

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



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

**UMA SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES DIDÁTICAS PARA O ENSINO  
DOS MODELOS ATOMICOS AO MODELO PADRÃO DE PARTÍCULAS  
SOB A PERSPECTIVA DA SALA DE AULA INVERTIDA**

**VAGNO GUEDES PORTELA**

Marabá – PA  
2022

VAGNO GUEDES PORTELA

**UMA SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES DIDÁTICAS PARA O ENSINO DOS  
MODELOS ATOMICOS AO MODELO PADRÃO DE PARTÍCULAS SOB A  
PERSPECTIVA DA SALA DE AULA INVERTIDA**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação (nome dado na instituição) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Marabá – PA  
2022

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará**  
**Biblioteca Setorial Campus do Tauarizinho**

---

P479s Portela, Vagno Guedes

Uma sequência de atividades didáticas para o ensino dos modelos atômicos ao modelo padrão de partículas sob a perspectiva da sala de aula invertida / Vagno Guedes Portela. — 2022.

140 f. : il. color.

Orientador(a): Luiz Moreira Gomes.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Instituto de Ciências Exatas, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Marabá, 2022.

1. Física - Estudo e ensino. 2. Salas de aula invertidas. 3. Ensino - Metodologia. 4. Aprendizagem ativa. I. Gomes, Luiz Moreira, orient. II. Título.

---

CDD: 22. ed.: 530.07

Elaborado por Adriana Barbosa da Costa – CRB-2/994

VAGNO GUEDES PORTELA

**UMA SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES DIDÁTICAS PARA O ENSINO DOS  
MODELOS ATOMICOS AO MODELO PADRÃO DE PARTÍCULAS SOB A  
PERSPECTIVA DA SALA DE AULA INVERTIDA**

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação (nome dado na instituição) no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

**Banca Examinadora:**

---

Prof. Dr. Luiz Moreira Gomes  
(Unifesspa - Orientador/Presidente)

---

Prof. Dr. Erico Raimundo Pereira de Novais  
(Unifesspa - Membro Interno)

---

Prof. Dr. Manoel Roberval Pimentel Santos  
(UFOPA - Membro Externo)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida.

Sou muito grato aos meus pais Valdemir Guedes Portela e Elinete Guedes Portela, pôr não medirem esforços para que eu pudesse estudar.

A minha esposa Rosemery Farias Guedes, por sempre apoiar e incentivar nos momentos de dificuldades.

A minha amiga Sheila Alves que sempre se dispõe a me ajudar.

A minha adorada e querida filha Alice Farias Guedes Portela.

Aos amigos Cleiton Sodré e Erika Joselma pelo incentivo.

Aos meus amigos de turma, Alvaro, Anderson, Claudio, Claudiana, Daniele, Emerson, Eudimar, Jose Leite, Leandro, Midian e Luciana.

Ao meu professor Dr. Luiz Moreira Gomes pela disponibilidade, atenção, paciência e orientação na realização desse trabalho.

A coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior (CAPES) pelo apoio financeiro durante o curso.

A Sociedade Brasileira de Física (SBF) pela organização e coordenação do curso, proporcionando a oportunidade de cursar o mestrado na Unifesspa.

A todos os Professores do mestrado da Unifesspa, pelo convívio e troca de conhecimentos.

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

## RESUMO

Tendo em vista a necessidade de atualização do currículo de física e a utilização de metodologias potencialmente motivadoras que possibilitem uma participação mais ativa por parte dos discentes nas aulas de física, esta pesquisa teve como objetivo geral elaborar uma proposta de ensino dos modelos atômicos e a teoria do modelo padrão de partículas utilizando como sequência didática a estratégia metodológica da sala de aula invertida, em uma turma do ensino médio na rede pública de ensino no município de Tucuruí. Para tanto, foi realizada uma revisão da literatura sobre trabalhos que utilizaram a metodologia da sala de aula invertida para o alcance de uma aprendizagem significativa, além disso, fez-se uso das tecnologias digitais como ferramenta educacional para facilitar o processo cognitivo dos alunos na compreensão dos tópicos tratados. Nesse sentido, o ambiente virtual de aprendizagem, utilizado para depositar os materiais de estudo a saber: textos, vídeos, questionários, atividades individuais e em grupo foi o google sala de aula. A sequência didática produto deste trabalho, foi desenvolvida com base nas ideias das teorias de aprendizagem significativa de David Ausubel, da Carga Cognitiva, de John Sweller e do ensino em espiral, de Jerome Bruner. Diante dos resultados obtidos, verifica-se a eficácia da proposta de ensino utilizada, por considerar que houve uma participação maior e uma aprendizagem mais efetiva dos estudantes sobre os conteúdos trabalhados, além do mais acredita-se que este pode servir de referência para ser usado no desenvolvimento de outros trabalhos de cunho pedagógico.

