formativo incluída na categoria 2 .....	77
Figura 1.14 - Atividade de caráter formativo incluída na categoria 3.....	78
Figura 1.15 - Atividade de caráter somativo incluída na categoria 1 .....	81
Figura 1.16 - Atividade de caráter somativo incluída na categoria 2 .....	83
Figura 1.17 - Atividade de caráter somativo incluída na categoria 3 .....	85

# Lista de Tabelas

TABELA 1.1 – Unidades Didáticas/duração, atividades propostas e objetivos a serem alcançados .....	57
TABELA 1.2 - Dados coletados da atividade diagnóstica .....	67
TABELA 1.3 - Grupos participantes da atividade de produção de paródias .....	71
TABELA 1.4 - Grupos participantes da atividade com questões formativas .....	75
TABELA 1.5 - Alunos (as) participantes da atividade com questões somativas .....	79

# LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**BNCC** – *Base Nacional Comum Curricular*

**EB** – *Educação Básica*

**EM** – *Ensino Médio*

**FMC** – *Física Moderna e Contemporânea*

**LDB** – *Lei de Diretrizes e Bases*

**LHC** – *Large Hadron Collider*

**MNPEF** – *Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física*

**MP** – *Modelo Padrão*

**PCN** – *Parâmetros Curriculares Nacionais*

**PE** – *Partículas Elementares*

**PROFIS-So** – *Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba.*

**SD** – *Sequência Didática*

**TAS** – *Teoria da Aprendizagem Significativa*

**UD** – *Unidade (s) Didática (s)*

**UFSCar** – *Universidade Federal de São Carlos*

\*\*\*\*\*

# SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
<b>CAPITULO 2 - TRABALHOS E ARGUMENTOS RELACIONADOS AO ENSINO DE FMC NO EM</b> .....	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO 3 - CONCEITOS INTRODUTÓRIOS SOBRE A FÍSICA DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES (PE) E TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA (TAS)</b> .....	<b>21</b>
3.1 - TEMÁTICA DE FÍSICA.....	21
3.1.1 - Breve História do Átomo - Parte I .....	21
3.1.2 - Breve História do Átomo - Parte II .....	23
3.1.3 - O Emergir da Física Moderna e Contemporânea .....	27
3.1.4 - Noções sobre Leis de Conservação e Simetria.....	28
3.1.5 - Quarks, Elétrons e Píons - O Modelo Padrão - Parte I.....	31
3.1.6 - Férmions, Bósons e Antipartículas - O Modelo Padrão - Parte II.....	34
3.1.7 - O Modelo Padrão não é Definitivo .....	38
3.2 - TEORIA DA APRENDIZAGEM SELECIONADA .....	39
<b>CAPÍTULO 4 - PRODUÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA E SUA APLICAÇÃO</b> ....	<b>44</b>
4.1 - SEQUÊNCIA DIDÁTICA .....	44
4.2 - ATIVIDADES, CONTEÚDOS E ORGANIZAÇÃO DA SD .....	46
4.2.1 - Primeira Unidade Didática – Dividida em Três Atividades .....	47
4.2.2 - Segunda Unidade Didática – Dividida em Duas Atividades .....	50
4.2.3 - Terceira Unidade Didática – Dividida em Duas Atividades .....	52
4.2.4 - Quarta Unidade Didática – Dividida em Duas Atividades .....	54
4.3 - DESCRIÇÃO GERAL DA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	57
4.4 - LEVANTAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS .....	66
<b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E IMPRESSÕES</b> .....	<b>86</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>88</b>

# Capítulo 1

## INTRODUÇÃO

---

Ao tratarmos de assuntos que envolvam as Partículas Elementares (PE), faz-se necessário antes falarmos sobre o átomo e sua composição básica; será um preâmbulo para o desenvolvimento do tema. Atualmente, nem o significado da palavra átomo – proveniente do grego *atomos*, que significa, de modo geral, indivisível – equivale, em termos científicos, ao que ela realmente representa e, com leis físicas próprias, simplesmente nos fazem existir.

Damos aqui uma ideia de sua dimensão:

O diâmetro de um átomo está para o diâmetro de uma maçã assim como o diâmetro de uma maçã está para o diâmetro da Terra. Portanto, para conceber uma maçã cheia de átomos, pense na Terra com seu interior completamente preenchidos com maçãs. O número de átomos na maçã e de maçãs dentro da Terra são de mesma ordem de grandeza. (HEWITT, 2002, p. 198).

O diâmetro de um átomo é da ordem de  $10^{-10}$  metros<sup>1</sup>. Alinharíamos 10 milhões de átomos para compor 1 milímetro.

Das várias descrições existentes na literatura, as duas selecionadas que se seguem resumem bem qual é a estrutura de um átomo: “o átomo é formado por um núcleo central rodeado por um arranjo complexo de elétrons” (HEWITT, 2002, p. 544) e “um átomo típico possui uma espécie de nuvem de elétrons em seu exterior. [...] A carga é arbitrariamente chamada negativa. [...] Bem dentro do átomo [...], está o núcleo, em geral composto de prótons carregados positivamente e nêutrons, eletricamente neutros” (SAGAN, 1980, p.218).

O átomo possui, então, componentes ainda menores: elétrons que circundam um núcleo central. E dentro desse núcleo, o que temos? Prótons e nêutrons, que são formados por partículas ainda menores, chamadas de quarks e glúons.

---

<sup>1</sup> Esta é a concepção clássica para as dimensões do átomo; sob a perspectiva moderna da mecânica quântica, outras interpretações são necessárias (HALLIDAY et al, 2004).

Chegamos à temática de nossa pesquisa, assim como em seu objetivo principal: elaborar um material para trabalhar junto aos alunos (as) do Ensino Médio (EM) sobre as Partículas Elementares (PE) e suas interações, ou seja, trabalhar sobre os menores constituintes da matéria - até hoje conhecidos - e como interagem entre si.

Como estudar aquilo que te compõe, o próprio Universo observável, e não se deslumbrar com tal ideia? O fascínio pelo tema nos nutriu e foi à gênese deste nosso trabalho acadêmico. Queríamos transformar este estudo em algo físico, real.

Contextualizemos então estas primeiras informações com o nosso mundo habitual e contemporâneo, abordando a comodidade ou urgência que são recorrentes neste exemplo: para que o paciente de um hospital tenha um diagnóstico mais rápido e preciso de sua enfermidade ele precisará de um exame, muitas vezes a obtenção de algum tipo de imagem interna de seu corpo, apropriado e específico para obter este diagnóstico mais exato. E o que possibilitará tal exame? Este será proporcionado por uma máquina - ultrassom, raios X, PET Scan (Tomografia por Emissão de Pósitrons, da sigla em inglês), etc. - concebida por uma enorme quantidade de pessoas vinculadas à ciência e à tecnologia que, em algum momento, desenvolveram em suas carreiras profissionais estritos vínculos com o estudo das PE, seja para projetá-la, construí-la ou operá-la. Também outros dispositivos advindos desse progresso tecnológico proporcionado pela Física Moderna e Contemporânea (FMC) se incorporam significativamente ao nosso cotidiano: passar por uma porta automática no *shopping center* ou acessar o *Google*, o *Youtube* e o *WhatsApp* em seu aparelho celular, são outros exemplos claros do conforto e velocidade nas comunicações proporcionados por este desenvolvimento.

A FMC surge, indiscutivelmente, como protagonista desses acontecimentos; são os conhecimentos sobre o comportamento das PE, no microcosmo da estrutura atômica dos elementos químicos que compõem tais dispositivos, que fornecem subsídios para a humanidade realizar tais feitos em nosso contexto de existência, de ordem macroscópica.

Para justificar a relevância de nosso argumento - e motivação - na proposta de tratar o assunto em questão no EM, usaremos a declaração de um físico estadunidense que é uma importante referência acadêmica de ordem mundial:

Se, em algum cataclismo, todo o conhecimento científico fosse destruído e apenas uma frase fosse transmitida para as próximas gerações de criaturas, que afirmação conteria mais informações em menos palavras? Acredito que seja a *hipótese atômica* [...] de que *todas as coisas se compõem de átomos - pequenas partículas que se deslocam em movimento perpétuo, atraindo umas às outras quando estão a certa distância, mas se repelindo quando comprimidas umas contra as outras.* (FEYNMAM, 2005, p. 35).

Qualquer entusiasta da física de partículas (ou de altas energias) e da mecânica quântica acolhe o depoimento acima com satisfação, pois evoca a importância do estudo e do conhecimento sobre o átomo, em um tema que as PE são as personagens principais.

Dialogando sobre nosso propósito, de que são compostos os átomos? De partículas ainda menores, que interagem entre si, conhecidas como Partículas Elementares (PE); o desenvolvimento desse estudo culminou no hoje chamado Modelo Padrão (MP) das PE, uma compilação de várias teorias.

Compondo o quadro do magistério do Estado de São Paulo como professor, na disciplina de Física, desde 2007 (efetivado mediante concurso público em 2014), observei a oportunidade de transformar esta questão em um estudo, auxiliando no ensino das PE e consequentemente da FMC, visando contemplar especificamente alunos (as) da terceira série do Ensino Médio (EM) da Educação Básica (EB).

Ainda, é determinado o desenvolvimento e apresentação de uma Dissertação de Mestrado ao Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Física (PROFIS-So), da Universidade Federal de São Carlos, *campus* Sorocaba, no Curso do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF); tal Dissertação é requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Refletindo sobre as informações acima, foi decidido elaborar uma Sequência Didática (SD) com a finalidade de trabalhar pedagogicamente o tema, visando assim, aproximar nossos (as) alunos (as) do EM desta realidade, construindo uma ponte entre a ciência básica e aplicada com a vida habitual destes (as) educandos (as).

Ao elaborar essa SD, pretende-se colaborar no ensino de FMC, em particular as PE e suas interações. Procuramos, com este material pedagógico, guarnecer o professor de física do EM na sala de aula, auxiliando-o na execução de seu ofício.

Os objetivos específicos do presente trabalho são três: Elaborar uma SD, dividida em quatro Unidades Didáticas (UD), preenchidas com diversas atividades pedagógicas, entre elas, apresentação de *slides*, debates de opiniões (aulas dialogadas) em grupo, produção de paródias e uma atividade na quadra poliesportiva; efetuar a aplicação da SD em uma Escola da Rede Pública Estadual, na cidade de Sorocaba - SP com três turmas da terceira série do EM e, por fim, coletar dados específicos através de avaliações (formativas e somativa, ao final) para averiguação de indícios de aprendizagem significativa entre os (as) alunos (as).



# Capítulo 2

## TRABALHOS E ARGUMENTOS RELACIONADOS AO ENSINO DE FMC NO EM

---

---

Neste capítulo são discutidos assuntos que permeiam a relevância de se trabalhar conteúdos de FMC - especificamente o tópico das PE e suas interações - no EM.

O mesmo tem a finalidade de justificar a contínua observância ao aprimoramento do currículo da Educação Básica (EB), ensejando para que conteúdos de FMC sejam trabalhados no EM, assim como aspira conclamar professores para o desenvolvimento do ensino das PE.

Procuramos, na literatura, trabalhos que estivessem alinhados com nossa proposta pedagógica em dois pontos principais: que abordassem assuntos pertinentes ao ensino de FMC através de uma SD, e que apresentassem conteúdos que tivessem as PE em um contexto pedagógico.

Há, portanto, uma compilação de artigos publicados em diversos periódicos de ordem educacional - nacionais e internacionais - (DE JESUS e GOMES, 2019; MOREIRA, 2009; OLIVEIRA et al, 2007; OSTERMANN, 1999; OSTERMANN e CAVALCANTI, 2001; OSTERMANN e CAVALCANTI, 2001; OSTERMANN e MOREIRA, 2000; PASSON et al, 2019; PEREIRA e OSTERMANN, 2009; SHABAJEE e POSTLETHWAITE, 2000; SOLBES et al, 2001; TERRAZAN, 1992; TERRAZAN e MENEZES, 1994; VAN DER BERG e HOEKZEMA, 2006), por exemplo, que são referentes ao ensino das PE e foram estudados e utilizados como referencial para esta dissertação.

Também foram analisadas dissertações de mestrado e teses de doutorado com assuntos pertinentes a este produto educacional (D'AGOSTIN, 2008; GOMES, 2017; JERZEWSKI, 2015; MELO, 2011; PINHEIRO, 2011; SIQUEIRA, 2006, 2012).

As publicações foram utilizadas para sustentar nossa argumentação e para reflexões sobre como embasar, elaborar, estruturar e aplicar a SD aqui apresentada.

Os argumentos abaixo apontam para que os conteúdos sobre as PE sejam trabalhados pelos professores da EB, através de justificativas sobre a importância da inserção de tópicos de FMC com profusão no EM.

Esses argumentos estão divididos em 3 linhas principais: necessidade de mais visibilidade para a FMC e PE no currículo do EM, auxílio aos professores de física para ensinarem FMC e o fato de ser um direito do cidadão ter acesso ao conhecimento científico contemporâneo.

A análise de trabalhos acadêmicos indica que o ensino de FMC e das PE carece de mais abrangência no currículo de Física na EB, como sugere Moreira (2011):

Na verdade, não tem sentido que, em pleno século XXI a Física que se ensina nas escolas se restrinja à Física (clássica) que vai apenas até o século XIX. É urgente que o currículo de Física na Educação Básica seja atualizado de modo a incluir tópicos de Física Moderna e Contemporânea, como a Física dos Quarks [...]. (MOREIRA, 2011, p. 92).

Outra declaração também evidencia o problema:

A Física escolar atual é toda ela desenvolvida entre os séculos XVII e XIX. Uma Física de aproximadamente dois séculos atrás, reduzindo-se apenas à Cinemática, Leis de Newton, Termologia, Óptica geométrica, Eletricidade (que na maioria das vezes, se resume à eletrostática, que talvez chegue ao estudo da corrente elétrica) e Circuitos elétricos simples (com resistores ou capacitores). (SIQUEIRA, 2006, p. 3).

Outros autores são mais contundentes, sinalizando que tal defasagem curricular é antiga e recorrente:

Desde as últimas décadas, a deterioração da qualidade do ensino de física nas escolas, sobretudo da rede pública, é uma situação alarmante. Não é difícil constatar [...] a ausência de física moderna e contemporânea nos currículos escolares [...]. (OSTERMANN e CAVALCANTI, 2001, p. 13).

A 1ª edição atualizada do Currículo do Estado de São Paulo: Ciências da Natureza e suas Tecnologias, contempla o ensino das PE e suas interações; no referido documento é recomendado que se trabalhe esses conteúdos - sob o tema **Matéria e radiação** - com a 3ª série do EM, dividindo, no 4º bimestre, lugar com noções sobre eletrônica e informática (SÃO PAULO, 2012, p. 124).

Analisando o documento acima, verifica-se que a visibilidade do tema em sua grade ainda é muito tímida e limitada; necessita-se que seja ofertado mais espaço ao ensino de FMC e de PE, seja qual for o currículo, do Estado de São Paulo ou outro.

Trabalhos acadêmicos apontam que o número de professores de física da EB, que trabalham conteúdos de FMC em suas aulas, ainda é muito módico.

Oferecemos um depoimento oriundo de uma pesquisa referente ao assunto, dirigida à professores da Região Nordeste brasileira, denotando que esse revés engloba praticamente todo o território nacional:

Interpretamos nos discursos de todos os professores que estes atribuem relevância ao ensino da FMC na educação básica. No entanto, a mencionada Física não é contemplada em nenhum dos planejamentos de ensino. Logo, há um descompasso entre as proposições dos pesquisadores que defendem que a FMC seja introduzida na educação básica, [...], e as possibilidades dos professores entrevistados (MONTEIRO et al, 2009, p, 149).

Um dos motivos é a insegurança que os docentes têm por não possuírem conhecimento suficiente sobre o tema FMC, indicando que a abordagem foi, em algum momento de sua formação - na graduação ou na continuidade dela - inapropriada ou ausente (D'AGOSTIN, 2008; SHABAJEE e POSTLETHWAITE, 2000). Este é um problema que não assola apenas o Brasil, mas também países vizinhos, como a Argentina (SOLBES et al, 2001).

Outros autores defendem, além da atualização do currículo, preparar futuros professores do EM com o intuito de que trabalhem conteúdos de FMC com segurança e efetividade:

É importante ressaltar que a atualização do currículo não pode ser desvinculada da preocupação com a formação inicial e continuada de professores. Não basta introduzir novos assuntos que proporcionem análise e estudos de problemas mais atuais se não houver uma preparação adequada dos alunos das licenciaturas para esta mudança e se o profissional em exercício não tiver a oportunidade de se atualizar. Os professores precisam ser os atores principais no processo de mudança curricular, pois serão eles que as implementarão na sua prática pedagógica. [...] Os principais problemas [...] referem-se ao 'como fazer', a fim de que os tópicos de FMC não se tornem apenas mais um "tópico problemático" num currículo que necessita de uma reforma urgente. (OLIVEIRA et al, 2007, p. 449).

Identificamos também, na literatura, a existência de poucas produções acadêmicas com aplicação prática de metodologias de ensino, que auxiliassem o professor do EM na sala de aula para com o estudo das PE - um dos tópicos de FMC -, o que também se tornou

justificativa para o desenvolvimento deste trabalho acadêmico (GOMES, 2017; JERZEWSKI, 2015; MELO, 2011; PINHEIRO, 2011 e SILVEIRA, 2008).

Entre os trabalhos que abordam a aplicação de um produto educacional com esse tópico, elencamos e comentamos algumas. Temos a dissertação de Pinheiro (2011), que produziu uma unidade de aprendizagem sobre PE e interações fundamentais, desenvolvendo, entre outras atividades, a construção de mapas conceituais. Ocorreu, para averiguação dos resultados, uma avaliação investigativa de ordem qualitativa, através da aplicação de questionários.

A abordagem metodológica, em nível de teoria de aprendizagem, é cognitivista e está pautada na teoria da mediação de Vygotsky, complementada pela teoria da aprendizagem significativa de Ausubel. Segundo a própria autora: “O interesse desse tipo de pesquisa é compreender o significado que os sujeitos da investigação (alunos) atribuem a suas ações e ao conhecimento adquirido” (PINHEIRO, 2011, p. 79).

Em outra dissertação analisada, Jerzewski (2015) optou por aplicar uma Sequência Didática Interativa composta de várias Unidades Didáticas, também sob a metodologia cognitivista da teoria da mediação simbólica de Vygotsky, com amparo da TAS de Ausubel.

Sugere inovação nas metodologias utilizadas em sala de aula para despertar a curiosidade dos (as) alunos (as). Entre as atividades abordadas estão a montagem de mapas conceituais tipo árvore, um jogo virtual, apresentação de um vídeo e a confecção de história em quadrinhos com auxílio digital.

Na dissertação de Melo (2011) a proposta é de, segundo a própria autora, investigar o ensino das PE através do uso de seminários. Foi feita uma análise de livros didáticos (das disciplinas de Física e de Química) para verificar o quanto de FMC era abordado em tais obras. A teoria utilizada foi a da Aprendizagem Significativa Crítica, desenvolvida por Moreira (2017). Para as duas turmas trabalhadas (uma o grupo experimental e outra de controle), foram usados um pré e um pós-testes com as turmas para verificação da eficácia do método.

A dissertação de Gomes (2017) destaca o uso de um jogo lúdico dentre várias metodologias para a inserção do assunto sobre o MP das PE, com visitas técnicas (físicas e virtuais) e a utilização de vídeos. Fundamenta-se na importância do conhecimento do MP para compreender as tecnologias atuais (médicas, comunicações, alimentícias, entre outras) e é embasada na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS).

Finalizando as justificativas, é importante que o (a) estudante abarque, ao final de sua formação na EB, algum tipo de conhecimento sobre o quanto o meio científico influencia em

seu cotidiano, colaborando assim no exercício de sua cidadania, para que desfrute de uma vida em sociedade com plenitude intelectual e cívica (KAWAMURA e HOSOUIME, 2003).

Este argumento é pertinente e encontra-se inserido em documentos oficiais, como o Currículo do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2012), a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) para o EM (BRASIL, 2018), a Lei de Diretrizes e Bases (LDB) da Educação Nacional (BRASIL, 1996) e os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) para o Ensino Médio (BRASIL, 1996, 1999, 2002).

É relevante que nossos (as) estudantes reconheçam o papel da ciência e da tecnologia no contínuo aprimoramento de aparelhos e máquinas - vinculados à comunicação e à medicina, por exemplo - que são tão importantes atualmente. Conforme o Currículo do Estado de São Paulo:

O conhecimento científico desenvolvido na escola média deve estar voltado para a formação de um cidadão contemporâneo, atuante e solidário, com os instrumentos para compreender a realidade, intervir nela e dela participar. Hoje, diferentemente do que se vivia em um passado não muito remoto, a produção, os serviços e a vida social em geral são pautados pelo resultado da relação entre ciência e tecnologia. (SÃO PAULO, 2012, p. 96).

Tal fato também tem respaldo na BNCC:

Por fim, e em conformidade com a própria natureza da área no Ensino Médio, a BNCC propõe que os estudantes aprofundem e ampliem suas reflexões a respeito das tecnologias, tanto no que concerne aos seus meios de produção e seu papel na sociedade atual como também em relação às perspectivas futuras de desenvolvimento tecnológico. (BRASIL, 2018, p. 539).

É um direito dele receber informações sobre a ciência básica da qual toda tecnologia moderna provém (mesmo que de forma lateral) e sobre a culminância no desenvolvimento e funcionamento dos aparelhos que acabam proporcionando comodidade e modernidade à sociedade em geral (TERRAZAN, 1992; TERRAZAN e MENEZES, 1994; PEDUZZI et al, 2012).

Diante dos fatos acima relatados, esta dissertação se disponibiliza a auxiliar o professor de física do EM na atenuação desses possíveis obstáculos didáticos, em sala de aula, assim como almeja o desenvolvimento cognitivo do (a) estudante, ao que tange a abordagem de conteúdo sobre as PE (MOREIRA, 2009, 2011; OSTERMANN e CAVALCANTI, 2001; SIQUEIRA, 2006, 2012).

# Capítulo 3

## CONCEITOS INTRODUTÓRIOS SOBRE A FÍSICA DAS PARTÍCULAS ELEMENTARES (PE) E TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA (TAS)

---

São descritas, neste capítulo, as fundamentações teóricas de cunho conceitual adotadas e referentes à elaboração desta dissertação (ABDALLA, 2006; EINSTEIN e INFELD, 2008; EISBERG, 1979; FEYNMAN, 2005; HALLIDAY et. al., 2004; HEWITT, 2002; MOREIRA, 2011; NOVAES e STUDART, 2016; NUSSENZVEIG, 1998; OLIVEIRA, 2010), assim como tratará da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) (AUSUBEL, 2003; AUSUBEL et al, 1978; LEFRANÇOIS, 2017; MOREIRA, 2012, 2017; MOREIRA e MAZINI, 2001), utilizada para embasar a aplicação da Sequência Didática (SD). O capítulo irá discorrer sobre o conteúdo de Física que é pertinente à dissertação e sobre a teoria de aprendizagem selecionada para ampará-la.