**Palavras-chaves:** aprendizagem significativa; modelo Padrão; sala de aula invertida.

## ABSTRACT

Bearing in mind the need to update the physics curriculum and the use of potentially motivating methodologies that allow a more active participation by students in physics classes, this research had the general objective of elaborating a proposal for teaching atomic models and the theory of the standard model of particles using as a didactic sequence the methodological strategy of the inverted classroom, in a high school class in the public school system in the municipality of Tucuruí. Therefore, a literature review was carried out on works that used the methodology of the inverted classroom to achieve meaningful learning, in addition, digital technologies were used as an educational tool to facilitate the students' cognitive process in understanding of the topics covered. In this sense, the virtual learning environment, used to deposit the study materials, namely: texts, videos, questionnaires, individual and group activities, was google classroom. The didactic sequence resulting from this work was developed based on the ideas of David Ausubel's theories of meaningful learning, John Sweller's Cognitive Load and Jerome Bruner's Spiral Teaching. In view of the results obtained, the effectiveness of the teaching proposal used is verified, considering that there was a greater participation and a more effective learning of the students about the contents worked, in addition, it is believed that this can serve as a reference to be used in the development of other pedagogical works.

**Keywords:** significant learning; standard Model; flipped classroom.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Usuários de Internet no Brasil: 2008-2019.....	11
Figura 2 – Usuários de Internet por ferramentas utilizadas: 2014-2019.....	12
Figura 3 – Tipos de cargas cognitivas.....	20
Figura 4 – Estágios básicos da estrutura cognitiva humana.....	21
Figura 5 – Formas de representação do domínio do conhecimento.....	24
Figura 6 – Modelo atômico de Dalton.....	28
Figura 7 – Modelo atômico de Thomson.....	31
Figura 8 – Esquema do experimento de Rutherford.....	33
Figura 9 – Espectro do hidrogênio na região do visível.....	35
Figura 10 – Diferentes series observadas no espectro do hidrogênio na região do visível.....	35
Figura 11 – Modelo Atômico de Bohr e as diferentes series de linhas espectrais.....	36
Figura 12 – Experimento de Young.....	41
Figura 13 – Forças fundamentais da natureza.....	43
Figura 14 – Léptons e algumas propriedades.....	48
Figura 15 – Conservação do número léptônico.....	50
Figura 16 – Férmions elementares e algumas propriedades.....	51
Figura 17 – Bósons elementares e algumas propriedades.....	52
Figura 18 – Particula elementares do modelo padrão.....	53
Figura 19 – Escola Ana Pontes Francez.....	54
Figura 20 – Fluxograma das etapas da pesquisa.....	54
Figura 21 – Mapas conceituais sobre o tema “forças fundamentais da natureza” elaborado pelo grupo G1.....	63
Figura 22 - Mapas conceituais sobre forças fundamentais da natureza elaborado pelo G2.....	64
Figura 23 - Mapa conceitual sobre forças fundamentais elaborado pelo grupo G3.	64
Figura 24 – Prints das respostas dos alunos no questionário.....	65
Figura 25 – Mapa conceitual sobre modelo padrão de partículas.....	66

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Respostas sobre celular e internet.....	59
Gráfico 2 – Acertos no questionário Pré-teste.....	61
Gráfico 3 – Acertos das atividades de segunda etapa (vídeo).....	62
Gráfico 4 – Acertos no questionário Pós-teste.....	67
Gráfico 5 – Percentual de acertos dos questionários conhecimentos prévios / pós-teste.....	68
Gráfico 6 – Percentual sobre gostar da estratégia metodológica aplicada na pesquisa.....	69
Gráfico 7 – Percentual avaliativo sobre a metodologia utilizada na pesquisa.....	69