### 3.1 TEMÁTICA DE FÍSICA

#### 3.1.1 Breve História do Átomo - Parte I

Tentar compreender de onde surgiu, o que vem a ser e porque assim se comporta a matéria que constitui nosso Universo perceptível sempre aguçou a curiosidade humana. Há tempo filósofos e cientistas almejam desvendar o mistério de nossa existência física; isso traz reflexões, científicas e filosóficas, ainda hoje em dia.

Escolheremos, para delinear este tema, o constructo cultural e científico ocidental. Isto, pelo fato de que existiam outras civilizações (orientais, a exemplo) que, em algum momento, também desenvolveram outras formas de entendimento sobre a concepção do que seria a matéria em si. Decidimos nos conter no assumido acima.

Na Grécia antiga, no século VI AEC<sup>2</sup>, surgiram os filósofos, termo grego que significa: quem ama a sabedoria; parte deles ambicionava explicar a existência da matéria. Tales de Mileto (624-546 AEC), o pioneiro desse pensamento, considerava que a *água* deveria ser vista como elemento primordial, pois tudo é água (CARUSO e OGURI, 1997). Já Anaxímenes de Mileto (570-500 AEC) interpretava que o *ar* seria esse elemento fundamental, pois uma vez comprimido obtinha-se água; Xenófanes da Jônia (570-460 AEC) tinha como primeiro elemento a *terra* e Heráclito de Éfeso (540-480 AEC) defendia o *fogo* como elemento primitivo (ABDALLA, 2006).

Acreditavam, então, na teoria dos quatro elementos de Empédocles de Agrigento (495-430 AEC): água, ar, terra e fogo eram os constituintes, os elementos fundamentais da natureza, acompanhados de dois poderes: amor e ódio, que atuariam como forças que poderiam formar ou separar elementos. Eram também conhecidos como monistas.

No século V AEC, outra ideia foi concebida e proposta por Leucipo e desenvolvida por seu aprendiz, Demócrito (460-370 AEC): a *teoria atomista*. Seria fácil conceituar a palavra átomo: “a” - partícula de negação, “tomos” - parte, o que não pode ser partido, indivisível. Compreendia-se na última porção de matéria (uma pedra que fosse quebrada até o seu menor pedaço, por exemplo) que receberia essa denominação por “não podermos” mais separá-la, dividi-la. Na concepção de Demócrito:

Por convenção doce é doce, por convenção amargo é amargo, por convenção quente é quente, por convenção frio é frio, por convenção cor é cor. Mas na realidade o que há são átomos e o vazio. Isto é, os objetos dos sentidos supõem-se reais, sendo costume considerá-los como tal, mas na verdade eles não o são. Apenas os átomos e o vazio são reais. (DEMÓCRITO, apud EINSTEIN e INFELD, 2008, p. 53).

Todos estes pensadores dispunham somente do exercício mental como alicerce para suas teorias. No século IV AEC, prevaleceu a ideia, defendida também por Aristóteles de Estagira (385-323 AEC), de que a matéria apresentaria uma estrutura contínua através da

---

<sup>2</sup> AEC (Antes da Era Comum), ao invés de a.C. (antes de Cristo). O ano zero continua o mesmo. O propósito é dar uma conotação mais científica ao período que mede o tempo, desvinculando-o da relação com o religioso.

combinação dos quatro elementos - terra, ar, fogo e água (ABDALLA, 2006; HEWITT, 2002).

Passaram-se consideráveis mais de vinte séculos sem registro aparente sobre o assunto “átomo/matéria”. Os cientistas - entre eles o famoso filósofo, físico e matemático francês René Descartes (1596-1650), por exemplo - negavam a existência do átomo. O principal argumento era a ausência de uma prova concreta que comprovasse tal existência (PEREZ et al, 2018). Tal ideia, àquela época, ainda estava longe de ser desenvolvida, muito menos comprovada.

### 3.1.2 Breve História do Átomo - Parte II

Em 1808, o químico e professor inglês John Dalton (1766-1844), publicou um livro no qual retomava a ideia do átomo, este novamente em voga como indivisível, na forma de uma esfera rígida. Era o modelo, depois chamado por outros, “bola de bilhar”.

Não havia, até então, nenhuma comprovação da existência do átomo proposto por Dalton; mas, em 1827, o botânico escocês Robert Brown (1773-1858) notou que os grãos de pólen que observara em seu microscópio moviam-se erratically quando em suspensão na água. Ele não percebeu que naquele momento havia comprovado, ao menos indiretamente, a existência dos átomos; os mesmos eram invisíveis - por serem muito pequenos - ao microscópio de Brown, mas ao colidirem com os grãos de polén - estes visíveis em seu aparelho - seriam o motivo dos desvios e movimentos desses corpúsculos (HEWITT, 2002).

Foi um feito de tanta grandeza que contou, posteriormente, com a colaboração do célebre físico alemão Albert Einstein (1879-1955), que publicou em 1905 um artigo onde explicaria este movimento aleatório de partículas em suspensão, assumindo a existência dos átomos e inaugurando novos tópicos de estudo, como a mecânica estatística. Em homenagem a Brown, hoje o estudo nesta área é chamado de *movimento Browniano* (PEREZ et al, 2018).

No decorrer do século XIX, houve um grande avanço nas ciências da Física e da Química, que aproximaria os cientistas de um melhor entendimento sobre alguns fenômenos físicos pertinentes ao nosso estudo, como a compreensão da existência das cargas elétricas, por exemplo.

O fenômeno da indução magnética - ideia precursora dos motores e geradores elétricos -, evidenciado experimentalmente pelo físico britânico Michael Faraday (1791-1867) e as representações matemáticas das emissões eletromagnéticas (teoria moderna do



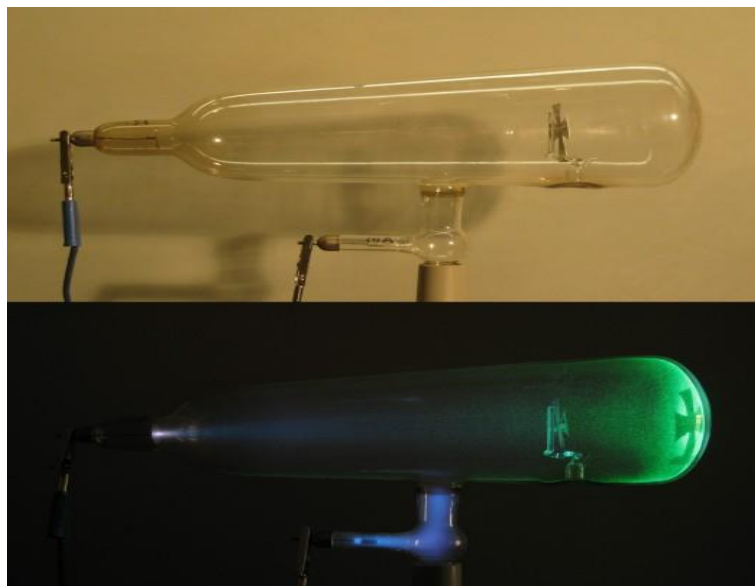
eletromagnetismo/equações de Maxwell) desenvolvidas por outro físico britânico, James Clerk Maxwell (1831-1879), são dois exemplos no campo da Física (OLIVEIRA, 2010).

O campo da Química deu sua contribuição: temos o desenvolvimento do número de Avogadro, que representa o número de partículas ou moléculas que se encontram em um mol de qualquer substância. Mol é uma unidade de medida e a utilizamos para expressar uma quantidade de matéria, como massa, volume ou número de átomos e moléculas de uma matéria microscópica. Um mol de átomos de um elemento químico qualquer, por exemplo, equivale a  $6,02 \times 10^{23}$  de átomos desse elemento químico (BARANSKI, 2012). O nome Avogadro é uma homenagem ao químico italiano Lorenzo Romano Amedeo Carlo Avogadro (1776-1856), o pioneiro da ideia de uma distinção entre átomos e moléculas.

Em 1897, o físico inglês Joseph John Thomson (1856-1940) descobriu a existência do elétron. Esta veio por meio de experiências que ele executava com o *tubo de raios catódicos* ou *âmpola de Crookes*, desenvolvido em 1870, pelo cientista inglês William Crookes (1832-1919). O ensaio consistia em um tubo de vidro lacrado, contendo em seu interior um gás de baixa densidade, com eletrodos situados em suas extremidades, pelo qual se passava uma corrente elétrica. O eletrodo do qual a corrente elétrica parte é o cátodo e o eletrodo em que chega é o ânodo. Por ser uma descarga de elétrons que seguia do cátodo para o ânodo, foi então chamado de raios catódicos.

Aplicando-se um campo magnético e um campo elétrico, que transpassem o tubo de vidro lacrado, observa-se uma deflexão dos raios catódicos. J. J. Thomson usou dos resultados obtidos para descobrir o elétron.

Segue a imagem de um tubo de raios catódicos:



**Figura 1.1** - Imagem de uma âmpola de Crookes ou tubo de raios catódicos, desativada (acima) e em funcionamento (abaixo). Fonte: site InfoEscola. Disponível em <https://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2011/03/ampola-de-crookes.jpg>. Acesso em 06/11/2020.

Partindo de sua descoberta, apresentou então em 1904 sua própria concepção do átomo (em relação à Dalton), baseado em um modelo onde os elétrons por ele desvelados - polo negativo - estariam inseridos e distribuídos uniformemente em uma região delimitada, que seria o polo positivo. Posteriormente o modelo foi comparado a um pudim de ameixas, com as ameixas representando os elétrons, com carga negativa, e o pudim sendo o restante do átomo, positivo (RAMOS e MOZZER, 2018).

Ernest Rutherford (1871-1937), proeminente físico neozelandês, publicou um artigo em 1911 que propôs - através do experimento de espalhamento<sup>3</sup> - que o átomo seria nucleado, sendo este núcleo massivo, maciço e sendo a parte positiva.

Teria um volume extremamente pequeno em relação ao restante do átomo, os elétrons que circundariam esse núcleo, e que seria a parte negativa (CREASE, 2006).

---

<sup>3</sup> O experimento de espalhamento de Rutherford consistia no bombardeamento de partículas alfa em direção à uma fina camada de ouro, com aproximadamente mil átomos de espessura (vide nota de rodapé 1). Após passarem pela lâmina de ouro, chocavam-se a um anteparo composto de Sulfeto de Zinco (ZnS). A maioria das partículas alfa passavam direto pela lâmina de ouro, algumas sofriam desvio e poucas retrocediam. Isso levou Rutherford a concluir que os átomos que compunham a lâmina de ouro possuíam um núcleo muito pequeno e massivo, que - através da observação no anteparo - desviava e retrocedia um pequeno número de partículas alfa.

As partículas alfa, também chamadas de emissões alfa, desintegrações alfa ou decaimento alfa, são radiações (emissões de ondas eletromagnéticas) espontâneas que ocorrem devido ao decaimento radioativo de alguns elementos químicos (Urânio e Rádio, por exemplo) e possuem carga elétrica positiva. Tais partículas são responsáveis pelas interações referentes à força fraca. Hoje existe um estudo unificando a teoria eletromagnética e a teoria que estuda as interações da força fraca: ela é conhecida como teoria da interação eletrofraca.

Segue figura ilustrativa do experimento de Rutherford:



**Figura 1.2** - Ilustração do experimento de espalhamento de Rutherford. Fonte: site PreParaEnem. Disponível em <https://www.preparaenem.com/upload/conteudo/images/particulas-alfa-na-lamina-de-ouro.jpg>. Acesso em 03/09/2020.

Seria então o *modelo planetário*, em analogia ao sistema astronômico heliocêntrico, onde planetas orbitam uma estrela.

Cabe aqui observar o *modelo saturniano*, proposto pelo físico japonês Hantaro Nagaoka (1865-1950) em 1905, que era uma ideia similar ao modelo do físico neozelandês.

Rutherford publicaria, em 1919, a descoberta do próton, integrante do recente revelado núcleo atômico (ABDALLA, 2006).

O físico dinamarquês Niels Bohr (1885-1962) complementou, junto de outros cientistas, o modelo atômico de Rutherford; com a organização bem definida da energia das órbitas dos elétrons e, havendo emissão e absorção de fótons (será explicitado adiante), alteraria a posição (dos elétrons) dentro dessas órbitas.

Embora o modelo de Rutherford/Bohr postule elementos da Mecânica Quântica ao propor a quantização da energia do elétron em órbita definida, atualmente é aceito um modelo quântico, mais moderno e complexo, baseado na Mecânica Ondulatória (NUSSENZVEIG, 1998).

Chamado de modelo de Schrödinger para o átomo - nome de seu autor, o físico austríaco Erwin Rudolf Alexander Schrödinger (1887-1961) -, é baseado na observação do comportamento dual (onda/partícula) do elétron.

Adota o Princípio da Incerteza do físico alemão Werner Karl Heisenberg (1901-1976), além do Princípio de Exclusão de Pauli - Wolfgang Ernest Pauli (1900-1958), físico austríaco - princípios que explicitaremos adiante (NOVAES e STUDART, 2016).

O modelo fundamenta-se, então, na resolução da equação de Schrödinger para a definição dos quatro números quânticos: principal  $n$  (relacionado ao nível de energia ou a camada dos elétrons e é o único que guarda relação com o modelo de Bohr); secundário  $l$  (define o subnível de energia do elétron); magnético  $m_l$  (define a quantidade de orbitais em cada subnível) e spin  $m_s$  (relacionado à rotação do elétron) (EISBERG, 1979; NOVAES e STUDART, 2016; NUSSENZVEIG, 1998).

Foram pontos de partida para a tentativa de uma compreensão humana moderna sobre o comportamento e os propósitos da matéria. Tanto que, depois dos acontecimentos que ocorreram, nasceu um novo ramo da Física, inaugurando o que seria o princípio do desenvolvimento, em maior parte, da tecnologia presente em nosso cotidiano: a Física Moderna, posteriormente Física Moderna e Contemporânea (FMC).

### **3.1.3 O Emergir da Física Moderna e Contemporânea**

O início do século XX foi um período profícuo para a da Física. As ideias que surgiram nesse período abalariam o paradigma científico estabelecido até então.

Os cientistas, no final do século XIX, pensavam que a Física já havia sido explanada por completo e que apenas alguns detalhes lhes faltavam para explicar em definitivo o comportamento natural do Universo. Estes detalhes se transformariam em uma nova maneira de interpretar a Física, e se desmembrariam em um enorme avanço científico.

O começo foi em 1900. Nesse ano, o professor de física alemão Max Karl Ernest Ludwig Planck (1858-1947) propõe uma fórmula que - posteriormente - embasaria o estudo da física quântica, com um conceito revolucionário sobre a interpretação das emissões de radiação eletromagnética em um corpo negro, um dos grandes problemas não respondidos pela ciência até então.

A ideia hipotética de um corpo negro era que, em uma caixa fechada e oca, um feixe de radiação incidente possibilitaria sua reflexão nas paredes internas dessa caixa, absorvendo-a; o experimento resultaria em gráficos formados pela energia dessa radiação, que não eram

explicados quando as observações eram feitas com radiações com comprimentos de ondas menores, onde a intensidade da radiação tendia ao infinito.

A física clássica não possuía informações suficientes para obter uma função matemática que originassem tais gráficos. Planck descobriu uma constante, que leva seu nome ( $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  J.s), partindo da ideia de que a energia seria quantizada e relacionando-a com a frequência da radiação, originando a fórmula  $E = h \cdot f$ . Por suas contribuições à física quântica, Planck foi contemplado com o prêmio Nobel de Física de 1918.

Em 1905, Albert Einstein publicou cinco artigos científicos, requisitos para defender sua tese de doutorado. Foram dois artigos sobre a relatividade especial (ou restrita), dois sobre o movimento browniano e o trabalho científico sobre o efeito Fotoelétrico (ARRUDA e VILLANI, 1996), todos demonstrando estreitos laços com o futuro estudo das PE; o último artigo lhe agraciaria com o prêmio Nobel de Física de 1921, entregue em 1922.

Neste artigo, Einstein proporia que a luz se apresentaria na forma de pequenos “pacotes” de energia. Esta ideia seria embrionária para a concepção dos futuros fótons.

Os fenômenos secretos do microcosmo estavam sendo revelados. E o átomo estava ganhando mais partículas constituintes, conforme os cientistas refinavam seus instrumentos de observação e também seus entendimentos sobre o tema.

### **3.1.4 Noções sobre Leis de Conservação e Simetria**

Aqui serão abordadas noções sobre as Leis (ou princípios) de conservação e sobre simetria, conceitos fundamentais para o estudo das ciências da Física e da Química. Essas Leis, apesar de estarem enquadradas na Física Clássica (A Física desenvolvida até o final do século XIX), também nos auxiliam na Física Moderna e Contemporânea, para um melhor entendimento sobre o comportamento quântico das PE, por exemplo. Comentaremos com brevidade algumas delas: a Lei de conservação da carga elétrica, a Lei de conservação da massa, Lei de conservação da energia mecânica e as Leis de conservação do momento linear e angular.

A Lei de conservação da carga elétrica abrange todos os processos pelos quais um corpo pode ganhar ou perder partículas com carga elétrica: no final do processo, a carga elétrica total de um sistema isolado deve ser constante. Vários processos são descritos na Física, em que são criadas ou destruídas partículas com carga elétrica. Isto está de acordo com a Lei de conservação da carga elétrica, considerando que a carga total de partículas criadas ou destruídas seja constante.

A Lei de conservação da massa foi proposta, em 1773, pelo químico francês Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794). Esta já tinha sido feita, aproximados 13 anos antes, pelo químico russo Mikhail Vasilyevich Lomonosov (1711-1775), mas seu trabalho não teve impacto na Europa, onde não foi publicado, prevalecendo o trabalho do químico francês (SANTOS, 2015). Lavoisier descobriu, através de sucessivos experimentos, que a matéria poderia mudar a sua forma, mas sua massa continuaria a mesma. Eis o enunciado da Lei de conservação da massa, de Lavoisier: “Num recipiente fechado, a soma das massas dos reagentes é igual à soma das massas dos produtos”.

Outra grandeza física que segue as Lei de conservação é a energia. O exemplo mais usual é a da Lei de conservação da energia mecânica. Energia é uma grandeza física escalar, que tem definições variadas, com ampla grade de interpretações, tornando-se assim algo difícil de se definir, conforme observação que segue:

A combinação de energia com matéria forma o universo: matéria é substância, energia é o que move a substância. A ideia de matéria é fácil de compreender. A matéria é o conteúdo do que podemos ver, cheirar e tocar. Ela possui massa e ocupa lugar no espaço. A energia, por outro lado, é abstrata. Não podemos ver, cheirar ou tocar a maioria das formas de energia. [...] Embora energia nos seja familiar, é difícil defini-la, pois ela não é apenas uma “coisa”, mas uma coisa e um processo juntos – como se fosse um substantivo e um verbo. Pessoas, lugares e coisas possuem energia, mas geralmente observamos a energia apenas quando ela está sendo transferida ou transformada. (HEWITT, 2002, p.114).

Quando dois objetos se chocam, estudamos o momento linear (produto da massa com a velocidade). Um jogo de bilhar explicita bem a Lei de conservação do momento linear.

Já para discutir a Lei de conservação do momento angular, proveremos de uma citação:

No século XVII, o físico Johannes Kepler descobriu que as órbitas dos planetas em torno do Sol são elipses e que ele se posiciona em um dos focos. À medida que um planeta se aproxima do Sol, sua velocidade aumenta, ao passo que, quando se afasta, sua velocidade diminui. Esse fenômeno acontece por causa da conservação do momento angular, que é proporcional à sua velocidade e à distância do Sol. Assim, quando uma grandeza aumenta (distância), a outra diminui (velocidade), de modo que o momento angular permanece constante. (ABDALLA, 2006, p.80).

Outras leis, menos intuitivas, foram introduzidas na década de 1920 e corroboram com o conceito de conservação do momento angular; na mecânica quântica, os estados de uma partícula são caracterizados pela sua energia e seu momento angular intrínseco, chamado de

*spin*. Portanto, quando há interação entre duas partículas, no mundo quântico, o *spin* se conserva.

A ideia de simetria<sup>4</sup> também é considerada um conceito fundamental na Física. Se em um sistema físico, os parâmetros das transformações que ocorrerem são invariantes<sup>5</sup> em sua forma, tal sistema possui simetria. De acordo com Martins (1999):

O termo simetria em Física refere-se a um conjunto de transformações definidas num grupo que levam uma expressão ser invariante na sua forma: dizemos então que o sistema é invariante sob aquela transformação ou que ele apresenta uma simetria no parâmetro da transformação (MARTINS, 1999, p. 33)

Levando em consideração as leis de conservação da física nas transformações de fenômenos físicos, o seu estudo permeia também a física de partículas:

Simetria é importante em Física porque há toda uma gama de transformações que levam a leis de invariância física. Por isso, o trabalho dos físicos teóricos consiste, em boa parte, na busca e compreensão de simetrias e suas leis de conservação associadas. As associações entre leis de conservação e simetrias são comprovadas [...]. (SILVEIRA, 2008, p.56).

As operações são formalismos matemáticos utilizados para verificarmos uma vasta classe de transformações, entre elas a da mesma imagem periodicamente, por exemplo. As operações podem ser: de reflexão, de rotação, de translação espacial ou temporal e, na mecânica quântica, de paridade; este é um conceito sobre a simetria de funções (VAN DER BERG e HOEKZEMA, 2006).

Outro exemplo de operação, sujeita às leis de invariância: na conservação de energia mecânica de um objeto, que está relacionada à sua simetria de translação temporal.

Conforme Silveira (2008): “Para cada campo de estudo temos diferentes conceitos, então cada campo terá uma ou mais operações para verificar a invariância física e estes operadores terão as características correspondentes aos conceitos envolvidos do sistema” (SILVEIRA, 2008, p. 192).

Curiosamente, tais conceitos (Leis de conservação e simetria) são pouco trabalhados em escolas da EB, sendo motivo de convocação, por parte de autores, para a disseminação de sua prática: “[...] fica aqui o recado aos professores de Física e autores de livros didáticos: no

---

<sup>4</sup> Simetria é uma associação de paridade (igualdade) em respeito à altura, largura e comprimento das partes necessárias para constituir um todo.

<sup>5</sup> Invariante é, na matemática e na física, algo que não se modifica ao utilizar-se um conjunto de transformações, sendo a imagem transformada da entidade indistinguível da entidade original.

ensino da Física é preciso dar mais atenção a conceitos estruturantes como simetria, [...], leis de conservação e outros [...]. Conceitos como estes implicam pensar, ao invés de decorar fórmulas.” (MOREIRA, 2019, p. 6).

Essas duas ideias, sobre as Leis de conservação e a de simetria, são conceitos-chave na área da Física e estão estreitamente conectadas. Tal fato é confirmado pelo teorema de Noether<sup>6</sup>, que relaciona matematicamente as simetrias com as Leis de conservação da Física (MARTINS, 1999). Na Física de Partículas, existe um conjunto de simetrias principais: a simetria C (referente à reversão da carga elétrica), a simetria P (relacionada à conservação de paridade<sup>7</sup>) e a simetria T (referente à reversão do tempo), configurando então a simetria CPT.

Conforme Moreira (2011): “No Modelo Padrão da Física de Partículas, a simetria CPT é uma propriedade fundamental do Universo. Violações significativas dessa simetria indicariam problemas conceituais no Modelo Padrão e sugeririam a necessidade de teorias que fossem além dele.” (MOREIRA, 2011, p. 55-56).

### 3.1.5 Quarks, Elétrons e Píons - O Modelo Padrão - Parte I

A abordagem de Einstein no artigo sobre o efeito Fotoelétrico foi utilizada, em 1923, pelo físico estadunidense Arthur Holly Compton (1892-1962) para desvelar o fóton. Na experiência que ficou conhecida como efeito Compton, um fóton atinge um elétron em repouso e coloca-o em movimento; em contrapartida, depois da colisão, observa-se um aumento no comprimento de onda do fóton que atingiu o elétron, indicando que o mesmo perdeu energia, comprovando sua existência. Compton foi laureado com o prêmio Nobel de Física de 1927 por sua descoberta (ABDALLA, 2006).

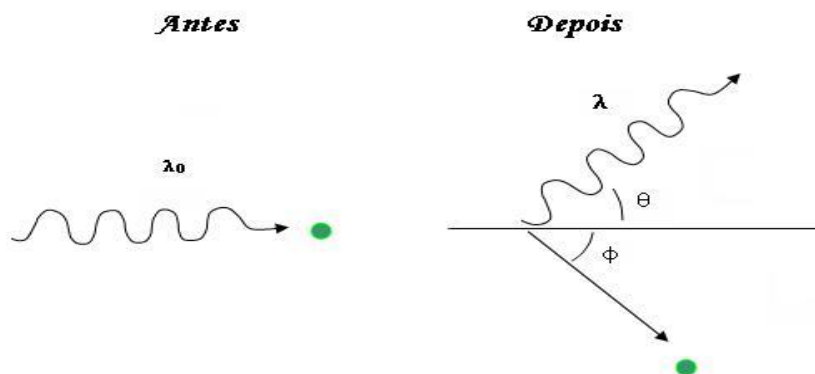
---

<sup>6</sup> Amalie Emmy Noether (1882-1935), notável matemática alemã, demonstrou matematicamente o teorema que leva seu nome, determinando que para cada simetria de uma lei física, existe uma correspondente Lei de conservação (MARTINS, 1999; MOREIRA, 2019).

<sup>7</sup> Um exemplo de paridade: o reflexo de uma imagem em um espelho não apresenta quebra de simetria com sua imagem real, pois não há diferença inerente entre direita e esquerda.



Segue uma ilustração simplificada da ocorrência do efeito Compton:



**Figura 1.3** – Ilustração da ocorrência do efeito Compton. Um fóton  $\lambda_0$  incide em um elétron  $e^-$  (em verde), inicialmente em repouso (antes). Após a colisão, fóton e elétron se espalham sob os ângulos  $\theta$  e  $\phi$ , respectivamente (depois). Fonte: site Wikipedia. Disponível em <https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Compton.JPG>. Acesso em 01/10/2020.

Depois da descoberta dos prótons por Rutherford, em 1919, e da comprovação dos fótons em 1923, foi vez dos nêutrons serem revelados, em 1932, pelo físico inglês James Chadwick (1891-1974).

Em 1933, o físico japonês Hideki Yukawa (1907-1981) sugeriu que o núcleo atômico necessitaria de uma partícula mediadora para manter os prótons unidos, já que tinham mesma carga elétrica e, portanto, deveriam se repelir. Tal conceito exigiria mais partículas que constituíssem o núcleo do átomo.

Em 1947, observações - experimentos que contaram com a participação do físico brasileiro Cesare Mansueto Giulio Lattes (1924-2005), entre outros cientistas - em altos pontos da atmosfera terrestre detectaram o pión, uma partícula originária da radiação cósmica que surge do choque e das interações dos prótons provenientes dos raios cósmicos com emulsões nucleares, preparadas e instaladas por Lattes na cordilheira dos Andes, local de altitude elevada, o que favoreceu a coleta dos dados (ABDALLA, 2006; VIEIRA e VIDEIRA, 2011).

Quanto mais os cientistas se aprofundavam nas observações dos raios cósmicos e dos aceleradores/colisores de partículas - cujo precursor foi o tubo de raios catódicos -, obtinham resultados cada vez mais contundentes da existência de novos constituintes elementares, o que os forçava a uma nova reformulação/acomodação das teorias pressupostas.

Essas experiências os levaram a desconfiar de que os prótons e nêutrons não seriam as partículas mais elementares do núcleo atômico, como estudado até então. Estavam se

aproximando do conceito do que seriam os quarks e glúons, estes sim fundamentais e constituintes básicos de prótons e nêutrons.

No ano de 1953, o físico estadunidense Murray Gell-Mann (1929-2019) sugeriu um novo número quântico para as interações fortes, a estranheza (ABDALLA, 2006).

Esta ideia surgiu para explicar o estranho comportamento de algumas partículas provenientes dos raios cósmicos nos experimentos que utilizavam câmaras de nuvens. Era a premissa embrionária para o quark estranho, o qual seria enquadrado como uma partícula elementar, aproximados 10 anos depois.

Em 1964, novamente Gell-Mann, concomitante com o físico russo George Zweig (1937-), publicou um trabalho que estabeleceria a proposta dos quarks e glúons.

Para cunhar o termo “quark”, o cientista americano inspirou-se no livro *Finnegan’s Wake*, do escritor irlandês James Joyce (1882-1941). A obra toda é composta de neologismos; um deles foi escolhido por Gell-Mann para dar nome às novas partículas que estava propondo (GUIMARÃES et al, 2014).

Dessas novas partículas, os “quarks” *up* e *down*, da geração I (ou 1ª geração), seriam os formadores de bárions (prótons e nêutrons) e mésons (píons e káons), constituindo a categoria dos Hádrons (EISBERG, 1979).

Para não violar o Princípio de Exclusão de Pauli, que não permite a presença de duas partículas de spin fracionado (férmions) no mesmo estado quântico, um novo número quântico foi proposto, a cor; não essa nossa percepção usual de cor da óptica, mas sim entendida como mais uma propriedade quântica, ligada à força forte (NOVAES e STUDART, 2016; NUSSENZVEIG, 1998).

Sobre o spin e o Princípio de Exclusão de Pauli, de acordo com Oliveira (2010):

Trata-se de uma espécie de versão sofisticada da ideia de que *dois corpos não podem ocupar o mesmo lugar no espaço ao mesmo tempo*. [...] a informação sobre o movimento de uma partícula está contida na função de onda  $\Psi(x)$ . Por outro lado, [...] partículas, além de carga e massa, possuem também spin. (OLIVEIRA, 2010, p. 102).

A função de onda  $\Psi(x)$  é uma representação matemática dos autoestados quânticos a qual podemos determinar a posição espacial de um ou mais elétrons em uma observação.

De acordo com Silveira (2008):

Devido ao Princípio de Exclusão de Pauli aplicado a dois elétrons, supondo que estejam num mesmo estado, chega-se à conclusão que a função de onda

que representa os dois elétrons é uma função anti-simétrica, pois a função de onda simétrica é igual a zero para elétrons no mesmo estado, estando de acordo com o Princípio de Exclusão que impossibilita que dois elétrons ocupem o mesmo espaço. (SILVEIRA, 2008, p. 29).

Com todas essas novas informações, era evidente a necessidade de se organizar o universo das PE: assim como fez o químico russo Dmitri Ivanovic Mendeleev (1834-1907) em 1872, quando estabeleceu - pela primeira vez - a tabela periódica dos elementos químicos, também esse novo montante de partículas precisava ser sistematizado harmoniosamente (ABDALLA, 2006).

O Modelo Padrão (MP) das Partículas Elementares (PE), no começo dos anos 1970, se apresentava como um compêndio sobre o estudo da Física de Partículas, proveniente do esforço de um número substancial de cientistas, de todas as nacionalidades, junto de suas teorias.

### 3.1.6 Férmions, Bósons e Antipartículas - O Modelo Padrão - Parte II

As PE são constatadas de duas maneiras principais: nas observações de partículas provenientes da radiação cósmica que se chocam com detectores específicos, ou com o auxílio dos aceleradores/colisores de partículas, como o LHC (Large Hadron Collider), por exemplo.

O MP identifica, organiza as PE e especifica suas interações. O modelo identifica dois tipos principais de partículas fundamentais: férmions e bósons. O que diferencia esses dois tipos é o número (ou propriedade) quântico ( $s$ ), chamado ( $s$ ) de spin (OLIVEIRA, 2010).

Os férmions obedecem ao Princípio de Exclusão de Pauli, descrito na subseção acima, e possuem spin fracionado ( $S = 1/2, 3/2, 5/2, \dots$ ), ou semi-inteiro. Os bósons não obedecem ao Princípio de Exclusão de Pauli, por possuírem spin inteiro (0, 1, 2).

De forma geral, os férmions - uma homenagem ao físico italiano Enrico Fermi (1901-1954) - são partículas constituintes da matéria (quarks, que formam prótons e nêutrons e léptons, como o elétron).

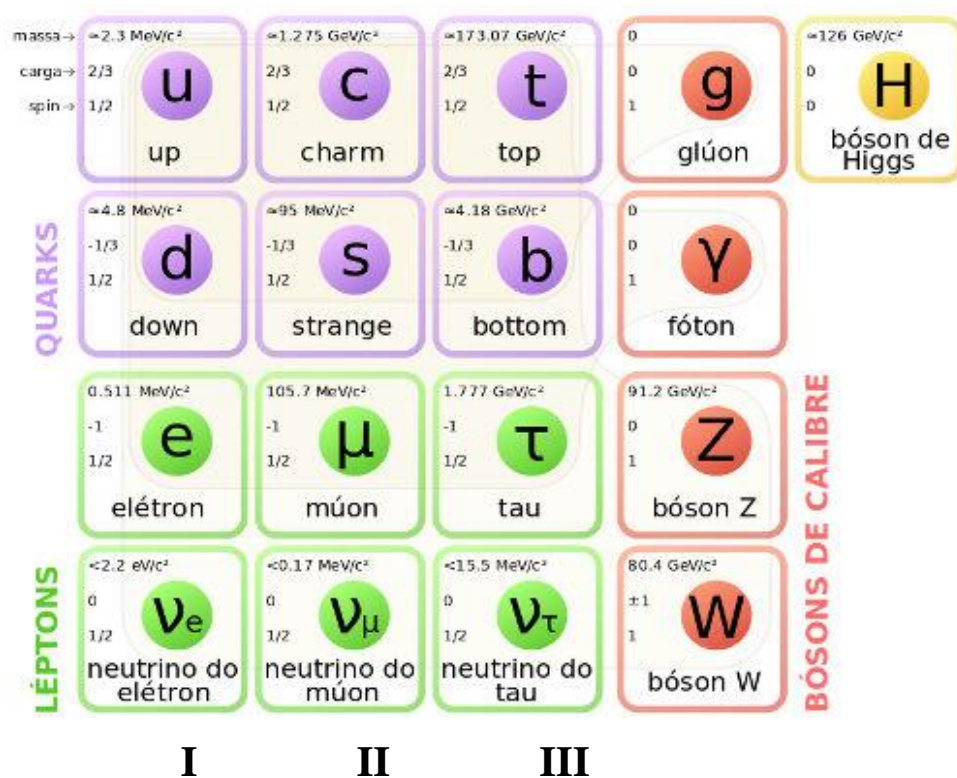
Os bósons - uma homenagem ao físico indiano Satyendra Nath Bose (1894-1974) - são as partículas mediadoras das interações que ocorrem entre as PE.

Além da propriedade quântica do spin, existem outras propriedades quânticas: a carga elétrica, que pode ser positiva ou negativa; a massa, que é medida em elétron-Volt (eV), uma unidade de energia<sup>8</sup> e a propriedade quântica da cor (NOVAES e STUDART, 2016).

Ao colocarmos as PE lado a lado, elas se dividem em três categorias: quarks, léptons (da palavra grega *leptos*: que significa leve) e bósons. Como se segue na figura 1: à esquerda, em roxo e verde, encontram-se quarks e léptons, que estão subdivididos em três gerações (I, II e III) e à direita, em vermelho, situa-se a classe dos bósons.

Os quarks são seis e possuem os seguintes sabores (conjunto de números quânticos - ou simetria - que caracteriza quarks e léptons): *up* (*u*), *down* (*d*), *charm* (*c*), *strange* (*s*), *top* (*t*) e *bottom* (*b*). Os léptons também são em número de seis sabores: o conhecido elétron (*e*), o múon ( $\mu$ ), o tau ( $\tau$ ) e seus respectivos neutrinos ( $\nu_e$ ,  $\nu_\mu$  e  $\nu_\tau$ ).

Segue figura ilustrativa sobre a acomodação das PE, conhecida como o MP das PE, para melhor visualizá-las:



**Figura 1.4** - Modelo Padrão das Partículas Elementares. Fonte: site Mundo Educação. Disponível em <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/modelo-padrao-fisica-particulas.htm>. Acesso em 01/10/2020.

<sup>8</sup> De acordo com a fórmula  $E = m.c^2$ , proposta por Einstein em seu artigo sobre a relatividade especial (ou restrita), de 1905, é estabelecida uma equivalência entre massa e energia. A letra *c* é o valor da velocidade da luz, aproximadamente  $c = 3,0 \times 10^8$  m/s (ARRUDA e VILLANI, 1996).

As partículas da geração I compreendem-se no quark *up* (*u*), quark *down* (*d*), no elétron (*e*) e no neutrino do elétron ( $\nu_e$ ). São as partículas que de fato formam a matéria como a percebemos.

O próton é constituído de dois quarks *up* (*u*) (um quark *up* possui carga elétrica  $+2/3e$ ) e um quark *down* (*d*), de carga  $-1/3e$ . A representação do próton será então, *uud*. A letra *e* refere-se à carga elétrica elementar ( $e = 1,602 \times 10^{-19}$  C). Somadas, as cargas fracionadas dos quarks equivalem a  $1e$ . Pelo fato de prótons e elétrons possuírem a propriedade quântica da carga elétrica, são comumente chamados de portadores de carga.

No caso do nêutron, a soma das cargas fracionadas dos quarks será zero, pois o mesmo é constituído de dois quarks *down* [ $-1/3e + (-1/3e)$ ] e um quark *up* ( $+ 2/3e$ ), sendo então representada sob a configuração *ddu*.

Todos os quarks e léptons possuem uma antipartícula, que nada mais é do que a própria partícula, com mesma massa e spin, mas com sua carga elétrica tendo o sinal oposto. A partícula que tiver carga elétrica positiva terá sua antipartícula com carga negativa e vice-versa.

Conforme Moreira:

[...], parecia que a matéria era constituída de prótons, nêutrons e elétrons, e a interação eletromagnética explicava porque os elétrons (negativos) ficavam ligados aos núcleos (positivos) nos átomos. Mas isso não durou muito porque para explicar a estabilidade do núcleo foi preciso postular uma nova interação fundamental, a interação forte, e para uma descrição do elétron que satisfizesse à teoria quântica e à teoria da relatividade foi necessário prever a existência de antipartículas (MOREIRA, 2009, p. 1306-6).

Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1184), físico britânico, observando a relação que Einstein estabeleceu sobre matéria e energia em sua teoria da relatividade restrita, propôs, em 1928, que para ocorrer a correta relação entre massa e energia deveria ser extraída sua raiz quadrada, considerando, então, os dois sinais possíveis para a energia. O sinal negativo da expressão seriam as antipartículas. A partir de suas ideias, ocorreu a descoberta da primeira antipartícula em 1933, o pósitron, comprovando assim sua teoria.

Existe também a propriedade do *confinamento de cor*: quarks e glúons - com esclarecimento logo abaixo - não são detectados isolados na natureza; podem existir se, e somente, estiverem agrupados, compondo os bárions (da palavra grega *barys*, que significa pesado) e os mésons (do grego *mesos*, que significa intermediário), que são as subdivisões de

mais uma classificação referente às PE: a dos hádrons (do grego *hadros*, significando robusto, forte).

A classe dos hádrons é numerosa, devido às várias combinações possíveis entre três quarks ou de quarks e antiquarks. Os bárions mais conhecidos são os prótons e nêutrons, enquanto os mésons  $\pi$  e  $\kappa$  - conhecidos como píons e káons - são exemplos de mésons.

Então, bárions são compostos de três quarks e glúons. O glúon é a partícula mediadora que mantém os quarks *up* e *down* unidos no interior do núcleo atômico; os glúons também possuem carga cor. Glúon é uma palavra proveniente do inglês *glue*, que significa cola. Os mésons, também mediados por glúons, são compostos de um quark e um antiquark (MOREIRA, 2004).

As partículas das gerações II e III são detectadas em raios cósmicos e nos colisores/acceleradores de partículas e têm um tempo de vida muito curto - como os múons, por exemplo -, da ordem de microssegundos (FAUTH et al, 2010), que acabam decaindo em partículas com massas menores.

As duas gerações são aqui classificadas: a geração II com os quarks *charm* (*c*) e *strange* (*s*), o múon ( $\mu$ ) e o neutrino do múon ( $\nu_\mu$ ); na geração III temos os quarks *top* (*t*) e *bottom* (*b*), o tau ( $\tau$ ) e o neutrino do tau ( $\nu_\tau$ ).

Partículas mediadoras são portadoras de força e interagem com outras partículas; isso ocorre através de seus campos de força. Conforme Moreira: “Mediar a interação significa que a força existente entre as partículas interagentes resulta de uma ‘troca’ (emissão e absorção) de outras partículas (virtuais) entre elas” (MOREIRA, 2004, p. 11).

Sobre as partículas virtuais:

No mundo macroscópico a energia sempre se conserva, porém microscopicamente a Mecânica Quântica mostra que pode haver pequenas violações  $\Delta E$  durante um tempo  $\Delta t$  de modo que  $\Delta E \times \Delta t = h = 6,6 \cdot 10^{-22}$  MeV.s. Quando uma partícula livre emite um fóton, o desbalanço de energia é dado pela energia do fóton, de modo que quanto maior for essa energia, tanto mais rapidamente ele deve ser absorvido por outra partícula a fim de restabelecer o balanço energético. Quer dizer, quanto maior a violação da conservação de energia, tanto mais rapidamente deve ser restabelecido o equilíbrio energético. Essa violação virtual da energia é, portanto, importante na interação entre partículas. Fótons “reais”, assim como elétrons, por exemplo, podem ter uma vida infinita desde que não interajam com outras partículas. Fótons “virtuais”, por outro lado, têm uma vida muito curta. (op, cit., p. 12).

Acima é descrita a expressão que embasa o Princípio de incerteza<sup>9</sup>, proposta por Heisenberg em 1927, que determina que a incerteza é inerente à medição entre o momento de uma partícula e sua posição.

Sendo assim, os bósons são as partículas mediadoras das interações entre as PE e estão representados na figura 1.4 na cor vermelha. O fóton ( $\gamma$ ) é a partícula mediadora da interação eletromagnética; os bósons  $W^+$ ,  $W^-$  e  $Z^0$  são as partículas mediadoras da interação fraca, que são responsáveis pelo decaimento radioativo dos elementos químicos.

Os glúons possuem a propriedade quântica carga cor (vermelho, verde e azul) e, numa determinada representação, aparecem em número de oito; estas são as partículas mediadoras da força forte. O gráviton - responsável pela interação gravitacional, ainda não foi detectado.

O último integrante do MP a ser descoberto está em amarelo na figura 1.4: o bóson de Higgs, proposto teoricamente pelo físico britânico Peter Higgs (1929-) em 1960, concomitante com o físico belga François Englert (1932-). Quando o bóson atravessa o mecanismo de Higgs - um campo quântico que permeia todo o espaço onde situa-se o Universo - este proporciona, através dessa interação, a existência de todas as partículas ditas reais. Esta partícula - o bóson de Higgs - foi detectada pelo LHC, em 2012 e rendeu aos físicos acima o prêmio Nobel de Física de 2013.

Temos, por fim, 61 partículas elementares que constituem o MP: 36 quarks (com seis sabores e suas antipartículas, doze, vezes três cores); 12 léptons (seis, mais suas antipartículas), 3 bósons para a mediação da força fraca ( $W^+$ ,  $W^-$  e  $Z^0$ ) e mais oito glúons ( $g_1$  até  $g_8$ ), carregam cor e anticor e são os responsáveis pela mediação da força forte; o fóton, responsável pela mediação eletromagnética e, finalizando, o bóson de Higgs (ABDALLA, 2006).

### 3.1.7 O Modelo Padrão não é Definitivo

É necessário complementar que, por mais que o MP caracterize, estruture e categorize com clareza o universo das PE, ela não é definitiva.

Algumas questões ainda estão em aberto na teoria, como a não comprovação experimental da partícula gráviton, por exemplo (MOREIRA, 2009).

---

<sup>9</sup> O Princípio de Incerteza, de Heisenberg, declara que é impossível determinar a posição de uma partícula e, simultaneamente, medir a sua velocidade, sem que haja influência dos instrumentos de medição sobre a partícula. A incidência de luz sobre as partículas observadas já é equivalente a fótons colidindo contra elas, o que já mudaria sua posição.

Então, sendo um fato irrefutável, tratemos com naturalidade que a teoria do MP das PE será, futuramente, pelo menos modificada, na busca de uma melhor compreensão e explicação da mesma (BACHELARD, 1991).

### 3.2 TEORIA DA APRENDIZAGEM SELECIONADA

Adotamos como referencial teórico, para embasar este trabalho acadêmico, a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) do psicólogo da educação estadunidense David Paul Ausubel (1918-2008). Quando foi publicada pela primeira vez, em 1963, Ausubel chamou-a de Psicologia da Aprendizagem Verbal Significativa; a partir daí, foi sendo revisada pelo próprio autor e também por vários colaboradores, consolidando-se como uma teoria de aprendizagem com ampla visibilidade em muitos países (AUSUBEL, 2003; MOREIRA, 2017).

O cognitivismo é parte constituinte da psicologia educacional, o qual dispõe que, para ocorrer a aprendizagem plena de um indivíduo, deverá ser levado em consideração a relação que este possui com significados que venha a possuir, e novos significados que serão trabalhados com ele, através de relações/processos de ensino/aprendizagem que ocorrerão, com novas aquisições, internalizações e modificações, para o surgimento de novos significados.

Asserção do autor da teoria sobre os mesmos:

Os teóricos cognitivos defendem que o significado não é uma *resposta* implícita, mas antes uma experiência consciente claramente articulada e precisamente diferenciada que surge quando signos, símbolos, conceitos ou proposições potencialmente significativos se relacionam e incorporam em componentes relevantes da estrutura cognitiva de um determinado indivíduo, numa base não arbitrária e não literal. [...] Por conseguinte, considera-se que a aquisição de novos significados é co-extensiva à aprendizagem significativa, um processo considerado qualitativamente diferente da aprendizagem por memorização, em termos da relação não arbitrária e não literal do conteúdo a ser apreendido com as ideias existentes na estrutura cognitiva. (AUSUBEL, 2003, p. 43).