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
1.1	<b>Hipótese.....</b>	<b>14</b>
1.2	<b>Objetivos.....</b>	<b>14</b>
1.2.2	Geral.....	14
1.2.3	Específicos.....	14
1.3	<b>Estrutura da dissertação.....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO 2</b>	<b>REFERENCIAL TEORICO.....</b>	<b>16</b>
2.1	<b>Revisão da literatura.....</b>	<b>16</b>
2.2	<b>Teorias de aprendizagem.....</b>	<b>18</b>
2.2.1	Aprendizagem Significativa de David Ausubel.....	18
2.2.2	Teoria da Carga Cognitiva.....	20
2.2.3	Ensino em Espiral.....	22
<b>CAPÍTULO 3</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEORICA.....</b>	<b>25</b>
3.1	<b>Uma breve historia “dos gregos ao Modelo Padrão de Física das Partículas”.....</b>	<b>25</b>
3.1.1	A Teoria Atômica.....	25
3.1.1.1	Dos Filósofos gregos à Robert Boyle.....	25
3.1.1.2	O Modelo Atômico de Dalton.....	27
3.1.1.3	O Modelo Atômico de Thomson.....	28
3.1.1.4	O Modelo Atômico de Rutherford.....	31
3.1.1.5	O Modelo Atômico de Bohr.....	34
3.1.1.6	O Modelo Atômico Atual.....	37
3.1.2	Dualidade onda/partícula.....	39
3.1.3	Forças Fundamentais da Natureza.....	42
3.2	<b>Partículas elementares.....</b>	<b>45</b>
3.2.1	Os Quarks.....	46
3.2.2	Léptons.....	48
3.3	<b>Modelo padrão.....</b>	<b>49</b>
<b>CAPÍTULO 4</b>	<b>PROPOSTA METODOLÓGICA.....</b>	<b>53</b>
4.1	<b>Local e participantes.....</b>	<b>53</b>
4.2	<b>Metodologia.....</b>	<b>54</b>
4.2.1	Questionário de sondagem.....	55
4.2.2	Questionário Pré-teste.....	53
4.2.3	Atividade de video.....	56
4.2.4	Mapas conceituais.....	57
4.2.5	Atividade em grupo.....	57
4.2.6	Questionário pós-teste.....	58
4.2.7	Questionário de opinião.....	58
<b>CAPÍTULO 5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>59</b>
5.1	<b>Primeira etapa.....</b>	<b>59</b>
5.1.1	Sondagem.....	59
5.1.2	Pré-teste.....	61
5.2	<b>Segunda Etapa.....</b>	<b>62</b>
5.3	<b>Terceira etapa.....</b>	<b>63</b>
5.4	<b>Quarta etapa.....</b>	<b>65</b>

<b>5.5</b>	<b>Quinta Etapa.....</b>	<b>67</b>
5.5.1	Pós-teste.....	67
5.5.2	Opinião.....	68
<b>CAPÍTULO 6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>72</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>74</b>
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>80</b>
	<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>80</b>
	<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>86</b>
	<b>APÊNDICE C.....</b>	<b>91</b>
	<b>APÊNDICE D.....</b>	<b>93</b>
	<b>APÊNDICE E.....</b>	<b>96</b>
	<b>APÊNDICE F.....</b>	<b>98</b>
	<b>PRODUTO EDUCACIONAL.....</b>	<b>101</b>
<b>1</b>	<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>101</b>
<b>2</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>103</b>
<b>3</b>	<b>SALA DE AULA INVERTIDA.....</b>	<b>104</b>
<b>4</b>	<b>MODELOS ATÔMICOS.....</b>	<b>105</b>
<b>5</b>	<b>FÍSICA DAS PARTICULAS ELEMENTARES.....</b>	<b>112</b>
Etapa 1	Apresentação da proposta metodológica.....	115
Etapa 2	Tópico Teorias Atômicas.....	116
Etapa 3	Interações fundamentais da natureza.....	116
Etapa 4	Teoria do modelo padrão de partículas.....	117
Etapa 5	Aplicação do Questionário pós-teste / Questionário de opinião.....	118
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>118</b>
	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>120</b>
	<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>122</b>
	<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>128</b>
	<b>APÊNDICE C.....</b>	<b>133</b>
	<b>APÊNDICE D.....</b>	<b>135</b>
	<b>APÊNDICE E.....</b>	<b>138</b>

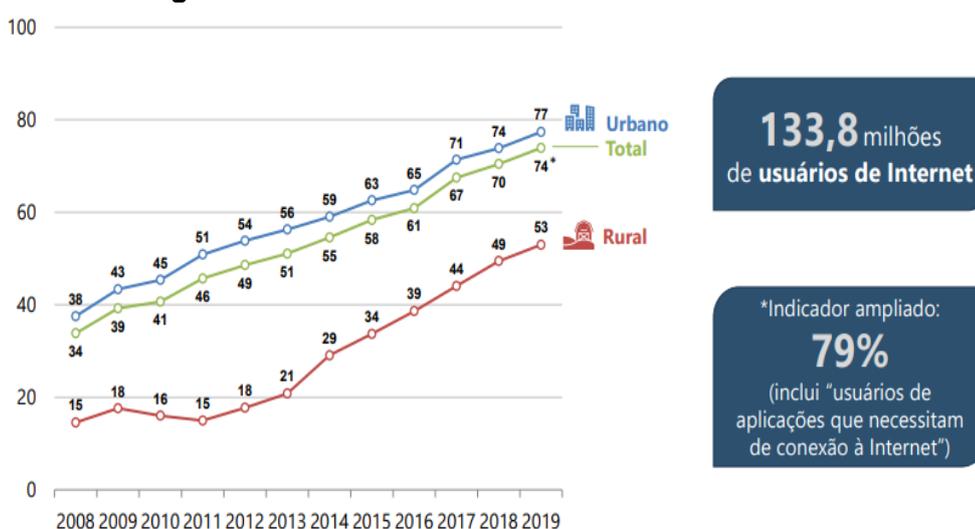
## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

As escolas atuais, de modo análogo às do século passado, não mudaram muito. Elas continuam com o professor à frente na sala de aula e os alunos sentados organizados em fila ouvindo a explicação do conteúdo, do modo totalmente passivo. Mesmo diante dos avanços tecnológicos, as aulas continuam ocorrendo, majoritariamente, no método tradicional, ou seja, com conteúdos transmitidos aos alunos de forma passiva (BACICH; TANZI NETO; TREVISANI, 2015).

Segundo estes autores, verifica-se que crianças e jovens, estão cada vez mais conectadas as tecnologias digitais, como por exemplo, *smartphones*, *tablets* e *notebooks*, com acesso à internet. Essa geração estabelece novas relações com o conhecimento, em simbiose com essas tecnologias e que, por conseguinte, tais relações exigem transformações no modo de ensinar e aprender, de modo que se alcance uma aprendizagem significativa.

Segundo dados da pesquisa TIC Domicílios 2019, realizada pelo Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (CETIC), a cada 4 brasileiros, 3 utilizam a internet. Isso corresponde a 134 milhões de usuários, o que equivale a 74% da população, na área rural passam dos 50% os usuários da internet, figura 1 (CETIC.BR, 2020).