A teoria é, então, identificada como cognitivista dinâmica e prioriza identificar o que seu (sua) aprendiz já dispõe de conhecimentos em sua estrutura cognitiva para, a partir disso, estabelecer modificações nessa estrutura, através da inserção de novos significados,



relacionando estas novas informações com as já existentes, de maneira não literal e não arbitrária (MOREIRA e MASINI, 2001).

A estrutura cognitiva tem papel relevante na TAS. Para Ausubel, é o conjunto dos conhecimentos, de tudo o que o (a) aluno (a) possui de assuntos, ordenados e organizados hierarquicamente, já estabelecidos em sua consciência; isto é, todo o arcabouço intelectual que o (a) aprendiz já possui, na forma de proposições, conceitos, imagens e símbolos e que sofrerá articulação com novas ideias, visando o desenvolvimento, e conseqüente aquisição, de novas informações.

A estrutura cognitiva é também interpretada, na teoria ausubeliana, como o campo de atuação onde novas informações serão inseridas a partir das já existentes, através de processos cognitivos, de ordem psicológica, como o da aprendizagem por recepção; o material com o conteúdo a ser trabalhado apresenta-se de forma mais ou menos completa, para que o (a) aluno (a), em contato com o mesmo, desenvolva e construa novos significados.

Aprendizagem por recepção não quer dizer que as novas informações sejam assimiladas pelo (a) aluno (a) passivamente, pois as mesmas deverão ser processadas em sua estrutura cognitiva, o que exige ação e reflexão por parte do (a) aprendiz.

Três exigências devem ser observadas na aplicação de uma aprendizagem por recepção:

A aprendizagem por recepção significativa é, por inerência, um processo activo, pois exige, no mínimo: (1) o tipo de análise cognitiva necessária para se averiguarem quais são os aspectos da estrutura cognitiva existente mais relevantes para o novo material potencialmente significativo: (2) algum grau de reconciliação com as ideias existentes na estrutura cognitiva - ou seja, apreensão de semelhanças e de diferenças e resolução de contradições reais ou aparentes entre conceitos e proposições novos e enraizados: e (3) reformulação do material de aprendizagem em termos dos antecedentes intelectuais idiossincráticos e do vocabulário do aprendiz em particular. (AUSUBEL, 2003, p. 6).

O processo de interação de ideias se dá com o auxílio de um subsunçor, um termo criado por Ausubel. Este é a informação que o (a) aluno (a) já tem em sua estrutura de conhecimento, o qual sofrerá interação com a nova informação, construindo assim novos significados para o (a) aluno (a). O subsunçor pode ser um símbolo, uma imagem (no caso desta dissertação), um conceito ou uma proposição, todas com cunho significativo.

No caso de não haver subsunçor, organizadores prévios - instrumentos que servirão como “pontes cognitivas” entre o que o (a) aluno (a) já sabe e o que ele (a) deve saber -

devem ser utilizados para futuramente comporem um subsunçor, que será utilizado como agente transformador de informações (MOREIRA, 2017).

Através de reorganizações que ocorrerão com conceitos que o (a) aluno (a) já possua estruturadas em sua base cognitiva, novas informações serão absorvidas, resultando em um processo psicológico que envolve essa interação entre ideias. Compreender como se dá esse mecanismo de cognição auxiliará no desenvolvimento do processo de aprendizagem.

Dois processos principais ocorrem neste intercâmbio de informações: a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. Abaixo, alguns princípios norteadores para os reconhecermos:

A natureza e as condições da aprendizagem por recepção significativa activa também exigem um tipo de ensino expositivo que reconheça os princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora nos materiais de instrução e que também caracterize a aprendizagem, a retenção e a organização do conteúdo das matérias na estrutura cognitiva do aprendiz. O primeiro princípio reconhece que a maioria da aprendizagem e toda a retenção e a organização das matérias é hierárquica por natureza, procedendo de cima para baixo em termos de abstracção, generalidade e inclusão. A reconciliação integradora tem a tarefa facilitada no ensino expositivo, se o professor e/ou os materiais de instrução anteciparem e contra-atacarem, explicitamente, as semelhanças e diferenças confusas entre novas ideias e ideias relevantes existentes e já estabelecidas nas estruturas cognitivas dos aprendizes. (AUSUBEL, 2003, p. 6).

São processos inerentes à teoria e a caracterizam; no momento que ocorrem, modificam a estrutura cognitiva do (a) estudante. Na diferenciação progressiva, um dado subsunçor receberá uma gama de informações, e através das internalizações dessas informações, significados são dados a esses novos conhecimentos. Através de sucessivas interações, esse subsunçor se modifica.

Já a reconciliação integradora, ou integrativa, é o processo que consiste em eliminar diferenças, integrar significados e resolver inconsistências. Ambos são processos dinâmicos que ocorrem simultaneamente na estrutura cognitiva do (a) aprendiz (MOREIRA, 2012).

Para a ocorrência da aprendizagem significativa, duas condições devem ser observadas: o material a ser trabalhado tem de ser relacionado à situação didática de maneira não arbitrária e não literal (material potencialmente significativo), contando que o (a) aluno (a) já tenha o (s) devido (s) subsunçor (es) adequado (s) em sua estrutura cognitiva.

A outra condição é: o (a) aprendiz, também de forma substantiva e não literal, deve querer relacionar as novas informações, para que ocorram futuras associações do que ele já tem de informação com o novo material que será apresentado (AUSUBEL et al, 1978).

Para melhor esclarecer a metodologia de aquisição e organização de conteúdos na estrutura cognitiva do (a) aluno (a), é proposta, pelo próprio Ausubel, a “teoria da assimilação”: é o modo onde conceitos ou proposições - potencialmente significativos - são adquiridos e organizados na estrutura cognitiva do (a) aluno (a), sob a perspectiva de uma ideia mais inclusiva (AUSUBEL, 2003).

Neste esquema ausubelino, um significado *a* - seja um conceito ou proposição, por exemplo - se inteira a outro *A*: a partir dessa interação, um novo conceito *a’A’* será construído, considerando as condições de inclusão propostas pelo que já foi investigado, e assim sofrendo nova integração, de forma a ser absorvida como uma nova informação.

A informação já existente sofre transformações, fundamentadas em alguns tipos e formas de aprendizagem. Os tipos de aprendizagem significativa se distinguem em três: representacional, conceitual e proposicional. São inerentes ao que será proposto ao (à) aluno (a).

O tipo representacional, que é o mais básico, é a atribuição de significados para determinados símbolos, palavras ou imagens. A aprendizagem de conceitos (tipo conceitual) é similar ao representacional, já que pode também ser representado por símbolos; porém, são mais genéricos, abstrações dos conteúdos essenciais.

No tipo proposicional, o (a) aluno (a) deverá entender qual o significado de seus conteúdos na forma de proposições. Os tipos de aprendizagem serão, então, trabalhados conforme diagnosticada sua necessidade de aplicação (MOREIRA, 2017).

As formas de aprendizagem também são três: subordinada, superordenada e combinatória. É a maneira como as novas informações serão inseridas, através das já existentes na estrutura cognitiva do (a) estudante.

A forma de aprendizagem é subordinada quando um novo material é submetido à estrutura cognitiva já existente do (a) aluno (a). Ocorre, então, por intermédio de ancoragem de outras informações, permitindo a relação dessas com o subsunçor.

Já a forma superordenada se dá quando conceitos ou proposições, mais inclusivos e gerais, são adquiridos através das informações já ocorrentes na estrutura cognitiva do (a) aluno (a).

Por fim, a aprendizagem de forma combinatória infere a aprendizagem de proposições e, em menor escala conceitos, que não seguem à subordinação ou à superordenação especificamente, e sim de um modo mais generalizado e amplo dentro do já existente na estrutura cognitiva do (a) aluno (a). O uso de analogias também é indicado nesta forma de aprendizagem.

Aprendizagens da forma superordenada, mais raras, ocorrem quando a nova ideia, conceito ou proposição subordina a informação já existente na estrutura cognitiva do (a) aluno (a) e uma nova informação se estabelece (MOREIRA, 2017).

Além da aprendizagem significativa, Ausubel também identifica a aprendizagem mecânica, aquela em que o (a) aluno (a) absorve as informações por memorização, sem atribuir significado a elas. Existe uma inter-relação entre as duas aprendizagens, onde decorre uma “zona cinza”, que denota uma amálgama entre elas, como aqui citado: “No entanto, deve ser observado que aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica não constituem uma dicotomia: estão ao longo de um mesmo contínuo. [...], há uma ‘zona cinza’ entre as duas extremidades” (MOREIRA, 2012, p. 40).

Alguns esclarecimentos acerca desse contínuo: 1- A aprendizagem mecânica não se transforma em aprendizagem significativa automática ou naturalmente, isso “dependerá da existência de subsunçores adequados, da predisposição do aluno em aprender, de materiais potencialmente significativos e da mediação do professor” (op. cit., p. 40). 2- A aprendizagem significativa acontece progressivamente, onde um subsunçor sofre processos de “captação, internalização, diferenciação e reconciliação de significados que não é imediato. Ao contrário, é progressivo, com rupturas e continuidades [...]” (op. cit., p. 40-41). 3- Aprendizagem significativa envolve a captação de significados e depende do domínio progressivo, por parte do (a) aluno (a), de situações de aprendizagem desenvolvidos em sala de aula, dentro de um diálogo que envolve conceitos e situações.

Para avaliarmos se houve aprendizagem significativa de alguma ordem, Ausubel propõe que o aluno deve ter, em uma avaliação quantitativa sobre o tema estudado, respostas que contenham clareza, precisão, diferenciação e transferência de significados. Clareza significa o (a) aprendiz conseguir explicar o que entendeu da aula corretamente, com as próprias palavras, em condições que a averiguação de seu comunicado seja sinônimo do que foi estudado. Precisão exige ordenar corretamente as informações em sua estrutura cognitiva, com coesão e sentido (AUSUBEL, 2003).

Diferenciação ocorre quando o (a) aprendiz consegue fazer associações diferenciadas, entre palavras e na construção de argumentos, para explicar de outras maneiras sobre o tema da aula que participou. Por fim, o (a) aluno (a) deverá desenvolver com facilidade a transferência de significados e explique o que estudou com compreensibilidade, transparência e nitidez de sentidos (MOREIRA, 2017; MOREIRA e MASINI, 2001).

# Capítulo 4

## PRODUÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA E SUA APLICAÇÃO

---

Para a elaboração da Sequência Didática (doravante apresentada como SD) procuramos auxílio na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) de Ausubel, já apresentada no capítulo anterior, e nos apontamentos de Zabala (1998), para construir um entendimento sobre como potencializar a aplicação de uma SD.

A organização das atividades ocorreu sob orientação do Currículo do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2012), que recomenda trabalhar conteúdos e habilidades dentro do tema “Matéria e Radiação”, sobre a evolução do pensamento filosófico e científico a respeito da matéria e do átomo, em uma primeira abordagem.

Posteriormente contextualiza e analisa historicamente sua estrutura mais fundamentalmente, quando explicita que os alunos devem ter conhecimento dos constituintes primários dos átomos, as Partículas Elementares (PE), sobre de que maneira são feitas as detecções dessas partículas e como ocorrem suas interações (SÃO PAULO, 2012).

### 4.1 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A SD é uma proposta metodológica de ensino na qual o conhecimento a ser obtido pelo (a) aluno (a) deve estar inserto em um conjunto de atividades de cunho pedagógico, devidamente seriada e articulada.

Formam assim, Unidades Didáticas (UD), com mais amplitude que um plano de aula, por exemplo, devido ser capaz de abordar várias estratégias didáticas e também por haver uma sincronia de várias aulas (ZABALA, 1998).

Decidimos pelo uso de uma SD devido à sua abrangência ampla e ao mesmo tempo detalhada, que procura demonstrar todos os passos a serem executados pelo professor,

seguido de detalhes das intenções de cada atividade ou recurso didático proposto, objetivando que professor e aluno edifiquem e estabeleçam as situações de aprendizagem apresentadas.

Desta maneira desejamos que seja propiciado ao educando condições para que o mesmo alcance autonomia suficiente para reflexões e conclusões próprias para com o conteúdo abordado, partindo de seus conhecimentos prévios, os quais deverão ser antecipadamente investigados.

Esperamos, também, superar o paradigma educacional do professor como único detentor do conhecimento, uma situação de depósito de explicações e fórmulas deste para com o aluno, o que culmina em um aprendizado vinculado a uma transmissão mecânica de informações.

O Currículo do Estado de São Paulo faz indicações para se evitar uma aula de molde tradicional:

Na formação científica, como nas demais áreas, o conceito de educação que precisa ser praticado em nossas escolas não pode se resumir a informar, ou seja, a transmitir conhecimentos, tanto porque o professor não é o detentor absoluto do conhecimento ou a fonte oficial de saberes, como porque não interessa que os alunos absorvam passivamente os ensinamentos. A pedagogia de ‘depositar conhecimentos’, como se aluno fosse folha em branco ou recipiente vazio, deve dar lugar a uma educação fundada na ação de quem aprende. (SÃO PAULO, 2012, p. 34).

Sendo o propósito que esta SD seja um facilitador para o ofício do professor - especificamente de Física no Ensino Médio - em sala de aula; serão apresentados subsídios organizados para o desenvolvimento de uma aula potencialmente significativa, com a finalidade de que o aprendizado do educando ocorra o mais efetivamente possível.

É indispensável, primeiramente, que as UD que constituirão a SD sejam antecipadamente identificadas; também as atividades - previamente analisadas - deverão ter suas aplicações explicadas passo a passo.

Por fim, é necessário que os recursos didáticos utilizados em sala de aula sejam criteriosamente escolhidos pelo professor e que sua natureza e finalidade sejam de ordem metodológica e afinadas ao intento.

Para todas as situações acima elencadas devem ser observadas pelo educador as relações que serão estabelecidas junto de seus alunos e que esteja devidamente embasada em nível da aplicação/utilização de seus conteúdos (ZABALA, 1998).

Para todas estas etapas serem cumpridas é imprescindível o olhar crítico do docente no instante de sua aplicação, pois a escolha das estratégias didáticas - dentro das atividades

elencadas - e os recursos didáticos que serão visitados devem estar adequados para com a idade escolar dos alunos e, concomitante, devem também satisfazer a aprendizagem levando em conta o contexto socioeconômico, que reflete o grau de vulnerabilidade social dos discentes.

É de responsabilidade do professor - provedor imediato para que tais condições de ensino ocorram - detectar o momento ideal para aplicação dos conteúdos assim como optar pela melhor maneira de intermediar o desenvolvimento da SD.

Uma sequência didática deve conter atividades que atendam a objetivos específicos, os quais permeiam algumas características tipológicas de conteúdos, abaixo relacionados:

- **Factuais:** utiliza estratégias que reforçam as repetições mediante organizações significativas ou associações;
- **Conceituais:** determina a apropriação por parte do (a) educando (a) dos significados de conceitos e princípios que serão trabalhados;
- **Procedimentais:** São os conteúdos que dispendem mais tempo: visa desenvolver no alunado empatia pela importância do trabalho em equipe e pela pesquisa, através da prática guiada;
- **Atitudinais:** objetiva que o aluno, através de uma aula com caráter formativo de valores, perceba e compactue com um ambiente mais tolerante, respeitoso e cooperador.

As turmas que trabalharam com a aplicação da Sequência Didática foram três Terceiras Séries do Ensino Médio do período da manhã de uma escola da Rede Pública Estadual de São Paulo, localizada no interior do Estado.

#### 4.2 ATIVIDADES, CONTEÚDOS E ORGANIZAÇÃO DA SD

O tempo despendido para o desenvolvimento da sequência didática foi de um mês e uma semana, dividido em duas aulas por semana, com cinquenta minutos cada aula. As atividades ocorreram no 4º bimestre de 2019. Foram utilizadas nove aulas, divididas em quatro Unidades Didáticas (UD) de cem minutos cada UD (8 aulas). A nona e última aula foi utilizada para aplicar a avaliação de caráter somativo.

Para o instante da aplicação do produto (próxima seção do capítulo) balizamos o tempo e registramos as atividades que foram utilizadas, assim como as justificativas por

alguma mudança que tenha sido efetuada nas mesmas, o que serviu para demonstrar a flexibilidade que a metodologia oferece.

#### **4.2.1 Primeira Unidade Didática – Dividida em Três Atividades**

##### **• 1ª atividade**

A primeira UD da SD inicia-se com uma atividade cuja finalidade é sondar e detectar o quanto o aluno sabe a respeito dos modelos atômicos.

Solicita-se ao educando que faça a ilustração de um modelo atômico, como ele o entende, em uma folha devidamente preparada, timbrada com logotipo da escola, introdução aos fatos e proposição da atividade.

É incentivado o diálogo entre os (as) alunos (as), para que seja construído um ambiente de interação entre eles. Esta primeira atividade deve servir para o professor compreender o quanto os (as) alunos (as) têm de informação sobre os modelos atômicos.

Espera-se que, a partir do conhecimento do professor acerca dos subsunçores dos estudantes se passe a promover a Diferenciação Progressiva para moldar este conceito que acreditamos já estar estabelecido - o modelo atômico de Rutherford - e assim promover a assimilação de novos conceitos na estrutura cognitiva do aluno, com o apoio das formas de aprendizagens: subordinadas, superordenadas ou ordenadas.

Caso seja diagnosticado algum caso de pouco ou nenhum conhecimento do modelo de Rutherford, esta atividade servirá então de organizador prévio e será então trabalhado, inserido e posteriormente utilizado como subsunçor para os processos de assimilação futuros.

Ao incentivar-se um ambiente de diálogo entre os educandos no momento de ilustrar o “seu próprio modelo atômico”, acredita-se que trabalhamos com os conteúdos atitudinais.

Estamos também interessados em promover assim um ato de encontro de ideias para um fim didático e reflexão sobre sua própria vida escolar; visamos então estimulá-los a adotar princípios atitudinais norteados pelos quatro Pilares da Educação, da UNESCO, principalmente ao que tange o terceiro deles: aprender a viver com os outros. Dessa forma, será possível trabalhar-se valores tais como: tolerância, convivência social e compartilhamento de tarefas (ZABALA, p. 83, 1998).

Essa aula será conduzida pelo professor a partir da consideração dos desenhos como subsunçores e, depois de observá-los e adequá-los será necessário fazer um preâmbulo sobre o tópico que será estudado: as partículas elementares (PE).



A aula expositiva servirá para abordar os conteúdos conceituais, com o uso do quadro negro. É recomendado começar o diálogo com a seguinte frase, visando criar uma problematização: “Vamos refletir sobre do que são compostas as coisas que encontramos no Universo: os planetas, as estrelas e nós mesmos”.

A partir daí será construída esta primeira atividade, com intenção de que seja revelada ao discente a contribuição que o estudo das PE oferece para a civilização moderna, seja pelo acesso às novas tecnologias, velocidade nas comunicações ou pela medicina avançada, entre outros assuntos que possam ser sugeridos - inclusive pelos próprios alunos - e colocados em pauta.

Ao final, será possível que o professor promova a adição de um conteúdo de caráter conceitual usando a Diferenciação Progressiva: com o início do tema principal da SD, que são as PE (MOREIRA, 2011), evidenciando que os Prótons e Nêutrons constituintes do núcleo atômico são “partículas compostas” de quarks e que estes sim, são partículas essencialmente elementares, junto dos elétrons e neutrinos.

Estima-se que sejam necessários vinte minutos<sup>10</sup> para esta primeira atividade: os cinco primeiros para os alunos se sociabilizarem e desenharem “seus modelos atômicos” na folha de atividades e nos quinze minutos restantes para o desenvolvimento do descrito anteriormente.

### • 2ª atividade

A próxima atividade envolve o desenvolvimento de uma aula expositivo-dialogada auxiliada de apresentação de *slides* e o trecho de um vídeo, relacionados abaixo; julgamos que a atividade irá contemplar conteúdos factuais e conceituais (ZABALA, 1998), já que se apresentam fatos que estão norteados por datas e realizações pontuadas no tempo.

Devemos deixar claro ao educando que todo o desenvolvimento científico-tecnológico atual provém de uma conjuntura histórica milenar; desde os pensamentos dos filósofos da Grécia clássica, passando pela Idade Média e chegando até a Física Quântica do início do século XX até os dias atuais.

Os *slides* em *PowerPoint* foram desenvolvidos por este professor-pesquisador e encontram-se no endereço eletrônico <https://photos.app.goo.gl/qMJjGGqM9ETgfiGZA>. Auxiliará para uma explanação do empenho humano em explicar a constituição da matéria.

---

<sup>10</sup> Este tempo foi gasto por este professor-pesquisador. A dinâmica de cada professor pode alterar esse tempo e o de todos os tempos que se seguem nesta dissertação.

Começa no *Big Bang* - deixando claro que todas as PE e forças fundamentais surgiram nos primeiros momentos do Universo -, passando pelos filósofos gregos atomistas, ingressando no século XIX com as ideias de átomo de John Dalton e J. J. Thomson, passando pelo modelo de Hantaro Nagaoka e resultando no modelo atual de Rutherford/Bohr. Por fim, o mais recente modelo, baseado na mecânica quântica, também citado.

O vídeo que será trabalhado é “O Discreto Charme das Partículas Elementares” que está disponível no *YouTube* no endereço eletrônico [www.tvcultura.com.br/particulas](http://www.tvcultura.com.br/particulas) e deve ser visualizado neste primeiro momento o trecho que vai do começo até os quatro minutos e trinta segundos do vídeo. O documentário foi produzido pela TV Cultura e é uma extensão em forma de uma história entre jovens do livro de Maria Cristina Batoni Abdalla, “O Discreto Charme das Partículas Elementares” (ABDALLA, 2006).

Para esta atividade acredita-se na necessidade de cerca de cinquenta minutos; trinta minutos para a aula dialógica auxiliada por slides e mais vinte minutos para a visualização do vídeo em sala de aula, sendo cinco minutos de visualização e dez minutos de debate em grupo, as quais serão norteadas e balizadas pelo professor.

É importante a produção por parte dos alunos e nesse caso, sugere-se a criação de um texto em forma de resumo para o grupo em aula. Com o tempo que terão (cinco minutos), podemos esperar que ocorra uma Reconciliação integrativa ente as informações que os alunos (as) já tinham e as novas oferecidas pelo professor.

### • 3ª atividade

A primeira UD da SD pode ser finalizada com a realização de uma atividade de leitura e debate em grupo. Cada aluno deve receber seu próprio texto para que seja efetuada a leitura; propomos que a sala seja dividida em grupos de cinco alunos no máximo.

Propõe-se trabalhar em grupo para criarmos um ambiente de interação entre os alunos, mais uma vez abordando conteúdos de ordem atitudinal, pois esse ambiente é profícuo para a promoção e construção de significados, edificante para a aprendizagem (INOCÊNCIO E CAVALCANTI, 2005).

Também aqui serão trabalhados conteúdos procedimentais, pois os alunos receberão orientação para, durante a leitura, anotarem em seus cadernos trechos que eles pensem serem importantes e também possíveis dúvidas em relação ao significado de palavras ou contextos do texto.

Um questionário pode ser aplicado ao final da atividade. Visando a assimilação por parte dos (das) alunos (as), espera-se poder promover, junto aos (às) mesmos (as), a Diferenciação Progressiva e a Reconciliação Integrativa, cujas modificações na estrutura cognitiva são proporcionadas de forma subordinada.