**Figura 1 – Usuários de Internet no Brasil: 2008-2019.**

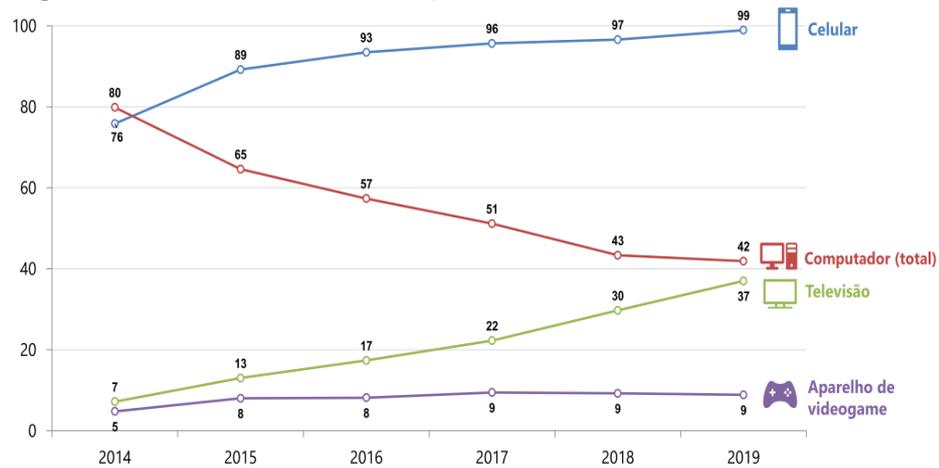


Fonte: Cetic.br. (2019).

Conforme esta pesquisa, a ferramenta mais comum para se conectar à internet é o celular. Cerca de 99% utilizam o *smartphone* e outros aparelhos móveis, seguidos

dos computadores que corresponde a 42%, televisão 37% e dos videogames 7%, figura 2.

**Figura 2 – Usuários de Internet por ferramentas utilizadas: 2014-2019.**



Fonte: Cetic.br. (2019).

Segundo Prensky (2010), no processo de ensino aprendizagem estão envolvidas duas gerações diferentes, com a primeira sendo chamada de nativos digitais. Esta é formada por pessoas que nasceram e cresceram com acesso à internet e, todas as tendências atuais decorrentes dela, como o YouTube, Facebook, WhatsApp, dentre outros.

A segunda geração é chamada de imigrantes digitais. São pessoas nascidas antes da era digital, onde grande parte dos professores fazem parte, estes tiveram que se adaptar às mudanças e dificilmente vão percorrer por esse universo com as mesmas habilidades e competências dos nativos digitais.

Para Moreira (2011), é lamentável que em pleno século XXI, a Física ensinada nas escolas, ainda seja a mesma dos séculos anteriores, com ênfase no formalismo acentuado. O ensino de Física nas escolas brasileiras, de modo geral, exclui a Física desenvolvida recentemente. No caso da Física Moderna e Contemporânea, muito pouco é trabalhado nas instituições de Ensino Médio.

Diante do avanço das novas tecnologias e o modo como se ensina e aprende na atualidade, é fundamental discutir sobre atualização do currículo de física, bem como a utilização de estratégias metodológicas que permitam aos alunos um engajamento maior no processo de construção do conhecimento, para que se alcance uma aprendizagem significativa.

Assim, é possível notar que a lacuna de um currículo de física desatualizado pode impactar diretamente (ou indiretamente) numa prática pedagógica desvinculada

e descontextualizada da realidade do aluno. Deste modo, o docente precisa inovar na sua prática pedagógica por meio da renovação de estratégias metodológicas que possibilite uma participação mais ativa dos estudantes no processo de ensino aprendizagem.

O presente trabalho tem seu foco no ensino de tópicos relacionados à teoria dos Modelos Atômicos ao Modelo Padrão(MP) de partículas com o uso da Sala de Aula Invertida(SAI) como estratégia metodológica.

O tema trabalhado com os alunos com transposição didática é denominado MP da Física de Partículas. Ele busca descrever a natureza da matéria, do que é feito o universo e como se aglutinam suas partes, em termos de forças fundamentais, bem como das partículas fundamentais que constituem toda a matéria (MOREIRA, 2011).

A estratégia metodológica implementada nesta pesquisa a SAI, também conhecida como *flipped classroom* visa a integração das tecnologias digitais no contexto escolar como recursos potencializadores do processo de ensino aprendizagem e dessa forma oportunizar ao aluno uma participação efetiva tornando-os protagonista do seu próprio saber.

Os principais responsáveis pela popularização recente da SAI foram os professores de química Jonathan Bergmann e Aaron Sams, ambos começaram a lecionar em 2006 na Woodland Park High School, em Woodland Park, Colorado no Estados Unidos. Um problema muito comum enfrentado por eles por lecionarem em uma escola de ambiente rural era a falta de grande parte dos alunos nas aulas por causa dos esportes e de outras atividades que praticavam em outras escolas.

Um certo dia Aaron a partir de uma observação teve a seguinte ideia:

o momento em que o aluno realmente precisa da minha presença física é quando empacam e carecem de ajuda individual. Não necessitam de mim pessoalmente ao lado deles tagarelando um monte de coisas e informações; eles podem receber o conteúdo sozinhos (BERGMAN; SAMS, 2016, p. 4).

A partir dessa observação Aaron teve a ideia de gravar todas as aulas para que seus alunos assistissem aos vídeos como dever de casa e todo o tempo de sala de aula fosse usado para ajudá-los com os conceitos que não foram compreendidos. Dessa forma surgiu a SAI.

A SAI é uma metodologia de ensino que inverte a lógica tradicional de ensino. O aluno tem o primeiro contato com o conteúdo que irá aprender através de atividades extraclases, prévias à aula (ARAUJO; OLIVEIRA; VEIT, 2016). Em sala de aula são

feitas as atividades colaborativas, a aplicação dos conceitos, resolução de problemas, debates, realização de exercícios de fixação, ou seja, atividades que eram feitas individualmente, agora são feitas em sala com o monitoramento do professor.

Este trabalho tem como objetivo a elaboração de uma sequência de atividades didáticas para o estudo das teorias atômicas e do MP de partículas utilizando a metodologia da SAI, juntamente com diversas atividades que foram aplicadas em uma turma do 3º ano do ensino médio na cidade de Tucuruí-Pa.

Os conceitos relacionados ao MP não são ensinados no Ensino Médio, sendo assim, pretende-se incentivar sua utilização, fornecendo subsídio para a posterior inclusão no currículo da Física do Ensino Médio, pois, no atual cenário de desenvolvimento acelerado das tecnologias é imperativo inserção de temas de Física Moderna e Contemporânea no Currículo de Física.

Mediante os resultados obtidos por meio das atividades executadas no decorrer da pesquisa, foi possível avaliar o rendimento verificando a aprendizagem dos conteúdos trabalhados, os pontos positivos e negativos, bem como o grau de satisfação dos alunos com a metodologia implementada no desenvolvimento da pesquisa.

## **1.1 Hipótese**

Com a utilização da proposta metodologia sala de aula invertida no ensino de física é possível melhorar a aprendizagem do tema ministrado, ou seja, criar condições que potencializam melhores resultados de aprendizagem.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.2 Geral**

Elaborar uma proposta de Ensino sobre os modelos atômicos e a teoria do Modelo Padrão de Partículas utilizando como Sequencia Didática a Estratégia Metodológica da Sala de Aula Invertida em uma turma do Ensino Médio na rede Pública de Ensino no Município de Tucuruí.

### **1.2.3 Específicos**

Introduzir no ambiente do ensino em uma turma do 3º ano o tema relacionado ao Modelo Padrão de partículas.

Desenvolver o tema ministrado aos alunos do 3º ano, sobre física de partículas, utilizando a transposição didática.

Desenvolver a sequência didática de ensino do tema relacionados as teorias atômicas e ao MP de partículas baseado nas ideias das teorias de aprendizagem significativa de David Ausubel, da Carga Cognitiva e da Aprendizagem em Espiral.

Utilizar as tecnologias digitais como ferramenta educacional para facilitar os processos cognitivos dos alunos na compreensão de tópicos relacionados a teoria do modelo MP.

Utilizar a estratégia metodológica da SAI para alcançar a aprendizagem pretendida sobre o tema relacionado ao MP de partículas com uma turma do 3º ano da rede publica de ensino.

### **1.3 Estrutura da dissertação**

Este trabalho está estruturado em 6 capítulos. No primeiro capítulo é apresentado a introdução, justificativa e objetivos do trabalho.

No segundo capítulo é feito uma revisão da literatura, relacionada pesquisa desenvolvida, com destaque às publicações sobre o uso da metodologia da sala de aula invertida com o intuito de alcançar aprendizagem significativa. Na sequência são apresentadas as principais ideias da teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel, Teorias da Carga Cognitiva e Aprendizagem em Espiral.