Com esse trabalho, espera-se desenvolver noções acerca das classes de Quarks, Léptons e Bósons intermediadores, que serão apresentados ao (à) aprendiz usando o subsunçor já identificado.

Os textos selecionados e propostos nesta sequência abordam o Modelo Padrão das PE. Também se recomenda a utilização de um quadro do MP das PE, apresentado no capítulo 3, página 35 deste trabalho.

A avaliação será formativa e terá um cunho atitudinal: será considerada aqui a reciprocidade cultivada entre os educandos, com o desenvolvimento de seu senso de solidariedade; também será relevante seu empenho em aprender.

É importante salientar que quando citamos o termo “avaliar”, não significa somente aferir o interesse do aluno e dar uma nota a isso; queremos perceber o quanto esta participação ocorre.

#### **4.2.2 Segunda Unidade Didática – Dividida em Duas Atividades:**

##### **• 1ª atividade**

Esta UD se propõe ao estudo dos atributos/propriedades quânticos (as) das PE: massa, carga elétrica, spin e carga cor. Sugere-se o uso de uma sequência de *slides*, no link e análise de um pôster, visando partir do nível médio detectado a partir dos subsunçores dos (as) alunos (as), que é o modelo atômico atual, para assimilarmos novos conceitos mais específicos usando para isso a Diferenciação Progressiva.

Os conteúdos conceituais estão bem demarcados nesse momento: primeiramente procura-se trabalhar o subsunçor - conceito de átomo que o aluno já tem - para o acondicionamento de novos conceitos que serão inclusos em sua base cognitiva através da visualização dos *slides*, do quadro (vide Capítulo 3, página 35) e da fala do professor.

Serão informações novas, abstratas e peculiares, que somente ocorrem em dimensões subatômicas, como por exemplo, admitir que condições como a carga cor ser somente um “nome” que atribuímos para essa condição quântica; não se trata das cores que vemos fisicamente, somente foi escolhido para “representar sua condição quântica”.

Sugere-se a produção de uma atividade que visará melhores condições para a assimilação dessas novas informações, agora de forma procedimental. A partir da divisão em grupos de no máximo cinco alunos, a apresentação do *PowerPoint* será interrompida várias vezes para que o assunto em questão possa ser debatido, e que dúvidas e comentários sejam apresentados durante a aula, contando com a participação de todos. O pôster também estará em exposição em frente da sala de aula para visualização dos estudantes.

Objetiva-se que durante as pausas, possa ser feita uma sessão de comentários feitos pelo professor, utilizando-se das formas proposicionais e conceituais de aprendizagem embasadas na TAS, e assim a aula possa ser conduzida para que o estudante perceba que o spin é um atributo quântico importante, pois difere as PE em Férmions e Bósons, que estão na base do Modelo Padrão (MP), com Férmions (de spin semi-inteiro) na condição de partículas essencialmente elementares e Bósons (de spin inteiro) como elementos da interação atômica.

Pode-se solicitar para que os (as) alunos (as) anotem as informações que eles achem principais, assim como suas dúvidas. Esta atividade deve ser cumprida no prazo de quarenta minutos.

Um questionário será aplicado ao final da atividade, para ser respondido nos dez minutos finais da aula e que será utilizado posteriormente.

#### • 2ª atividade

Esta atividade é prevista como de caráter procedimental. Os alunos serão divididos em grupos de cinco sujeitos cada. Pretende-se estudar as três classes principais que compõem o MP das PE: a dos Quarks e dos Léptons, com suas três gerações e a classe dos Bósons e as partículas mediadoras. Sugerimos a utilização de um livro didático para auxiliar essa tarefa. Indicamos algumas sugestões de livros que trazem abordagem de tal conteúdo nas referências bibliográficas (BISCUOLA et al., p.294-295, 2013), (GUIMARÃES et al., p. 269-278, 2014), (SANT’ANNA et al., p. 380-381, 2010).

A partir da reutilização do subsunçor “modelo atômico de Rutherford”, que é parte da estrutura cognitiva do aluno, pretende-se conduzir o processo de assimilação de novos conceitos na grade mental de nosso (a) estudante, fazendo com que ele (a) o utilize para construir novas proposições, como a existência dessas novas classes de partículas, que chamamos de PE e que pertencem ao MP, uma teoria que não é completa, mas satisfaz parte de nosso entendimento sobre a constituição da matéria.

### 4.2.3 Terceira Unidade Didática – Dividida em Duas Atividades:

#### • 1ª atividade

Nessa atividade a ideia é que, a partir de uma aula dialogada, com auxílio de um vídeo ([www.tvcultura.com.br/particulas](http://www.tvcultura.com.br/particulas)), possamos inserir a informação de que Quarks e Léptons possuem suas antipartículas, e que essas são somente as mesmas partículas com sua carga elétrica trocada: quem tem carga positiva tem antipartícula negativa e vice-versa.

Os conteúdos trabalhados serão abordados de modo conceitual já que o entendimento do que seja a carga elétrica de uma partícula elementar ( $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$ ) é de caráter conceitual.

Deve-se nortear a noção de que prótons e nêutrons são partículas compostas de outras partículas mais elementares, que são os quarks. Para essa circunstância, espera-se que haja uma Diferenciação Progressiva do tipo subordinada, pois o conceito “estrutura atômica” é uma informação mais abrangente e (ao que se espera) já dominada pelo aluno (a), para subordinar outras ideias que serão incorporadas à estrutura cognitiva dele (a), que é a categoria dos Hádrons, subdivididos em Bárions (prótons e nêutrons) e Mésons.

É importante comentar a participação do físico brasileiro Cesare Mansueto Lattes, ou simplesmente Cesar Lattes, que auxiliou na descoberta do Méson PI e que resultou no prêmio Nobel para o chefe da equipe de pesquisa na qual Lattes trabalhava.

Estima-se a utilização de cinquenta minutos para esta atividade: Quinze minutos expondo o pôster e comentando sobre ele, mais vinte para o desenvolvimento procedimental que será feito junto aos alunos (as), que consistirá no pedido de um pequeno texto (cinco linhas) junto com a atividade pedida logo acima e produzido por ele (a) sobre o que entendeu

da exposição feita pelo professor e os quinze minutos finais para fechamento da aula, repasse das ideias junto das informações que os alunos produziram.

A participação dos (as) alunos (as) deve ser fomentada em todo momento e a participação deverá ser coletiva, com exposições de ideias e dúvidas, que serão comentadas e respondidas pelo professor ou mesmo pode servir como gancho pedagógico para uma nova pesquisa.

### • 2ª atividade

A estratégia didática nessa atividade é a produção de paródias. Acredita-se que esse trabalho possa incentivar e fazer florescer os possíveis talentos artísticos latentes dos (as) alunos (as) (LEÃO et al, 2011).

Quando se usa essa estratégia, é comum o professor trazer uma paródia já desenvolvida anteriormente. Nessa sequência didática isso também ocorreu, porém, conforme se verá, será proposto que o aluno formule e elabore sua própria paródia.

Conteúdos atitudinais serão contemplados, já que a atividade visa o desenvolvimento cognitivo, interacional e cultural, com o intuito da inserção de novas vivências e que elas sejam produtivas para o (a) aluno (a) no que diz respeito ao desenvolvimento de seu aprendizado.

A forma de aprendizagem aqui será a proposicional, pois incentiva-se a coordenação de atividades em que os alunos deverão ser estimulados a propor um tipo de construção intelectual que será o desenvolvimento de suas paródias.

As diretrizes devem ser dadas pelo professor: com a escolha de uma música - de estilo musical selecionado pelos (as) próprios (as) alunos (as) - será gerada uma paródia para ser apresentada ao final da aula.

Estima-se que cinquenta minutos sejam necessários para desenvolvimento da atividade. Os cinco minutos iniciais serão para apresentação de paródias já produzidas. Sugerimos utilizar o vídeo já mencionado “O Discreto Charme das Partículas Elementares” que está disponível no endereço eletrônico [www.tvcultura.com.br/particulas](http://www.tvcultura.com.br/particulas), o qual apresenta uma paródia dos trinta e quatro minutos e quarenta segundos até os trinta e oito minutos e quarenta e dois segundos (aproxima-se para cinco minutos de apresentação).

#### 4.2.4 Quarta Unidade Didática - Dividida em Duas Atividades:

##### • 1ª atividade

A primeira atividade deste quarta UD da SD envolve leitura, seguida de aula expositiva e dialógica do professor sobre o LHC, o “Grande Colisor de Hádrons”, explicitando seus objetivos, funcionamento e evidenciando os benefícios das descobertas proporcionadas pelas pesquisas nele efetuadas, além de clarificar sua associação com as PE.

Tal momento pedagógico pode ocorrer em uma sala de informática, com a finalidade de que os educandos, com o auxílio do professor, promovam uma aula de investigação e exploração de suas curiosidades. O site indicado permite acesso a outros *links*, á outras reportagens que possuam algum vínculo de relevância para com o tema estudado.

Sugere-se que a leitura ocorra em dupla e cada par pode ocupar um computador. Também sugere-se que o texto esteja dividido em três subtítulos menores.

A atividade pode ser finalizada com uma aula dialogada intermediada pelo professor acrescentada de comentários dos estudantes, acerto de dúvidas pendentes e informações adicionais sobre o conteúdo.

O texto utilizado encontra-se no seguinte endereço eletrônico: Site Inovação Tecnológica- [www.inovacaotecnologica.com.br](http://www.inovacaotecnologica.com.br)

(URL: <https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=brasileiros-va-ajudar-aligar-a-maquina-do-comeco-do-mundo>).

Conveniente e intencionalmente escolhido, este texto é dividido em três subtítulos, facilitando para o professor poder intermediar o processo da Diferenciação Progressiva, usando o subsunçor acerca do conceito de “modelo atômico” que o aluno deva ter em sua estrutura cognitiva, e fazendo ocorrer a Assimilação através da leitura de cada subtítulo, com o subsunçor sendo usado para que o aluno aglutine outras informações a ele do tipo: prótons e nêutrons (componentes do núcleo do átomo) sendo pertencentes à categoria dos Hádrons.

O professor pode proceder da seguinte maneira: incentivando a argumentação de cada dupla em relação aos textos que eles leram, permitindo intervenções de outros alunos, seja para confrontar dúvidas ou expor opiniões.

Para cada subtítulo lido, acredita-se na importância de se explicar sobre o contexto, recombinar proposições e adicionar informações relevantes, obliterando o subsunçor e

visando promover a Reconciliação Integrativa com as informações dadas pelo professor, as que permeiam o texto e as informações que o aluno já possuía.

É prevista a utilização de cinquenta minutos para consolidar esse momento: cinco minutos de leitura, mais cinco minutos de debate intermediado entre os integrantes de grupo para cada subtítulo, totalizando trinta minutos.

Os vinte minutos restantes são para o balizamento das informações pelo professor, com aula expositiva e dialógica, com o apelo para que os alunos participem com perguntas pertinentes ao tema.

Para finalizar essa atividade, cada aluno pode ser incentivado a fazer uma pergunta ou comentário sobre a aula que acabou de participar. Esta etapa intenciona contemplar conteúdos de ordem conceitual e atitudinal.

#### • 2ª atividade

Esta última atividade necessita de um espaço mais amplo e, então, foi desenvolvida na quadra poliesportiva. Contempla-se conceitos atitudinais em primeira instância, e após, conteúdos conceituais serão trabalhados, com a intenção que ocorra reconciliação integrativa com os alunos e que novas conclusões possam ser obtidas por eles, experimentando uma atividade de ordem recreativa.

Uma vez na quadra, os alunos podem ser divididos em grupos de, no máximo, seis alunos (as). Alguns desses (as) alunos (as) - dentro de seus grupos - serão “quarks *up*”, outros (as) serão “quarks *down*”, assim como outros (as) serão elétrons, múons e taus, ou seja; será necessário que os (as) alunos (as) se organizem quando for pedido para eles (as) formarem uma partícula composta, como mésons, prótons ou nêutrons, por exemplo. Petecas podem ser usadas nesta atividade para simbolizar as partículas de interação, sendo “glúons” quando as interações forem entre “quarks” e “fótons” quando as interações forem entre elétrons.

A avaliação - de caráter formativo - pode ocorrer ao se obter o resultado da “gincana” proposta, de modo a avaliar atitudes positivas e coletivas. O período estimado para esta atividade é de cinquenta minutos, onde se conclui a descrição da metodologia referente à Sequência Didática aqui discorrida.

Segue uma tabela sobre as UD (com suas respectivas durações), propostas de atividades para os conteúdos abordados e objetivos a serem alcançados. Esta tabela estará disponível, em anexo, no produto educacional desta dissertação.



Unidade Didática - Duração	Atividades propostas para os conteúdos	Objetivos a serem alcançados
<p><b>1ª UD</b></p> <p>2 aulas de 50 min cada (100 min)</p>	<p>Diagnóstico inicial através de atividade dirigida e conversa informal com a turma para sondagem e reconhecimento dos subsunçores.</p> <p>Introdução ao estudo das Partículas Elementares, evidenciando seu contexto histórico (da Grécia clássica até o Modelo Padrão atual), utilizando <i>slides</i> e vídeo, com aula dialogada. Finalização do momento com leitura de texto sobre as Partículas Elementares (PE) e debate em grupo (máximo de cinco alunos por grupo).</p>	<p>Objetiva-se investigar o quanto o aluno sabe sobre o conteúdo que será proposto e fazer uma introdução sobre o assunto (Partículas Elementares), assim como discorrer sobre a trajetória histórica do tema.</p>
<p><b>2ª UD</b></p> <p>2 aulas de 50 min cada (100 min)</p>	<p>Abordagem sobre as propriedades quânticas (massa, carga elétrica, spin e carga cor) das partículas elementares com apresentação de <i>slides</i>, aula dialógica seguido de questionário e atividade de debate em grupo (máximo de cinco alunos por grupo).</p> <p>Utilização de texto de livro didático (ver referências) para leitura, aula dialógica e debate em grupo (máximo cinco alunos por grupo).</p>	<p>Objetiva-se demonstrar as propriedades quânticas das PE, o que distingue Férmions de Bósons e as Partículas que os compõem, assim como estudar suas antipartículas.</p>
<p><b>3ª UD</b></p> <p>2 aulas de 50 min cada (100 min)</p>	<p>Abordagem sobre os léptons e quarks (sabores e cores) &amp; suas antipartículas, com utilização de pôster, seguido de aula dialogada e exercícios; aula dialogada sobre os hádrons (bárions e mésons - também com utilização de pôster).</p> <p>Proposta de atividade</p>	<p>Objetiva-se demonstrar que as Partículas Elementares compostas (Prótons e Nêutrons) são constituídas de partículas ainda menores, os quarks e glúons, e discutir suas características, como sabor e carga cor.</p>

<b>3ª UD (continuação)</b>	didática: produção de paródias sobre quarks, hádrons, léptons e suas antipartículas.	
<b>4ª UD</b> 2 aulas de 50 min cada (100 min)	“Como se detectam as Partículas Elementares?”. Abordagem através de texto selecionado - site Inovação tecnológica - sobre o LHC. Abordagem sobre as Partículas Elementares intermediadoras (Bósons) com a utilização de <i>slides</i> e vídeos. Atividade na quadra poliesportiva: entender como interagem as partículas mediadoras através de um jogo com petecas.	Objetiva-se que o educando reconheça como se detectam as partículas elementares, assim como esclarecer como ocorrem suas interações; com a atividade na quadra poliesportiva a expectativa é a de promover entre os (as) alunos (as) um ambiente descontraído e propício para o aprendizado.

**Tabela 1.1** – Unidades Didáticas/duração, atividades propostas e objetivos a serem alcançados.  
Fonte: autor.

#### 4.3 DESCRIÇÃO GERAL DA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Aqui se segue a descrição do desenvolvimento da Sequência Didática (SD), objeto desta dissertação, referenciada na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) do estadunidense David Paul Ausubel. A mesma foi aplicada entre os dias 31 de Outubro de 2019 e 06 de Dezembro de 2019, sob o título “O Ensino das Partículas Elementares a partir de uma Sequência Didática”.

A SD foi trabalhada com as três turmas (A, B e C) da 3ª série do Ensino Médio de uma escola da Rede Pública Estadual, localizada em Sorocaba, no interior do Estado de São Paulo. A aplicação da SD ocorreu no período da manhã.

A escola tem dez salas de aula, situa-se em uma região periférica da cidade e é considerada de média/alta vulnerabilidade social. Tem turmas do Ensino Fundamental I e II (6º ao 9º ano) e do Ensino Médio (1ª à 3ª série) e suas aulas ocorrem nos períodos da manhã e da tarde, com todas as salas ocupadas nos dois períodos e com cerca de quarenta alunos em cada sala.

Após receber, em 28/10/2019, a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da UFSCar<sup>11</sup>, os “Termos de Consentimento Livre e Esclarecido” (TCLE - pais, responsáveis e alunos) e os “Termos de Assentimento Livre e Esclarecido” (TALE - alunos), que já estavam impressos, foram distribuídos aos pais, responsáveis e aos alunos (as) com maioridade civil ou não (no caso dos TALEs), para que fossem assinados e pudessem fazer parte dos dados integrantes do corpo de estudo da dissertação. Os dias 29/10/2019 e 30/10/2019 foram utilizados para a coleta dessa documentação.

Foram então consideradas, neste trabalho, apenas as atividades cujos pais/responsáveis ou os próprios alunos com maioridade civil (no caso dos TCLEs) ou não (no caso dos TALEs) que assinaram e assim deram consentimento para participar das atividades propostas na SD, assim como foi considerado apenas as atividades dos (das) alunos (as) que, além de preencherem as condições acima, também tenham participado de pelo menos 50% (cinquenta por cento) das atividades propostas.

Assim, foi possível fazer um levantamento enxuto e fiel das intenções pedagógicas presentes na SD, que é avaliar o quanto de aprendizado ocorreu com o (a) aprendiz sobre as Partículas Elementares, constituintes básicos da matéria, por intermédio de atividades devidamente selecionadas, desenvolvidas e intencionadas para esse fim.

Apesar da SD aqui apresentada estar sistematicamente dividida em quatro UD distintas e encontrar-se subdividida por atividades, acredita-se que sua organização possa ser adaptada para outros tipos de combinação de aulas, devendo apenas o professor que desejar replicar a SD adequá-las devidamente ao tempo e circunstâncias de suas aulas.

A primeira UD (dia 31/10/2019 para os 3º C e D e dia 01/11/2019 para o 3º A) foi realizada da seguinte maneira, de acordo com o estipulado no projeto enviado ao Comitê de Ética: após a chamada, houve uma premissa promovida pelo Professor para inteirar a turma sobre o tema que seria abordado nas aulas subsequentes. Após essa introdução, uma avaliação diagnóstica foi aplicada ao alunado, com vistas de sondar conhecimentos prévios que eles (as) pudessem trazer em suas estruturas cognitivas.

A avaliação diagnóstica era relativamente fácil, porém com um propósito poderoso: foi pedido - em uma folha devidamente preparada, com timbre da escola, enunciado e proposição da atividade - que os (as) educandos (as) fizessem a ilustração de um átomo, de como eles (as) se recordavam do que aprenderam na escola, ou mesmo qualquer outro tipo de lembrança.

---

<sup>11</sup> O Comitê de Ética em Pesquisa da UFSCar é vinculado à Plataforma Brasil, que é uma base nacional e unificada de registros de pesquisas que envolvem seres humanos, base essa subordinada ao Ministério da Saúde.

A atividade foi assim pensada para que, caso diagnosticadas situações de nenhuma informação sobre o átomo ou de sua estrutura básica (como ocorreu), pudéssemos nivelar o conhecimento das turmas usando esta estrutura básica - o átomo ser um núcleo composto de prótons e nêutrons envolto por uma nuvem de elétrons - como organizador prévio, para que posteriormente se modificasse em subsunçor, peça chave na aplicação da TAS.

Assim este subsunçor pode ser utilizado para inserirmos futuras e novas informações tanto pelo processo de Diferenciação Progressiva quanto pelo de Reconciliação Integrativa, recorrentes do referencial teórico escolhido.

Como relatado acima, houve uma parte do alunado que já possuía os conhecimentos solicitados nesta primeira atividade, porém também houve uma rápida verificação por parte do professor, de alunos (as) que não possuíam em sua estrutura cognitiva nenhuma informação sobre o átomo e seus componentes básicos.

Diante disso, uma explanação inicial com auxílio do quadro negro foi proporcionada visando que todos (as) os (as) aprendizes começassem a aula com uniformidade de informação sobre essa noção inicial. Trinta minutos foram utilizados em toda a prática: quinze minutos de explanação inicial e quinze minutos para que os (as) aprendizes produzissem suas ilustrações sobre o átomo.

Indagado por uma aluna sobre as cargas elétricas e seu equilíbrio na interação próton com carga positiva no núcleo atômico e o elétron com carga negativa na eletrosfera, isso me levou a inferir a importância de que haja um entendimento dos (as) aprendizes para com os atributos quânticos (objeto do segundo momento), suas reais funções e que também não passam de modelos criados por nós humanos para podermos entender como a natureza atômica se comporta.

O passo seguinte foi apresentar um *Powerpoint* contendo 11 (onze) *slides*, os quais trouxeram uma breve história das Partículas Elementares, desde sua criação no *Big Bang* até como se juntaram para criar outras partículas compostas; e comentando também das forças naturais que se separaram no início do Universo e hoje revelam suas interações através das partículas mediadoras. Também foi exposto um vídeo selecionado para esta aula, contendo informações úteis sobre o tema das Partículas Elementares (PE).

Durante a exposição dos *slides*, encontrado no link [https://drive.google.com/drive/folders/1bjV359KiAoPr23KDvFGFEsvhJWf88W\\_G?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1bjV359KiAoPr23KDvFGFEsvhJWf88W_G?usp=sharing) e do vídeo, retirado do endereço eletrônico [www.tvcultura.com.br/particulas](http://www.tvcultura.com.br/particulas), os desafios enfrentados já eram os esperados: pouca atenção foi dispendida pelos educandos (as) e foi percebida um pouco de apatia no geral. Aliás, esse grande problema enfrentado por levamos de

professores e agora por mim descrito, por todos os cantos da nação, quiçá do mundo, está novamente em xeque: despertar o interesse e fomentar o engajamento de nosso alunado, que em algumas situações sinalizam falta de perspectiva ou nenhum interesse em seus futuros.

Como descrito no projeto, foi utilizada a seguinte forma de conduzir a aula: intercalar a exposição dos *slides* e do vídeo com pausas devidamente selecionadas e assim oferecendo oportunidade para que o professor explicasse o fato ou fenômeno que estava sendo trabalhado concomitante com a exposição da mesma (seja no *Powerpoint* ou no vídeo). Esta forma de conduzir a aula minimizou a falta de foco e a desmotivação de alguns alunos (as).

Quarenta minutos foram necessários para toda a atividade ser completada: vinte e cinco minutos para a apresentação do *Powerpoint* e cinco minutos para o vídeo, isso já com os comentários do professor. Um tempo de dez minutos foi oferecido aos estudantes para esclarecimento de dúvidas ou mesmo para poderem expressar suas opiniões, o que de fato ocorreu, com o Professor motivando sempre para que houvesse a participação de todo o alunado.

Fica registrado como muito útil e de muita importância que ao final de cada atividade proposta seja solicitada a opinião deste (a) aluno (a) ou mesmo questionar qual foi o grau de entendimento que ele (a) teve referente à aula que assistiu. Como descrito acima, foi percebido como um instrumento de avaliação formativa de muita valia.

Encerramos este primeiro momento com uma aula dialogada, com auxílio do quadro negro, sobre as distintas classes dos Bósons e dos Férmions, deixando claro que o que os difere neste item será utilizado como informação para ocorrer assimilação de novas informações, como os Férmions serem responsáveis pela existência da matéria e os Bósons serem responsáveis pela mediação entre as partículas, por exemplo.

Foram cronometrados trinta minutos para o desenvolvimento dessa atividade: vinte minutos de aula dialógica com auxílio do quadro negro e dez minutos para encerramento com debate originado das opiniões e dúvidas dos (as) alunos (as).

A segunda UD (dia 07/11/2019 para os 3º C e D e dia 08/11/2019 para o 3º A) começou, depois da chamada, com uma aula dialógica sobre os atributos quânticos das Partículas Elementares (massa, spin, carga elétrica, carga Cor), com auxílio do quadro negro.

É importante citar que, no desenvolvimento da aula, tais informações foram inseridas usando certo grau de abstração, além da visualização que os (as) alunos (as) obtiveram no quadro negro durante a explanação sobre o tema.

No final da explicação, foi pedido para que os (as) aprendizes se reunissem, organizassem as dúvidas e possíveis opiniões que eles (as) pudessem ter e a aula foi finalizada com um diálogo coletivo para esclarecimentos e considerações finais.

O objetivo foi de que após a aula, os (as) alunos (as) deveriam agora ter em sua estrutura cognitiva a informação de que os atributos quânticos (massa, carga elétrica, spin e carga cor) são modelos desenvolvidos pelos cientistas para termos uma melhor compreensão dos acontecimentos dessas dimensões diminutas e que as leis da natureza que as regem não são as mesmas do nosso mundo macroscópico.

Utilizamos os cinquenta minutos estipulados para a aplicação da atividade da seguinte maneira: trinta minutos de explanação do Professor seguidos de dez minutos reservados para o registro da aula e de questões pertinentes em seus cadernos de anotações e finalização com dez minutos para debates das ideias, dúvidas e opiniões registradas pelos (as) alunos (as).

Ao final, quando foi oferecido um tempo para que os (as) alunos (as) pudessem tirar dúvidas e emitir suas opiniões, o assunto foi mais aprofundado, havendo das informações trabalhadas com as já existentes na estrutura cognitiva deles (as).

A atividade subsequente desse momento seria, via projeto estabelecido, uma atividade com o livro didático. Novamente aqui houve mudança dos planos estabelecidos no projeto original, devido o professor deduzir que outra estratégia poderia ser executada com possíveis melhorias para o entendimento dos alunos com o tema, ou seja, eram mais adequadas, na opinião do professor.

Ao invés da atividade indicada no projeto original, que foi realocada para a última UD da SD, substituímos a mesma por uma reportagem do site “Inovação Tecnológica” sobre o LHC (Large Hádron Colider, ou “Grande Colisor de Hádrons”, em português), o maior acelerador de Partículas e também a maior máquina já construída no mundo e com o intuito de estudar o comportamento, a existência das Partículas Elementares e além. A reportagem encontra-se no endereço eletrônico <https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=brasileiros-vaio-ajudar-aligar-a-maquina-do-comeco-do-mundo>.

Junto à reportagem, utilizamos uma folha de sulfite com o timbre da escola e com um questionário para os alunos responderem. A avaliação através do questionário foi de caráter formativo, pois ocorreu durante a aplicação da atividade visando definir o que poderia ser melhorado em relação ao aprendizado dos (as) alunos (as).

Trabalhamos aqui a Diferenciação Progressiva do tipo combinatória, pois as informações, que os alunos tinham e que receberam, se equiparavam no grau de importância.

Esta atividade ocorreu sem contratempos, com os questionários sendo respondidos e o professor, concomitante à atividade, visitando e indagando os (as) alunos (as), procurando sanar possíveis dúvidas ou qualquer tipo de assimilação equivocada por parte dos (as) aprendizes.

Os cinquenta minutos estipulados para a execução da atividade foram utilizados da seguinte maneira: dez minutos para introdução e problematização do assunto, vinte minutos para os (as) estudantes lerem a reportagem e responderem os questionários e os dez minutos restantes para discussão em grupo com problematização criada pelo professor relativo ao tema.

A terceira UD (dia 14/11/2019 para os 3º C e D e dia 21/11/2019 - que repôs o dia 15/11/2019, feriado da Proclamação da República - para o 3º A) iniciou-se, após a chamada, uma aula dialógica com auxílio do quadro negro sobre os bárions e mésons, que são as classificações possíveis dos Hádrons.

Foi inserida a noção de que prótons e nêutrons são partículas compostas de outras partículas mais elementares, que são os quarks e os glúons.

Para essa circunstância utilizamos o subsunçor “estrutura atômica”, que seria uma informação mais abrangente já dominada pelo aluno (a), para subordinar outras ideias que foram incorporadas à estrutura cognitiva dele (a), que é a categoria dos Hádrons, subdivididos em Bárions (prótons e nêutrons) e Mésons.

Nesta etapa foi feito comentário da importante participação do físico brasileiro Cesare Mansueto Giulio Lattes, ou simplesmente Cesar Lattes (1924-2005), na detecção da Partícula Elementar composta “Méson Pi”, em 1947. É importante salientar que houve interesse por parte do alunado em querer saber mais informações sobre o cientista brasileiro (Cesar Lattes) comentado, o que suscitou uma aula mais proveitosa, pois comentários foram acrescidos e pesquisas biográficas conduzidas.

Dentro dessa atividade também foi adicionada a informação sobre as antipartículas, referente às cargas elétricas, que seriam simplesmente a carga elétrica contrária ao da Partícula Elementar em questão. Para partículas com carga elétrica positiva, sua antipartícula teria carga elétrica negativa e vice-versa.

No momento da aplicação, mais uma vez foi notada, entre o alunado, falta de engajamento e certa desmotivação, que procurou ser amenizada com uma aula mais dinâmica, procurando envolvê-los através de problematizações mais interessantes sobre o assunto.

Com o auxílio de um *slide* como o da figura 1.4, a primeira atividade culminou em uma explicação sobre os quarks, na condição de partículas que somente existem quando

confinadas em grupos, os Bárions (prótons e nêutrons, por exemplo) e Mésons (partículas de existência muito curta). Esta é a lei do confinamento.

Essas informações foram trabalhadas na estrutura cognitiva do alunado usando a Reconciliação Integrativa do tipo superordenada, pois os discentes já sabiam da existência dos prótons e nêutrons, porém, agora eles (as) deveriam associá-las com a nova informação de que essas partículas são compostas de partículas ainda mais elementares, os quarks, integrando essa nova condição com a antiga, ocorrendo a forma superordenada de inserção de informações.

Houve explicação sobre os Bósons (situados na lateral direita do quadro), explicamos a interação dos Glúons (partículas mediadoras) com os Quarks (partículas realmente elementares) para assim poderem constituir Prótons e Nêutrons (Partículas Elementares Compostas).

Por fim houve uma última explicação sobre as outras interações existentes (eletromagnética e fraca), culminando na gravitacional que ainda não foi detectada. Mais um cientista brasileiro foi citado nessa explicação, o do recifense José Leite Lopes (1918-2006), que previu, em 1958, a existência do bóson Z, partícula mediadora ausente de carga elétrica na interação fraca.

A última atividade desenvolveu um trabalho em grupo para a produção de uma paródia. Sabendo da dificuldade de se desenvolver uma paródia em poucos minutos, o professor adiantou na aula anterior que esta atividade seria aplicada e pediu para o alunado vir para a próxima aula com ao menos uma música escolhida e que pudesse ser parodiada com facilidade.

Como forma de motivar os (as) alunos (as) e promover uma aula diferenciada, um violão foi levado para a sala de aula e o professor, depois de explicar como seria conduzida a atividade, reproduziu uma canção anteriormente parodiada pelo próprio professor que se encontrava impressa em uma folha timbrada da escola acompanhando a atividade e que foi utilizada na mesma.

Uma paródia também foi visualizada pelos educandos através do site [www.tvcultura.com.br/particulas](http://www.tvcultura.com.br/particulas), para criar um ambiente mais descontraído possível e não um que pudesse gerar qualquer tipo de desconforto aos (as) alunos (as) em momento algum da atividade.

Foi interessante perceber que a presença de um instrumento musical despertou a curiosidade dos que nunca tiveram contato com nenhum instrumento, assim como transmitiu



mais segurança e gerou uma melhor participação aos que já tinham alguma experiência musical.



**Figura 1.5** – Alunos (as) produzindo suas próprias paródias. Fonte: Elaborado pelo autor.

Para essa etapa foram despendidos os cem minutos previstos: vinte minutos para explanação inicial do tema e mais vinte minutos para um debate interativo com os (as) alunos (as); dez minutos para a exposição do pôster com os comentários intercalados proporcionados pelo professor e cinquenta minutos para o desenvolvimento e apresentação das paródias. Todas as paródias foram devidamente documentadas e consideradas como avaliação formativa.

A quarta UD (dia 21/11/2019 para os 3º C e D e dia 22/11/2019 para o 3º A) iniciou-se, após a chamada, com uma aula dialógica com apoio do Livro Didático. Esta atividade substituiu a que consta no projeto original e estava proposta na segunda atividade do segundo momento. Ocorreu então que as atividades foram “troçadas de lugar” pelo Professor por este concluir que seria melhor para o alunado a assimilação dos conteúdos de cada atividade com os momentos trocados e então essa atitude foi tomada.

Com o livro já previamente selecionado, todos os (as) alunos (as) dispunham dos textos<sup>12</sup> os quais foram trabalhados em sala de aula.

Foi de suma importância o material estar devidamente selecionado e preparado para uso em sala de aula, corroborando com um dos dois preceitos da TAS: 1. Material adequado

---

<sup>12</sup> No caso desta SD, os livros (GUIMARÃES, 2016, p. 269 à 275) já estavam disponíveis na biblioteca da escola no ano letivo de 2019 porque foram oferecidos, selecionados pelo professor e enviados pelo Governo Estadual, no ano de 2018.

no momento correto; 2. Engajamento do (a) estudante. Assim, otimizamos a atividade proposta ao alunado, tanto em questão de tempo assim como na qualidade do ensino para com os (as) discentes.

Ficou evidenciado que a escolha do material didático foi relevante no sucesso da aplicação da atividade, pois o conteúdo do mesmo satisfazia a referência sobre o assunto e aos intentos do Professor para com as informações que os alunos deveriam receber.

Nessa atividade trabalhamos as três classes em que se divide o Modelo Padrão (MP) das Partículas Elementares (PE): as três gerações de quarks (1ª classe) e de léptons (2ª classe) e a 3ª classe, das partículas mediadoras.

A última atividade deste momento foi coletiva e premiou o fato de ser também recreativa e foi realizada na quadra poliesportiva. As turmas foram divididas em duas equipes e uma gincana foi proposta, na qual seria necessário o intercâmbio entre os (as) alunos (as) de cada time através de uma peteca para o cumprimento das tarefas solicitadas.

Eles (as), os (as) alunos (as), seriam os Férmions (quarks, por exemplo), “tijolos essenciais da matéria”, e a peteca seria o Bóson intermediador (glúons, por exemplo), e quando estivessem jogando a peteca entre eles (as), constituiriam uma Partícula composta (próton ou nêutron, por exemplo).

Sendo os membros de cada equipe nomeados com o nome de uma Partícula Elementar (quark *up* ou quark *down*, por exemplo), estes (as) deveriam formar outra Partícula (agora composta) quando o comando fosse dado pelo professor, juiz da gincana.

Esse comando poderia o de ser formado um Próton (dois quarks *up* e um quark *down*), um Nêutron (dois quarks *down* e um quark *up*) ou até mesmo um átomo de Hidrogênio, a qual seria a montagem mais elaborada e, logicamente, a mais difícil.

Ocorreu algo inusitado no desenvolvimento da atividade: quando pleiteada uma combinação a ser feita com os (as) alunos (as) jogando a peteca, foi percebida certa dificuldade para mantê-la “em jogo”, ou seja, devido ao vento - que ocorria na quadra no momento do desenvolvimento da atividade - e até ausência de prática ou intimidade dos (as) alunos (as) com a peteca, não conseguiam mantê-la no ar golpeando-a entre eles (as).

Devido a esse fato, foi reivindicado então que segurassem a peteca ao recebê-la do colega que a arremessou e, uma vez em mãos, fossem passadas para que o próximo integrante pudesse pegá-la, ao invés de golpeá-la. Esse revés não chegou a comprometer a atividade, pois o interesse maior, que seria diagnosticar se os (as) educandos apreenderam informações relativas às Partículas Elementares, foi alcançado quando o professor aferiu que, ao requisitar

um ou outro conjunto de Partículas, este foi prontamente atendido pelos (as) aprendizes com eficiência e exatidão.

Recomenda-se então, ao professor interessado em replicar esta SD, que substitua a peteca por uma bola de vôlei ou similar, ou disponha de petecas mais pesadas para a atividade, pois foi percebido que as petecas providenciadas para a atividade eram leves demais e por causa disso não agradaram ao intento.

Faltando quinze minutos para o término da aula os (as) alunos (as) foram redirecionados para a sala de aula e um questionário foi aplicado para eles (as) responderem. O questionário foi preparado para obtermos informações de cunho conceitual e atitudinal sobre a atividade que foi trabalhada; como reagiram os (as) alunos (as) ao saberem que a aula seria em outro local (por exemplo) e perguntas pertinentes às partículas mediadoras (bósons, por exemplo) também fizeram parte do corpo de perguntas.

Cinquenta minutos foram utilizados na atividade desenvolvida com o livro didático selecionado (GUIMARÃES, 2017): houve leitura de textos do livro didático, intercalados com aula expositiva e dialógica do professor, seguido de discussão do tema.

Os cinquenta minutos restantes foram utilizados na atividade praticada na quadra: dez minutos para informações preliminares do professor sobre a atividade para com os alunos, vinte e cinco minutos para o deslocamento dos (as) alunos (as) até a quadra e desenvolvimento da atividade com as petecas e os quinze minutos finais para reconduzi-los à sala de aula e aplicar o questionário.

A semana seguinte (28/11/2019 e 29/11/2019) foi de aplicação do SARESP (Sistema de Avaliação do Rendimento Escolar do Estado de São Paulo). O mesmo foi aplicado nos dias 27 e 28 de Novembro e a equipe gestora da escola resolveu não aplicar nenhum tipo de avaliação no dia 29 de Novembro. Sendo assim, na semana seguinte (dias 05/12/2019 com os 3º B e C e 06/12/2019 com o 3º A) ocorreram as avaliações de caráter somativo, que foram preparadas pelo Professor, aplicadas, corrigidas e estão adicionadas ao resultado final do estudo.

#### 4.4 LEVANTAMENTO E CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS

Os dados coletados através das atividades que foram desenvolvidas durante a SD estão compilados e relatados nesta subseção. De todas as atividades que foram trabalhadas (dentro das UD que foram estipuladas) utilizamos quatro delas que foram previamente contextualizadas para este uso e devem nos fornecer informações sobre o processo de

aprendizagem dos (as) alunos (as) em relação ao tema proposto, sendo três atividades prevendo avaliação de caráter formativo e uma última de caráter somativo.

De todo o alunado que participou da SD - um total de 120 (cento e vinte) alunos matriculados - houve a apuração de dados de 41 (quarenta e um) aprendizes, que estavam aptos para participar da apuração porque estavam regulamentados documentalmente (possuíam as assinaturas dos TCLEs e dos TALEs).

A primeira atividade relacionada foi a que serviu para diagnosticar o quanto o alunado continha de informações sobre o modelo atômico atual em sua estrutura cognitiva, sendo essas as informações que norteariam nossa avaliação: o modelo do átomo como sendo um núcleo composto de prótons e nêutrons envolto por uma nuvem de elétrons.

Havia 37 (trinta e sete) alunos (as) que estavam em conformidade com o Comitê de Ética a respeito da coleta de assinaturas dos termos de consentimento e assentimento e as respostas desses alunos nessas atividades foram classificadas em três categorias:

- 1 - Alunos (as) que possuíam pouca, nenhuma ou informações errôneas a respeito do tema;
- 2 - Alunos (as) que possuíam informação geral sobre o tema, porém correta;
- 3 - Alunos (as) que possuíam informações mais elaboradas ou completas sobre o tema.

Segue tabela indicando os dados apurados:

Número de alunos (as) (total de 37)	Saber dos alunos (as) (por categoria)
20 alunos	Categoria 1
16 alunos	Categoria 2
1 aluno	Categoria 3

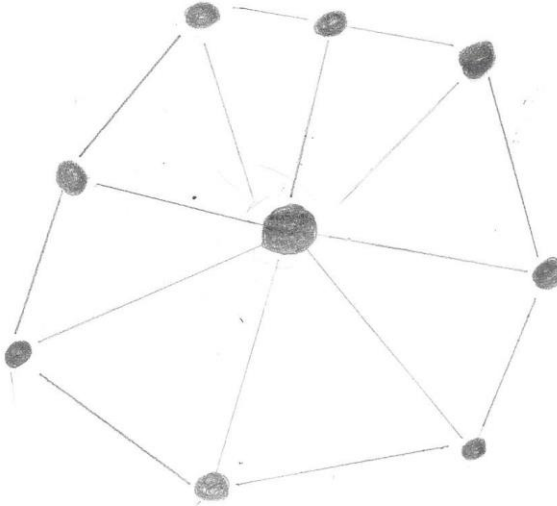
**Tabela 1.2** - Dados coletados da atividade diagnóstica. Fonte: autor.

Interessante atentar que em mais da metade dos dados - 20 (vinte) alunos (as) - é identificado nenhuma, pouca ou informações errôneas sobre o assunto proposto. É importante sabermos esta informação, para podermos nivelar a turma com a finalidade que todos comecem o estudo do tema com conhecimentos similares.

Segue abaixo três exemplos selecionados dos dados compilados que visam esclarecer de que modo foi feita a categorização (1, 2 e 3), estando essas mesmas apontadas no canto superior direito, onde se lê Obs.:

<b>Escola Estadual</b>		Obs.: <u>1</u>
<b>Atividade Diagnóstica</b>		
Data: <u>24</u> / <u>10</u> / 2019		
Aluno (a): _____	N.º <u>3</u> ª série de EM: <u>B</u>	
Disciplina: <b>FÍSICA</b>	Professor: <b>Oriando</b>	

Esta atividade é simples e rápida, porém pedimos seriedade e concentração de sua parte para realizá-la. A atividade está relacionada ao átomo, componente principal da matéria e que é constituído por outros elementos mais "primários". Conhecê-lo é importante para se apropriar de diversos conhecimentos da ciência e tecnologia atuais. Para isto solicitamos que você utilize todo o restante dessa folha, se necessário, para fazer a ilustração de um átomo, como você o imagina ou o que sabe sobre ele. Em seu desenho (ilustração), tente se recordar das aulas de Ciências do Ensino Fundamental, assim como das aulas de Química e Física do Ensino Médio que você já frequentou. Se você se lembrar de mais informações, pode também redigir um pequeno texto com tais informações adicionais.



O diagrama mostra um modelo atômico simplificado. No centro há um núcleo representado por um círculo escuro maior. Ao redor do núcleo, há uma única camada de elétrons, representada por um polígono irregular com nove vértices. Cada vértice contém um círculo escuro menor, representando um elétron. Linhas finas conectam o núcleo central a cada um dos nove elétrons, e também conectam os elétrons entre si para formar a borda da camada.

Figura 1.6 - Atividade diagnóstica incluída na categoria 1. Fonte: autor.

<b>Escola Estadual</b>		Obs.:  <b>2</b>
<i>Atividade Diagnóstica</i>		
Data: <u>01 / 11 / 2019</u>		
Aluno (a): _____	N.º <u>3</u> ª série do EM: <u>A</u>	
Disciplina: <b>FÍSICA</b>	Professor: <b>Oriando</b>	

Esta atividade é simples e rápida, porém pedimos seriedade e concentração de sua parte para realizá-la. A atividade está relacionada ao átomo, componente principal da matéria e que é constituído por outros elementos mais “primários”. Conhecê-lo é importante para se apropriar de diversos conhecimentos da ciência e tecnologia atuais. Para isto solicitamos que você utilize todo o restante dessa folha, se necessário, para fazer a ilustração de um átomo, como você o imagina ou o que sabe sobre ele. Em seu desenho (ilustração), tente se recordar das aulas de Ciências do Ensino Fundamental, assim como das aulas de Química e Física do Ensino Médio que você já frequentou. Se você se lembrar de mais informações, pode também redigir um pequeno texto com tais informações adicionais.

● NEÚTRON  
 ● PROTÓN  
 ○ ELÉTRON

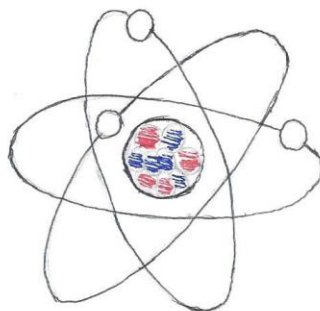


Figura 1.7 - Atividade diagnóstica incluída na categoria 2. Fonte: autor.

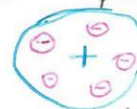
<b>Escola Estadual</b>		Obs.: <b>3</b>
<b>Atividade Diagnóstica</b>		
Data: <u>31/10/2019</u>		
Aluno (a): _____	N.º <u>3ª</u> série do EM: <u>3º C</u>	
Disciplina: <b>FÍSICA</b>	Professor: <b>Orlando</b>	

Esta atividade é simples e rápida, porém pedimos seriedade e concentração de sua parte para realizá-la. A atividade está relacionada ao átomo, componente principal da matéria e que é constituído por outros elementos mais "primários". Conhecê-lo é importante para se apropriar de diversos conhecimentos da ciência e tecnologia atuais. Para isto solicitamos que você utilize todo o restante dessa folha, se necessário, para fazer a ilustração de um átomo, como você o imagina ou o que sabe sobre ele. Em seu desenho (ilustração), tente se recordar das aulas de Ciências do Ensino Fundamental, assim como das aulas de Química e Física do Ensino Médio que você já frequentou. Se você se lembrar de mais informações, pode também redigir um pequeno texto com tais informações adicionais.