O terceiro capítulo apresenta uma visão geral da física de partículas. É feita uma breve discussão sobre a teoria atômica, desde os gregos até o modelo padrão de partículas, com ênfase nas quatro forças fundamentais da natureza: gravitacional, eletromagnética, forte e fraca.

O quarto capítulo é referente a metodologia empregada na pesquisa. A metodologia está dividida em quatro etapas nas quais são descritos todos os procedimentos para a produção e coleta dos dados, assim como, as discussões geradas a partir destes.

O quinto capítulo ocorre a apresentação dos resultados obtidos assim como, as devidas reflexões com base nos resultados e na metodologia empregada ao longo dos estudos feitos no decorrer do trabalho.

Por fim o sexto capítulo trata-se das considerações finais onde destaco a relevancia do tema, reforço os principais resultados alcançados durante a pesquisa além de sugestões para novas pesquisas ou abordagem sobre a temática.

## CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEORICO

### 2.1 Revisão da literatura

Nos últimos anos em decorrência da aceleração do desenvolvimento tecnológico tornou-se inevitável o confronto da escola com a cultura digital, em função do modo como as tecnologias digitais afetam a interação entre as pessoas, os processos de comunicação, produção e a transmissão de conhecimento (BACICH, L.; TANZI NETO, A.; TREVISANI, 2015).

Pode se dizer que o modelo de ensino corrente nas escolas brasileiras na sua maioria não condiz com a realidade e necessidades do contexto sociocultural da história recente. O que a tecnologia traz hoje é a integração de todos os espaços e tempos. O ensinar e aprender acontecem em uma interligação simbiótica profunda e constante entre os chamados mundo físico e digital (BACICH, L.; TANZI NETO, A.; TREVISANI, 2015).

Uma fala muito comumente utilizada pelos professores na atualidade.

Nossos alunos não são mais como os de antigamente”. E, de fato, não são [...]. Em seu dia a dia, muitos estão constantemente conectados a redes sociais e acostumados ao acesso direto a informações em seus smartphones, tablets ou computadores, tão logo tenham algum interesse em buscá-las (ARAUJO; OLIVEIRA; VEIT, 2016).

Existem muitos desafios enfrentados por professores para oportunizar uma aprendizagem significativa dos conteúdos. Dentre os inúmeros desafios para promover a aprendizagem significativa dos conteúdos está a divergência entre o perfil dos alunos atuais e o modelo de ensino. A questão que se apresenta é: como fazer diferente? (ARAUJO; OLIVEIRA; VEIT, 2016).

Pesquisadores e professores de diversas áreas vêm procurando responder a esse questionamento através da aplicação de metodologias ativas de aprendizagem para a obtenção da aprendizagem significativa dos conceitos por parte dos alunos.

Metodologias ativas são estratégias de ensino centradas na participação efetiva dos estudantes na construção do processo de aprendizagem, de forma flexível, interligada, híbrida (MORAN, 2017). A aprendizagem ativa vem em contraposição ao ensino passivo do modelo tradicional de aprendizagem em que o aluno recebe as informações de maneira passiva.

Quando se fala em metodologia ativa ela rompe com esse modelo tradicional onde o professor é o detentor do saber e o processo ensino aprendizagem transporta consigo a concepção de passividade enquanto o modelo ativo, o professor passa a ser um mediador, um facilitador da aprendizagem e o aluno torna-se protagonista, mais autônomo para participar do seu processo de construção do conhecimento.

Existem diferentes estratégias didática que estimulam e possibilitam uma participação mais efetiva dos alunos no processo de ensino aprendizagem um exemplo dessas práticas ativas é a SAI. Na abordagem da SAI, o aluno estuda previamente, e a aula torna-se lugar de aprendizagem ativa, onde há perguntas, discussões e atividades prática (BACICH, 2018).

No geral o estudo prévio é feito de forma online por meios das ferramentas digitais com os conteúdos disponibilizados de diferentes formas textos, vídeos nos ambientes virtuais de aprendizagem(AVA), isso faz com que o aluno aprenda em um ritmo próprio, permitindo que o tempo em sala de aula seja otimizado, possibilitando uma maior interação entre docente e aluno.