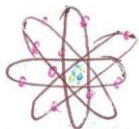
Modelo de Dalton  
"bola de bilhar"



Modelo de Thomson  
"pudim de passas"



Modelo de Rutherford



Modelo de Bohr



**Figura 1.8** - Atividade diagnóstica incluída na categoria 3. Fonte: autor.

A atividade seguinte foi categorizada compilando as paródias que os (as) alunos (as), que foram divididos em grupos, desenvolveram. Nove grupos, com um total de 18 (dezoito)

alunos (as) - com dois alunos em cada grupo - participaram para a constituição de dados e foram elencados nas seguintes categorias:

- 1 - Grupos de alunos (as) que não abordaram o assunto devidamente;
- 2 - Grupos de alunos (as) que abordaram o assunto devidamente;
- 3 – Grupos de alunos (as) que abordaram o assunto plenamente.

Segue tabela indicando os dados apurados:

Número de grupos (18 alunos, 9 grupos)	Abordagem dos grupos (por categoria)
1 grupo	Categoria 1
2 grupos	Categoria 2
6 grupos	Categoria 3

**Tabela 1.3** - Grupos participantes da atividade de produção de paródias. Fonte: autor.

Aqui a informação relevante foi perceber que houve envolvimento da maioria dos grupos com a atividade - uma estratégia de cunho musical - e assim produziram paródias com a abordagem devida ou plena sobre o assunto, sendo este um sinal positivo de engajamento.

Oferecemos abaixo os três exemplos que demonstram como foi articulada a maneira de classificar as atividades (categorias 1, 2 e 3), que podem ser observadas no canto superior direito das atividades, onde se lê Obs.:



**Escola Estadual**

**Atividade nº 3 (Partículas Elementares) - 4º Bimestre**

Obs.: 1  
Data: 14 / 11 / 2019

Alunos (as): \_\_\_\_\_ n°s: \_\_\_\_\_ 3ª série do EM: B

Disciplina: **Física** Professor: **Orlando**

Nesta atividade será proposto que seu grupo produza uma paródia com o Tema que estamos estudando, as Partículas Elementares e o Modelo Padrão que as representa. Seu grupo receberá as devidas orientações e instruções de seu Professor, assim como você assistirá a outras paródias referentes ao tema. Abaixo, uma paródia feita pelo Professor, para servir de exemplo e inspiração.

**Dias de Luta (Ira!)**

Só depois de muito tempo fui entender aquele homem  
 Eu queria ouvir muito mas ele me disse pouco  
 Só depois de muito tempo comecei a entender  
 Sobre os meus dias de glória, sobre os meus dias de luta

**REFRÃO**  
 Quando se sabe ouvir, não precisam muitas palavras  
 Quanto tempo eu levei, pra saber que nada sei, que nada sei ...

**Dias de Quark**

Só depois de muito tempo fui entender o professor  
 Pensava que prótons e nêutrons eram feitos de si só  
 Só depois eu aprendi que “esses caras” são os Hádrons  
 Formados por “quarks UP” e “quarks DOWN” na estrutura

**REFRÃO**  
 Foram Gell-Mann e Zweig, que escolheram chamá-los de “quarks”  
 Mas o elétron não o é, fui saber que é um Lépton, um simples Lépton ...

**ESCREVA AQUI SUA PARÓDIA**

Música escolhida (Intérprete e Nome da música): não quero dinheiro  
 Nome da Paródia escolhida pelo grupo: eu só quero dinheiro

Quero dinheiro  
Fiquei esperando  
pra me fazer ganhar  
pra me fazer gastar  
com o meu bolso cheio  
só penso em dinheiro  
só quero comprar  
quero comprar, quero comprar.

Figura 1.9 - Atividade de produção de paródias incluída na categoria 1. Fonte: autor.

**Escola Estadual**

Obs.: 2

**Atividade nº 3 (Partículas Elementares) - 4º Bimestre**

Data: 14 / 11 / 2019

Alunos (as): \_\_\_\_\_ n<sup>os</sup>: \_\_\_\_\_ 3ª série do EM: C

**Disciplina: Física** **Professor: Orlando**

Nesta atividade será proposto que seu grupo produza uma paródia com o Tema que estamos estudando, as Partículas Elementares e o Modelo Padrão que as representa. Seu grupo receberá as devidas orientações e instruções de seu Professor, assim como você assistirá a outras paródias referentes ao tema. Abaixo, uma paródia feita pelo Professor, para servir de exemplo e inspiração.

**Dias de Luta (Ira!)**

Só depois de muito tempo fui entender aquele homem  
 Eu queria ouvir muito mas ele me disse pouco  
 Só depois de muito tempo comecei a entender  
 Sobre os meus dias de glória, sobre os meus dias de luta

**REFRÃO**  
 Quando se sabe ouvir, não precisam muitas palavras  
 Quanto tempo eu levei, pra entender que nada sei, que nada sei ...

**Dias de Quark**

Só depois de muito tempo fui entender o professor  
 Pensava que prótons e nêutrons eram feitos de si só  
 Só depois eu aprendi que “esses caras” são os Hádrons  
 Formados por “quarks UP” e “quarks DOWN” na estrutura

**REFRÃO**  
 Foram Gell-Mann e Zweig, que escolheram chamá-los de “quarks”  
 Mas o elétron não o é, fui saber que é um Lépton, um simples Lépton ...

**ESCREVA AQUI SUA PARÓDIA**

**Música escolhida (Intérprete e Nome da música):** Por você - Bizaô Vermelho

**Nome da Paródia escolhida pelo grupo:** Além do limite

Por você,  
Eu mentaria um próton com quarks,  
Tera 2UP e um quarkdown  
É 2 quarkdown e um UP para formar um nêutron  
Vasaria na velocidade da luz  
Eu mentaria um átomo à mão  
Colaria Quarks nos Bósons

**Figura 1.10** - Atividade de produção de paródias incluída na categoria 2. Fonte: autor.

<b>Escola Estadual</b>		Obs.: <u>3</u>
<b>Atividade nº 3 (Partículas Elementares) - 4º Bimestre</b>		Data: <u>21</u> / 11 / 2019
Alunos (as): _____	nºs: _____	3ª série do EM: <u>A</u>
<b>Disciplina: Física</b>	<b>Professor: Orlando</b>	

Nesta atividade será proposto que seu grupo produza uma paródia com o Tema que estamos estudando, as Partículas Elementares e o Modelo Padrão que as representa. Seu grupo receberá as devidas orientações e instruções de seu Professor, assim como você assistirá a outras paródias referentes ao tema. Abaixo, uma paródia feita pelo Professor, para servir de exemplo e inspiração.

### Dias de Luta (Ira!)

Só depois de muito tempo fui entender aquele homem  
 Eu queria ouvir muito mas ele me disse pouco  
 Só depois de muito tempo comecei a entender  
 Sobre os meus dias de glória, sobre os meus dias de luta

#### REFRÃO

Quando se sabe ouvir, não precisam muitas palavras  
 Quanto tempo eu levei, pra saber que nada sei, que nada sei ...

### Dias de Quark

Só depois de muito tempo fui entender o professor  
 Pensava que prótons e nêutrons eram feitos de si só  
 Só depois eu aprendi que “esses caras” são os Hádrons  
 Formados por “quarks UP” e “quarks DOWN” na estrutura

#### REFRÃO

Foram Gell-Mann e Zweig, que escolheram chamá-los de “quarks”  
 Mas o elétron não o é, fui saber que é um Lépton, um simples Lépton ...

### ESCREVA AQUI SUA PARÓDIA

Música escolhida (Intérprete e Nome da música): Parabéns para Você  
 Nome da Paródia escolhida pelo grupo: Parabéns para os Átomos

Parabéns para os quarks,  
para formarem os nêutrons  
Também formam os prótons  
e os chamamos de Hádrons  
Os elétrons não têm  
nenhuma outra partícula  
se constituem de si só  
e por isso chamam de léptons  
E juntando todos nós,  
formamos o átomo

Figura 1.11 - Atividade de produção de paródias incluída na categoria 3. Fonte: autor.

Para a próxima atividade, duas questões foram feitas sobre a analogia com as partículas mediadoras e petecas e contamos com a participação individual de 22 alunos (as) e os dados foram classificados da seguinte maneira:

- 1 - Alunos (as) que ofereceram respostas insatisfatórias em relação ao tema;
- 2 - Alunos (as) que ofereceram respostas satisfatórias em relação ao tema;
- 3 - Alunos (as) que ofereceram respostas plenamente satisfatórias em relação ao tema.

Segue tabela indicando os dados apurados:

Número de participantes (total de 22)	Respostas dos alunos (as) (por categoria)
7 alunos	Categoria 1
11 alunos	Categoria 2
4 alunos	Categoria 3

**Tabela 1.4** - Grupos participantes da atividade com questões formativas. Fonte: autor.

Aqui foi apontado que a maioria dos (as) alunos (as), 15 (quinze), que participaram da atividade ofereceram respostas satisfatórias ou plenamente satisfatórias em relação ao tema proposto; porém quando observamos que houve um número considerável de alunos (as) que ofereceram respostas insatisfatórias devemos retomar o assunto com tais aprendizes - de preferência com novas estratégias didáticas - visando que os mesmos se apropriem do tema trabalhado.

Três exemplos estão abaixo elencados para mostrar como houve a classificação das atividades em suas respectivas categorias (1, 2 e 3), estando as mesmas localizadas no canto superior direito dos exemplos, onde se lê Obs,:

<b>Escola Estadual</b>		Obs.: <u>1</u>
<b>Atividade nº 4 – Partículas Elementares - 4º Bimestre</b>		Data: <u>21 / 11 / 2019</u>
Aluno (a): _____	N.º <u>3ª</u> série do EM: <u>3º B</u>	
Disciplina: <b>Física</b>	Professor: <b>Orlando</b>	

Depois da atividade coletiva na quadra poliesportiva, pedimos para que você responda o questionário abaixo (para qualquer questão, se não houver espaço suficiente, responder atrás):

1-) Qual foi sua primeira impressão quando o Professor informou que parte da aula seria realizada na quadra poliesportiva? Você aprovou a iniciativa? Por quê?

Resposta: Foi de muito porque geralmente não vamos pra quadra na aula de educação física. Aprovei porque foi uma aula diferente onde se aprende se divertindo.

2-) A respeito da atividade que foi desenvolvida, o que você achou dela? Houve envolvimento seu e de outros alunos (as) na atividade? De seu ponto de vista, o Professor promover um ambiente de gincana na atividade o (a) motivou de alguma maneira?

Resposta: Achei muito legal. Houve no começo não tinhamos muito depois pegamos a prática. Motivou sim.

3-) Ocorreu uma analogia (comparação) na atividade desenvolvida para com o tema que estamos estudando atualmente; você poderia dizer qual foi essa analogia? De qual assunto então, tratou-se a atividade na quadra? Você percebeu se aprendeu algo? Se sim, o quê? Se não, por quê?

Resposta: Foi uma comparação com Nêutrons e Prótons. Se tratou de nêutrons e do prótons. Aprendi sobre o nêutrons o que liga e como que é formado e o prótons a mesma coisa.

4-) Por fim, descreva abaixo qual foi seu entendimento sobre o tema que foi tratado nas últimas aulas de Física; por que é importante seu estudo e como são feitas suas observações, desde as máquinas utilizadas para esse fim até o modelo adotado para tentar compreendê-lo. Se necessário, novamente, utilize o verso da folha.

Resposta: O estudo das partículas elementares é importante para desenvolvimento tecnológico.

**Figura 1.12** - Atividade de caráter formativo incluída na categoria 1. Fonte: autor.

<b>Escola Estadual</b>		Obs.: <u>2</u>
<b>Atividade nº 4 – Partículas Elementares - 4º Bimestre</b>		Data: <u>21/11/2019</u>
Aluno (a): _____	N.º <u>3ª</u> série do EM:	<u>308</u>
Disciplina: <b>Física</b>	Professor: <b>Orlando</b>	

Depois da atividade coletiva na quadra poliesportiva, pedimos para que você responda o questionário abaixo (para qualquer questão, se não houver espaço suficiente, responder atrás):

1-) Qual foi sua primeira impressão quando o Professor informou que parte da aula seria realizada na quadra poliesportiva? Você aprovou a iniciativa? Por quê?

Resposta: achei legal, sim porque é uma forma diferente de aula que acho sendo de fácil entendimento

2-) A respeito da atividade que foi desenvolvida, o que você achou dela? Houve envolvimento seu e de outros alunos (as) na atividade? De seu ponto de vista, o Professor promover um ambiente de gincana na atividade o (a) motivou de alguma maneira?

Resposta: interessante, sim, motivou por ser uma atividade diferente

3-) Ocorreu uma analogia (comparação) na atividade desenvolvida para com o tema que estamos estudando atualmente; você poderia dizer qual foi essa analogia? De qual assunto então, tratou-se a atividade na quadra? Você percebeu se aprendeu algo? Se sim, o quê? Se não, por quê?

Resposta: a peteca como o Gluon ligando as partículas elementares

4-) Por fim, descreva abaixo qual foi seu entendimento sobre o tema que foi tratado nas últimas aulas de Física; por que é importante seu estudo e como são feitas suas observações, desde as máquinas utilizadas para esse fim até o modelo adotado para tentar compreendê-lo. Se necessário, novamente, utilize o verso da folha.

Resposta: É importante para o desenvolvimento de novos recursos tecnológicos

**Figura 1.13.** Atividade de caráter formativo incluída na categoria 2. Fonte: autor.

<b>Escola Estadual</b>		Obs.: <u>3</u>
<b>Atividade nº 4 – Partículas Elementares - 4º Bimestre</b>		Data: <u>24</u> / <u>11</u> / 2019
Aluno (a): _____	N.º _____	3ª série do EM: <u>C</u>
Disciplina: <b>Física</b>	Professor: <b>Orlando</b>	

Depois da atividade coletiva na quadra poliesportiva, pedimos para que você responda o questionário abaixo (para qualquer questão, se não houver espaço suficiente, responder atrás):

1-) Qual foi sua primeira impressão quando o Professor informou que parte da aula seria realizada na quadra poliesportiva? Você aprovou a iniciativa? Por quê?

Resposta: Aprovei, pois foi uma aula diferenciada

2-) A respeito da atividade que foi desenvolvida, o que você achou dela? Houve envolvimento seu e de outros alunos (as) na atividade? De seu ponto de vista, o Professor promover um ambiente de gincana na atividade o (a) motivou de alguma maneira?

Resposta: Foi divertido, a maioria participou e sim motivou pois foi algo diferente.

3-) Ocorreu uma analogia (comparação) na atividade desenvolvida para com o tema que estamos estudando atualmente; você poderia dizer qual foi essa analogia? De qual assunto então, tratou-se a atividade na quadra? Você percebeu se aprendeu algo? Se sim, o quê? Se não, por quê?

Resposta: Sim, comparamos a partícula com o glúon e os elétrons e quark. Aprendi como funcionam os Prótons e os Nêutrons.

4-) Por fim, descreva abaixo qual foi seu entendimento sobre o tema que foi tratado nas últimas aulas de Física; por que é importante seu estudo e como são feitas suas observações, desde as máquinas utilizadas para esse fim até o modelo adotado para tentar compreendê-lo. Se necessário, novamente, utilize o verso da folha.

Resposta: Aprendemos sobre os aceleradores de partículas, através do LHC. Esses estudos são importantes para os desenvolvimentos de novas tecnologias.

**Figura 1.14.** Atividade de caráter formativo incluída na categoria 3. Fonte: autor.

A última atividade era de caráter somativo, então foi desenvolvida como uma avaliação contendo 10 (dez) questões mistas entre alternativas e discursivas, com valor máximo de 10 (dez) pontos. A avaliação foi corrigida e obtivemos os seguintes dados,

compilados de um universo de 40 (quarenta) alunos (as) que participaram da avaliação, usando-se as seguintes classificações:

- 1 - Alunos (as) que obtiveram nota  $x < 5$  (menor que cinco);
- 2 - Alunos (as) que obtiveram nota com valores entre  $5 \leq x \leq 7,5$ ;
- 3 - Alunos (as) que obtiveram nota com valores  $x > 7,5$ .

Segue tabela indicando os dados apurados:

Número de alunos (as) - total de 40	Notas obtidas (por categoria, $x =$ nota)
1 aluno	Categoria 1 $\rightarrow x < 5$
28 alunos	Categoria 2 $\rightarrow 5 \leq x \leq 7,5$
11 alunos	Categoria 3 $\rightarrow x > 7,5$

**Tabela 1.5.** Alunos (as) participantes da atividade com questões somativas. Fonte: autor.

Houve maioria esmagadora de 39 (trinta e nove) alunos (as) que superaram a nota 5 (cinco), indicada como nota mínima para reconhecermos que houve algum tipo de assimilação de informação por parte do (a) aluno (a).

A conclusão que tivemos foi de que houve modificação na estrutura cognitiva do aluno quando as atividades foram desenvolvidas junto deles (as), evidenciado pelas respostas obtidas através dos dados apurados. A ideia é, então, promover uma aula que contemple materiais didáticos que sejam adequados ao ensino que for desejado e, principalmente, a aula seja aquela que suscite o aluno, procurando sempre o seu engajamento com a proposta que será trabalhada.

Abaixo seguem três exemplos que foram retirados do total das avaliações que exemplificam como foi executada a categorização das mesmas, com suas respectivas notas:



<b>Escola Estadual</b>		Nota: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4,0</span>
Avaliação - 4º Bimestre		Data: 6 / 12 / 2019
Aluno (a): _____	nº _____	3ª série do EM: 4
Disciplina: <u>Física</u>	Professor (a): <u>Física</u>	Valor: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">zero à 10,0</span>

1-) A Física de Partículas é uma área da Física.

- a) que estuda os diferentes tipos de ligações e reações químicas.
- b) responsável pelo estudo das partículas elementares e da interação entre radiação e matéria.
- c) responsável por explicar reações nucleares.
- d) destinada a formular teorias capazes de unificar a força gravitacional com outras forças da natureza.
- e) que explica, exclusivamente por meio da Física Clássica, as interações entre átomos e moléculas.

2-) A palavra "átomo" significa 'o que não pode ser dividido'. Explique por que nos dias atuais essa visão indivisível não é mais correta.

porque

3-) Os *quarks* são partículas que, quando ligadas em trios, formam partículas como prótons e nêutrons. Em relação aos *quarks*, assinale a alternativa correta:

- a) São partículas que não têm massa e, por isso, recebem o nome de bósons.
- b) São partículas não elementares, pois apresentam estruturas internas feitas de partículas ainda menores.
- c) São partículas elementares de carga elétrica parcial menor que a carga elementar.
- d) São responsáveis pelo surgimento da força de atração, que mantém os núcleos atômicos estáveis.
- e) São destruídos nas reações nucleares para a obtenção de energia nuclear.

4-) Faça uma comparação entre os modelos atômicos propostos por J. J. Thomson e Ernest Rutherford e responda: o que eles têm em comum? Quais as diferenças entre eles?

5-) São, **exclusivamente**, partículas elementares:

- a) Elétrons e *quarks*
- b) Prótons, nêutrons e neutrinos
- c) Átomos, prótons e nêutrons
- d) Elétrons, prótons e neutrinos
- e) Múons, píons e nêutrons

6-) Enrico Fermi foi um importante físico que alavancou as pesquisas na área da Física Nuclear. Entre suas descobertas, podemos ressaltar:

- a) A descoberta do núcleo do átomo.
- b) A determinação da carga dos elétrons.
- c) A descoberta dos neutrinos.
- d) O modelo atômico planetário
- e) A quantização de energia dos átomos.

7-) O tempo é considerado a quarta dimensão, ao lado das coordenadas de localização espacial: abscissa, ordenada e altura. Além dessas quatro, há outras dimensões na natureza?

8-) Em 1909, o físico norte-americano Robert A. Millikan (1868-1953), Prêmio Nobel de Física de 1923, idealizou um experimento e determinou o valor numérico de qual grandeza física e qual ligação esta tem com as Partículas Elementares?

$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$   
carga elétrica  
elementar

9-) O átomo é a menor partícula que identifica um elemento químico. Ele possui duas partes, a saber: uma delas é o núcleo, constituído por prótons e nêutrons, e a outra é a região externa – a eletrosfera-, por onde circulam os elétrons. Alguns experimentos permitiram a descoberta das características das partículas constituintes do átomo.

Em relação a essas características, indique a alternativa correta.

- a) prótons e elétrons possuem massas iguais e cargas elétricas de sinais opostos.
- b) entre as partículas atômicas, os elétrons têm maior massa e ocupam maior volume no átomo.
- c) entre as partículas atômicas, os prótons e os nêutrons têm maior massa e ocupam maior volume no átomo.
- d) entre as partículas atômicas, os prótons e os nêutrons têm mais massa, mas ocupam um volume muito pequeno em relação ao volume total do átomo.

10-) Determine quais são as quatro forças fundamentais da Natureza que se expressam no Modelo Padrão como partículas mediadoras?

força gravitacional  
força eletromagnética

Figura 1.15. Atividade de caráter somativo incluída na categoria 1. Fonte: autor.

<b>Escola Estadual</b>		Nota: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">5,0</span>
Avaliação - 4º Bimestre		Data: 05/12/2019
Aluno (a): _____	nº _____	3ª série do EM: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">B</span>
Disciplina: <u>Física</u>	Professor (a): <u>Física</u>	Valor: <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">zero à 10,0</span>

1-) A Física de Partículas é uma área da Física:

- a) que estuda os diferentes tipos de ligações e reações químicas.
- b) responsável pelo estudo das partículas elementares e da interação entre radiação e matéria.
- c) responsável por explicar reações nucleares.
- d) destinada a formular teorias capazes de unificar a força gravitacional com outras forças da natureza.
- e) que explica, exclusivamente por meio da Física Clássica, as interações entre átomos e moléculas.

2-) A palavra "átomo" significa 'o que não pode ser dividido'. Explique por que nos dias atuais essa visão indivisível não é mais correta.

*devido a descoberta de reações como o fissão e fusão nuclear. Permite assim o quebra de um átomo seu núcleo e junção de dois em um só.*

3-) Os *quarks* são partículas que, quando ligadas em trios, formam partículas como prótons e nêutrons. Em relação aos *quarks*, assinale a alternativa correta:

- a) São partículas que não têm massa e, por isso, recebem o nome de bósons.
- b) São partículas não elementares, pois apresentam estruturas internas feitas de partículas ainda menores.
- c) São partículas elementares de carga elétrica parcial menor que a carga elementar.
- d) São responsáveis pelo surgimento da força de atração, que mantém os núcleos atômicos estáveis.
- e) São destruídos nas reações nucleares para a obtenção de energia nuclear.

4-) Faça uma comparação entre os modelos atômicos propostos por J. J. Thomson e Ernest Rutherford e responda: o que eles têm em comum? Quais as diferenças entre eles?

*O átomo e o pudim e as amêijoas seria os elétrons e no Rutherford seria o sol o núcleo e os planetas orbitando por eles*

5-) São, **exclusivamente**, partículas elementares:

- a) Elétrons e *quarks*
- b) Prótons, nêutrons e neutrinos
- c) Átomos, prótons e nêutrons
- d) Elétrons, prótons e neutrinos
- e) Múons, píons e nêutrons

6-) Enrico Fermi foi um importante físico que alavancou as pesquisas na área da Física Nuclear. Entre suas descobertas, podemos ressaltar:

- a) A descoberta do núcleo do átomo.
- b) A determinação da carga dos elétrons.
- c) A descoberta dos neutrinos.
- d) O modelo atômico planetário
- e) A quantização de energia dos átomos.

7-) O tempo é considerado a quarta dimensão, ao lado das coordenadas de localização espacial: abscissa, ordenada e altura. Além dessas quatro, há outras dimensões na natureza?

Sinceramente eu acho que existe sim umas outras dimensões basta somente estudar e conhecer aquilo que você vai observar.

8-) Em 1909, o físico norte-americano Robert A. Millikan (1868-1953), Prêmio Nobel de Física de 1923, idealizou um experimento e determinou o valor numérico de qual grandeza física e qual ligação esta tem com as Partículas Elementares?

O prêmio Nobel com a fórmula

9-) O átomo é a menor partícula que identifica um elemento químico. Ele possui duas partes, a saber: uma delas é o núcleo, constituído por prótons e nêutrons, e a outra é a região externa – a eletrosfera-, por onde circulam os elétrons. Alguns experimentos permitiram a descoberta das características das partículas constituintes do átomo.

Em relação a essas características, indique a alternativa correta.

- a) prótons e elétrons possuem massas iguais e cargas elétricas de sinais opostos.  
 b) entre as partículas atômicas, os elétrons têm maior massa e ocupam maior volume no átomo.  
 c) entre as partículas atômicas, os prótons e os nêutrons têm maior massa e ocupam maior volume no átomo.  
 d) entre as partículas atômicas, os prótons e os nêutrons têm mais massa, mas ocupam um volume muito pequeno em relação ao volume total do átomo.

10-) Determine quais são as quatro forças fundamentais da Natureza que se expressam no Modelo Padrão como partículas mediadoras?

força gravitacional  
 força eletromagnética  
 força nuclear forte  
 força nuclear fraca

Figura 1.16. Atividade de caráter somativo incluída na categoria 2. Fonte: autor.

<b>Escola Estadual</b>		Nota: <u>8,5</u>
Avaliação - 4º Bimestre		Data: <u>05 / 12 / 2019</u>
Aluno (a): _____	nº _____	3ª série do EM: <u>C</u>
Disciplina: <u>Física</u>	Professor (a): <u>Arlando</u>	Valor: zero à 10,0

1-) A Física de Partículas é uma área da Física:

- a) que estuda os diferentes tipos de ligações e reações químicas.
- b) responsável pelo estudo das partículas elementares e da interação entre radiação e matéria.
- c) responsável por explicar reações nucleares.
- d) destinada a formular teorias capazes de unificar a força gravitacional com outras forças da natureza.
- e) que explica, exclusivamente por meio da Física Clássica, as interações entre átomos e moléculas.

2-) A palavra "átomo" significa "o que não pode ser dividido". Explique por que nos dias atuais essa visão indivisível não é mais correta.

devido a descoberta de reações como o fusão e fissão nuclear. Permite unir o conceito de um átomo ao entao a junção de dois em um só.

3-) Os *quarks* são partículas que, quando ligadas em trios, formam partículas como prótons e nêutrons. Em relação aos *quarks*, assinale a alternativa correta:

- a) São partículas que não têm massa e, por isso, recebem o nome de bósons.
- b) São partículas não elementares, pois apresentam estruturas internas feitas de partículas ainda menores.
- c) São partículas elementares de carga elétrica parcial menor que a carga elementar.
- d) São responsáveis pelo surgimento da força de atração, que mantém os núcleos atômicos estáveis.
- e) São destruídos nas reações nucleares para a obtenção de energia nuclear.

4-) Faça uma comparação entre os modelos atômicos propostos por J. J. Thomson e Ernest Rutherford e responda: o que eles têm em comum? Quais as diferenças entre eles?

O modelo de Dalton o átomo pode ser visto como um bolão maciço e indivisível. Já Thompson é aquele em que temos a inclusão de elétrons no mesmo. E Rutherford é aquele em que há um núcleo positivo e

5-) São, **exclusivamente**, partículas elementares:

- a) Elétrons e *quarks*
- b) Prótons, nêutrons e neutrinos
- c) Átomos, prótons e nêutrons
- d) Elétrons, prótons e neutrinos
- e) Múons, píons e nêutrons

6-) Enrico Fermi foi um importante físico que alavancou as pesquisas na área da Física Nuclear. Entre suas descobertas, podemos ressaltar:

- a) A descoberta do núcleo do átomo.
- b) A determinação da carga dos elétrons.
- c) A descoberta dos neutrinos.
- d) O modelo atômico planetário
- e) A quantização de energia dos átomos.

7-) O tempo é considerado a quarta dimensão, ao lado das coordenadas de localização espacial: abscissa, ordenada e altura. Além dessas quatro, há outras dimensões na natureza?

Pode existir para o universo e é infinito e pode existir várias dimensões na natureza.

8-) Em 1909, o físico norte-americano Robert A. Millikan (1868-1953), Prêmio Nobel de Física de 1923, idealizou um experimento e determinou o valor numérico de qual grandeza física e qual ligação esta tem com as Partículas Elementares?

$e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$  é uma fórmula importante para calcular a carga elementar, unidade de corrente etc.

9-) O átomo é a menor partícula que identifica um elemento químico. Ele possui duas partes, a saber: uma delas é o núcleo, constituído por prótons e nêutrons, e a outra é a região externa – a eletrosfera-, por onde circulam os elétrons. Alguns experimentos permitiram a descoberta das características das partículas constituintes do átomo.

Em relação a essas características, indique a alternativa correta.

- a) prótons e elétrons possuem massas iguais e cargas elétricas de sinais opostos.
- b) entre as partículas atômicas, os elétrons têm maior massa e ocupam maior volume no átomo.
- c) entre as partículas atômicas, os prótons e os nêutrons têm maior massa e ocupam maior volume no átomo.
- entre as partículas atômicas, os prótons e os nêutrons têm mais massa, mas ocupam um volume muito pequeno em relação ao volume total do átomo.

10-) Determine quais são as quatro forças fundamentais da Natureza que se expressam no Modelo Padrão como partículas mediadoras?

Força Gravitacional  
 Força Eletromagnética  
 Força Nuclear forte  
 Força Nuclear fraca

Figura 1.17. Atividade de caráter somativo incluída na categoria 3. Fonte: autor.

# Capítulo 5

## CONCLUSÕES E IMPRESSÕES

---

Concluimos que, durante a aplicação da pesquisa e sua consequente averiguação de aprendizagem, foi permitido analisar, de forma qualitativa, a efetiva contribuição que uma SD, embasada na TAS, pode oferecer para o ensino em sala de aula.

O desenvolvimento metodológico, contextual e epistemológico que a SD proporcionou possibilitou um melhor resultado na busca de nosso objetivo: colher informações sobre o ensino das PE e averiguar o quanto as estruturas cognitivas desses (as) alunos (as) modificaram-se sobre este aspecto.

Sugerimos ao professor que se interessar em reproduzir nossa SD, a necessidade de moldá-la à sua realidade; que avalie minuciosamente as novas atividades pedagógicas com as quais irá trabalhar em sala de aula, pois acreditamos que esta é uma parte importante para o sucesso de sua aplicação.

É sugerido porque, deduzindo com clareza quem é seu público-alvo (perspectivas socioeconômicas, a exemplo), obtemos melhores condições de optar por uma atividade mais propícia para este alunado e, consequente, para as próprias condições de aprendizagem.

Mensurar o tempo às novas atividades definidas no contexto da grade curricular em relação à quantidade de aulas disponíveis também é recomendado, para um melhor rendimento da aula.

Certamente, as duas maiores impressões observadas nos momentos de aplicação da SD foram: a desatenção e desmotivação por parte de alguns educandos - objeto que carece de pesquisa, ao menos no que tange a escola pública - e a incessante e intrínseca necessidade de mudança, sempre peculiar à profissão de educador (a).

Sobre a primeira dificuldade: quando questionados (as) sobre a causa de suas distrações, tais alunos (as) argumentaram estarem pensando em outras coisas ou simplesmente não se interessaram pelo tema.

O desinteresse, em situações de aprendizado - em especial pelo que não os (as) agrada instantaneamente -, é típico da idade pela qual eles (as) atravessam. Porém é uma circunstância a ser entendida e contornada.

Esta situação incitou uma questão: devemos nos preocupar mais em alertar nossos (as) alunos (as) sobre a importância de se construir um futuro promissor a partir de um presente comprometido com os estudos e, quando não alcançamos tal objetivo, foi porque fizemos isso com déficit ou erroneamente? Essa pergunta abre portas para (futuros) estudos no campo da psicologia da educação, por exemplo.

O fato de estimular o (a) aluno (a) a refletir sobre seu futuro a partir do ato de estudar deve sempre ser contemplado. Para isso, é missão do educador perceber onde este consiga interceder em sua prática: decidir uma mudança de estratégia ou a forma de abordagem, por exemplo, com o intuito de que haja maior completude possível no ato de ensinar.

Temos auxílio de várias teorias para o exercício da motivação em sala de aula, aqui apresentamos uma:

A teoria da motivação é bastante relevante para professores, cuja função primordial é mudar a motivação e o comportamento dos estudantes (lembrando que a aprendizagem é definida como mudanças relativamente permanentes no comportamento). É importante que os professores saibam alguma coisa sobre necessidades individuais e objetivos dos estudantes, sobre os efeitos da dissonância cognitiva, sobre o papel da ativação na aprendizagem e no comportamento, e sobre os fatores cognitivos envolvidos nas tomadas de decisão (LEFRANÇOIS, 2017, p.359).

O intuito é evitar a desmotivação do (a) aprendiz, pois assim decorre que não haverá aprendizagem significativa alguma, pois são premissas - aqui já visitadas - para obtenção de sucesso quando da aplicação da Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS): seleção de material didático potencialmente significativo, por parte do professor e disposição para aprender, por parte do (a) aluno (a), ambas trabalhadas de maneira não arbitrária e não literal.

Sobre a segunda dificuldade: existe a inevitabilidade intrínseca da constante transformação que o trabalho docente exige, voltada para as novas metodologias, conceitos, tecnologias e valores que mudam constantemente no mundo contemporâneo e, conseqüentemente, no ambiente escolar. Não devemos parar no tempo, favorecendo a ultrapassada educação tradicional, como preconiza Moreira:

A educação [...] continua a promover vários dos conceitos [...] fora de foco. Ainda se ensinam “verdades”, respostas “certas”, entidades isoladas, causas simples e identificáveis, estados e “coisas” fixos, diferenças somente



dicotômicas. E ainda se “transmite” o conhecimento, desestimulando o questionamento. O discurso educacional pode ser outro, mas a prática educativa continua a não fomentar o “aprender a aprender” que permitirá à pessoa lidar frutiferamente com a mudança, e sobreviver (MOREIRA, 2017, p. 224).

Para finalizar esta dissertação, ofereço uma última reflexão: de que a mudança na prática do professor é inevitavelmente factual; é incumbência do educador buscá-la, entendê-la e promovê-la, visando restringir equívocos do passado e integrar-se com o novo. É um comprometimento individual e constante que certamente privilegiará sua prática em um contexto pedagógico futuro.

Tais ponderações estão no cerne de tudo o que envolve prover de sucesso a digna profissão de professorar.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

---

ABDALLA, M. C. B. O discreto charme das partículas elementares. São Paulo: Editora UNESP, 2006.

ABDALLA, M. C. B. Sobre o Discreto Charme das Partículas Elementares. Revista Física na Escola, v. 6, n. 1, p. 38-44, 2005.

ARRUDA, S. M. e VILLANI, A. Sobre as Origens da Relatividade Especial: Relações entre Quanta e Relatividade em 1905. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 13, n.1, p.32-44, 1996.

AUSUBEL, D. P. Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma perspectiva Cognitiva. Tradução: Lígia Teopisto. Lisboa: Editora Plátano, 2003. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=000156&pid=S1519-7077201100030000700008&lng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000156&pid=S1519-7077201100030000700008&lng=pt)>. Acesso em: 11/06/2020.

AUSUBEL, D. P., NOVAK, J. D. e HANESIAN, H. Educational psychology: a cognitive view. 2ª ed. New York: Editora Holt, Rinehart and Winston, 1978.

BACHELARD, G. O Novo Espírito Científico. Rio de Janeiro: Editora Tempo Brasileiro, 1968.

BACHELARD, G. A filosofia do não. Lisboa: Editora Presença, 1991.

BARANSKI, A. The Atomic Mass Unit, the Avogadro Constant, and the Mole: A Way to Understanding. Journal of Chemical Education, v. 89, n. 1, p. 97-102, 2012.

BISCUOLA, G. J., BÔAS, N. V. e DOCA, R. H. Física 3. 2ª ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2013.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC). Lei nº 9.394/1996, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Diário Oficial da União. Brasília, DF, v. 134, n. 248, 23 dez. 1996. Seção 1, p. 27834-27841.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, Brasília: MEC/Semtec, 1996.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio, Brasília: MEC/Semtec, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). PCN Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/Semtec, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). Orientações Curriculares para o Ensino Médio. Brasília: MEC/SEB, 2006.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). Base Nacional Comum Curricular. Brasília: MEC/SEB, 2018.

CARUSO, F. e OGURI, V. A eterna busca do indivisível: do átomo filosófico aos quarks e léptons. Revista Química Nova, v. 20, n. 3, p. 324-334, São Paulo, 1997.

CARVALHO, A. M. P. A pesquisa em sala de aula e a formação de professores. In: NARDI (Org.). A pesquisa em Ensino de Ciências no Brasil: alguns recortes. São Paulo: Editora Escrituras, p. 193-218, 2007.

CAVALCANTE, M. A. e TAVOLARO, C. R. C. Uma oficina de física moderna que vise a sua inserção no ensino médio. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 18, n. 3, p. 297-315, 2001.

CREASE, R. P. Os dez mais belos experimentos científicos. Rio de Janeiro: Editora Zahar, 2006.

D'AGOSTIN, A. Física Moderna e Contemporânea: com a palavra professores do ensino médio. 112 f. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

DE JESUS, R. T. e GOMES DE AMORIM, R. G. A Proposta de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para Ensinar Física de Partículas por meio de Jogos de Cartas. Revista do Professor de Física, v. 3, n. 1, p. 47-84, 2019.

EINSTEIN, A. e INFELD, L. A Evolução da Física. Tradução: Giasone Rebuá. Rio de Janeiro: Editora Zahar, 2008.

EISBERG, R. e RESNICK, R. Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 1979.

FAUTH, A. C., GROVER, A. C. e CONSALTER, D. M. Medida da vida média do múon. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 32, n. 4, São Paulo Oct/Dec., p. 4502 (1-7), 2010.

FEYNMAN, R. P. Física em 12 Lições: fáceis e não tão fáceis. Tradução: Ivo Korytowski. Rio de Janeiro: Editora Ediouro, 2005.

FREIRE, P. Pedagogia do oprimido. Rio de Janeiro: Editora Paz e Terra, 2001.

GOMES, R. R. O Modelo Padrão no Ensino Médio: um Tratamento Elementar. 152 p. Dissertação (Mestrado Profissional Nacional em Ensino de Física) - Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba, 2017.

GRIFFITHS, D. J. Eletrodinâmica. 3ª ed. Tradução: Heloisa Coimbra de Souza. São Paulo: Editora Pearson Education, 2011.

GUIMARÃES, O., PIQUEIRA, J. R. e CARRON, W. Física 3. São Paulo: Editora Ática, 2014.

HALLIDAY, D., RESNIK, R. e KRANE, K. S. Física 3. 5ª ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2004.

HEWITT, P. G. Física Conceitual. 9ª ed. Tradução: Trieste Freire Ricci e Maria Helena Ravina. Porto Alegre: Editora Bookman, 2002.

INOCÊNCIO, D. e CAVALCANTI, C. M. C. O trabalho em grupo como metodologia de ensino em cursos e disciplinas on-line. In: Congresso ABED. 2005.

JERZEWSKI, V. B. Partículas Elementares e Interações: uma proposta de mergulho no ensino e aprendizagem através de uma sequência didática interativa. 108 p. Dissertação (Mestrado Profissional Nacional em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio Grande, 2015.

KAWAMURA, M. R. D. e HOSOUME, Y. A contribuição da Física para um novo Ensino Médio. Revista Física na Escola, v. 4, n. 2, p. 22-27, 2003.

KUHN. T. S. A estrutura das revoluções científicas. 8ª ed. São Paulo: Editora Perspectiva, 2003.

LEÃO, M. F., DUTRA, M. M. e ALVES, A. C. T. Estratégias didáticas voltadas para o ensino de ciências: experiências pedagógicas na formação inicial de professores. Uberlândia-MG: Edibrás, 2018.

LEFRANÇOIS, G. R. Teorias da aprendizagem: o que o professor disse. 2ª ed. bras. Tradução: Solange Aparecida Visconte. São Paulo: Editora Cengage, 2017.

LIMA, D. F. A Importância da Sequência Didática como Metodologia no Ensino da Disciplina de Física Moderna no Ensino Médio. *Revista Triângulo*, v. 11, n. 1, 151-162, 2018.

MARTINS, A. S. Simetrias e Leis de Conservação na Mecânica Clássica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 21, n. 1, 33-39, 1999.

MELO, L. S. A. Física Moderna e Contemporânea: uma proposta do uso de seminários no ensino médio em busca de uma aprendizagem significativa da constituição atômica da matéria. 194 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências) – Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

MOREIRA, M. A. ¿Al Final, qué es Aprendizaje Significativo? *Revista Currículum*, v. 25, p. 29-56, 2012.

MOREIRA, M. A. Física de Partículas: uma abordagem conceitual e epistemológica. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, M. A. O conceito de simetria na Física. *Revista do Professor de Física*. v. 3, n. 2, p. 1-8, 2019.

MOREIRA, M. A. O Modelo Padrão da Física de Partículas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, n. 1, p. 1306 (1-11), 2009.

MOREIRA, M. A. Partículas e Interações. *Revista Física na Escola*, v. 5, n. 2, p. 10-14, 2004.

MOREIRA, M. A. Teorias de Aprendizagem. 2ª ed. ampl. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 2017.

MOREIRA, M. A. e MASINI, E. F. S. Aprendizagem Significativa. São Paulo: Editora Centauro, 2001.

MONTEIRO, M. A., NARDI, R. e FILHO, J. B. B. Dificuldades dos professores em introduzir a física moderna no ensino médio: a necessidade de superação da racionalidade técnica nos processos formativos. In NARDI, R. (Org.) *Ensino de Ciências e matemática I: temas sobre a formação de professores*. São Paulo: Editora UNESP, p. 145-159, 2009.

NOVAES, M. e STUART, N. Mecânica Quântica Básica. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de Física básica: eletromagnetismo. São Paulo: Editora Blücher, 1997.

OLIVEIRA, F. F., VIANNA, D. M. e GERBASSI, R. S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007.

OLIVEIRA, I. S. Física Moderna para iniciados, interessados e aficionados. 2ª ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2010.

OSTERMANN, F. Um texto para professores do Ensino Médio sobre Partículas Elementares e interações fundamentais. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 21, n. 3, p. 415-436, 1999.

OSTERMANN, F e CAVALCANTI, C. J. H. Um pôster para ensinar Física de Partículas na escola. *Revista Física na Escola*, v. 2, n. 1, p. 13-18, 2001.

OSTERMANN, F. e MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 5, n.1, p. 23-48, 2000.

PASSON, O., ZÜGGE T. e GREBE-ELLIS, J. Pitfalls in the teaching of elementary particle physics. *Physics Education*. v. 54, n. 015014, p. 17, 2019.

PEDUZZI, L. O. Q., MARTINS, A. F. P. e FERREIRA, J. M. H. *Temas de História e Filosofia da Ciência no Ensino*. Natal: Editora da UFRN, 2012.

PEREIRA, A. P. e OSTERMANN, F. Sobre o ensino de Física Moderna e Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. *Revista Investigação em Ensino de Ciências*, v. 14, n. 3, p. 393-420, 2009.

PEREZ, S., CASTRO, B. F. N., MAIA, N. C. e NASCIMENTO, C. S. O estudo do movimento browniano com material de baixo custo. *Revista Brasileira de Ensino de Física* [online], vol. 40, n. 1, e 1503, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2016-0297>>. Acesso em: 16/05/2020.

PINHEIRO, L. A. *Partículas Elementares e Interações Fundamentais no Ensino Médio*. 2011. 312 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

RAMOS, T. C. e MOZZER, N. B. Análise do Uso da Analogia com o “Pudim de Passas” Guiado pelo TWA no Ensino do Modelo Atômico de Thomson: considerações e recomendações. *Química nova escola*, v. 40, n. 2, p. 106-115, 2018.

REITZ, J. R., MILFORD, F. J. e CHRISTY, R. W. *Fundamentos da teoria eletromagnética*. 4ª ed. Tradução: Renê Balduino Sander e Carlos Duarte. Rio de Janeiro: Editora Campus Elsevier, 1982.

SANT’ANNA, B., MARTINI, G., REIS, H. C. e SPINELLI, W. *Conexões com a Física*, volume 3. São Paulo: Editora Moderna, 2010.

SANTOS, A. F. *Lavoisier nos livros didáticos: uma Análise à Luz da História da Ciência*. 2015. 105 f. Dissertação (Mestrado em História da Ciência) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2015.

SÃO PAULO. *Currículo do Estado de São Paulo: Ciências da Natureza e suas tecnologias*. São Paulo, 2012.

SHABAJEE, P.; POSTLETHWAITE, K. What happened to modern physics? *School Science Review*, v. 81, n. .297, p. 51-56, 2000.

SILVEIRA, A. V. C. O conceito de Simetria em Física e sua importância para a aprendizagem da disciplina de Física. 2008. 228 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008.

SIQUEIRA, M. R. P. Do Visível ao Indivisível: uma proposta de Física de Partículas Elementares para o Ensino Médio. 2006. 257 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SIQUEIRA, M. R. P. Professores de física em contexto de inovação curricular: saberes docentes e superação de obstáculos didáticos no ensino de física moderna e contemporânea. 2012. 203 f. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SOLBES, J.; FERNÁNDEZ, P. e GONZÁLEZ, E. Carencias en la formación docente en temas de física contemporánea en Argentina. Actas Congreso Internacional de Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias. Barcelona, España, 2001.

TERRAZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v.9, n.3, p. 209-214, 1992.

TERRAZAN, E. A. e MENEZES, L. C. Perspectivas para a inserção da física moderna na escola média, 1994. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

TV Cultura de São Paulo (2008). O discreto charme das partículas elementares. Disponível em <[www.tvcultura.com.br/particulas](http://www.tvcultura.com.br/particulas)>. Acesso em: 22/11/2019.

VALADARES, E. C. e MOREIRA, A. M. Ensinando Física Moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 15, n. 2, p. 121-135, 1998.

VAN DER BERG, E. e HOEKZEMA, D. Teaching conservation laws, symmetries and elementary particles with fast feedback. Physics Education, v. 41, n. 1, p. 47-56, 2006.

VIEIRA, C. L e VIDEIRA, A. A. P. O papel das emulsões nucleares na institucionalização da pesquisa em física experimental no Brasil. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 33, n. 2, p. 1-11, 2011.

ZABALA, A. A Prática Educativa: como ensinar. Tradução: Ernani F. da F. Rosa. Porto Alegre: Editora Artmed, 1998.