O que tradicionalmente é feito em sala de aula, agora é executado em casa, e o que tradicionalmente é feito como trabalho de casa agora é realizado em sala de aula (BERGMANN; SAMS, 2016).

Nos trabalhos analisados, destacam-se os autores, Freitas (2015), Tomanik (2015), Bergmann e Sams (2016), Araujo *et al.* (2017), Ortega *et al.* (2017), Silva (2017), Bulegon e Deponti (2018), Confortin *et al.*, (2018), Leão (2019), Santos (2019), Medeiros (2019), Sousa (2020), Viana (2020). Todos estes trabalhos evidenciam que a metodologia da SAI é uma estratégia interessante capaz de potencializar uma aprendizagem mais eficiente.

Outro aspecto observado nos trabalhos analisados foi a respeito das ferramentas utilizadas na implementação da inversão da sala de aula, a maioria dos casos usaram o vídeo como ferramenta instrucional. É importante ressaltar que a SAI não se estrutura em torno de vídeos, os quais, entretanto, são bastante utilizados como meio de disponibilizar informações de modo muito direto.

Percebe-se que não existe uma única forma de sala de aula invertida e sim diferentes possibilidades de colocá-las em prática e que cada professor ao optar por esse modelo terá a sua forma particular de executá-las associando a sua realidade e dos seus alunos.

Verificou-se que todas as diferentes formas de sala de aula invertida pesquisadas têm como característica em comum tornar o aluno protagonista no seu aprender, centralizando a atenção para o aprendiz e a aprendizagem durante o processo de construção do conhecimento.

É fácil observar na atualidade o desenvolvimento da sociedade moderna proporcionado pelos avanços tecnológicos, todavia no ensino de física nem sempre são trabalhados os conceitos que permitam aos estudantes entender o funcionamento dessas tecnologias.

Enfim, durante a análise da revisão da literatura, evidenciou-se que a estratégia metodológica da SAI pode ser utilizada para o estudo de diferentes conteúdos nas diversas disciplinas que fazem parte do currículo escolar. O método da SAI propicia ao aluno o contato prévio com o conteúdo em casa, antes da aula e a possibilidade de que ele estude no seu próprio ritmo.

Nesse sentido, o professor pode aproveitar melhor o tempo de sala de aula interagindo e orientando os estudantes com o desenvolvimento de atividades que estimulem uma maior interação e participação nas aulas, conseqüentemente o rendimento tende a ser melhor.

## **2.2 Teorias de aprendizagem**

Esta seção trata da fundamentação teórica que delinea este trabalho. Serão apresentados os conceitos de aprendizagem significativa segundo a ótica de David Ausubel, das teorias da carga cognitiva (TCC) de John Sweller, e por fim da teoria de ensino em espiral de Brunner.

### **2.2.1 Aprendizagem Significativa de David Ausubel**

O conceito central que permeia a teoria de Ausubel é o de aprendizagem significativa. Esta pode ser entendida como a integração entre os novos conhecimentos e os conhecimentos prévios do aluno. Na concepção de David Ausubel, aprendizagem significativa é um processo por meio do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto especificamente relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo (MOREIRA, 1999a).

Ausubel denomina subsunçor a estrutura específica de conhecimento. Este por sua vez pode ser associado aos conhecimentos prévios existentes na estrutura cognitiva do aprendiz e que serviram de ancoradouro para os novos conhecimentos. A estrutura cognitiva significa, portanto, uma estrutura hierárquica de conceitos que são representações de experiências sensoriais do indivíduo (MOREIRA, 1999b).

Para Ausubel (1968), o termo estrutura cognitivo tem o significado de uma estrutura hierárquica de conceitos. Ainda sobre o tema:

Estrutura cognitiva é o conteúdo total e organizado de ideias de um dado indivíduo; ou, no contexto da aprendizagem de certos assuntos, refere-se ao conteúdo e organização de suas ideias naquela área particular de conhecimento (PRASS, 2012).

O processo decorrente da ancoragem dos novos conhecimentos e os conhecimentos prévios tem como consequência crescimento e modificação dos subsunçores quando aprendidos de forma significativa.

De acordo com Moreira (2006), Beber e Del Pino( 2017), Ausubel, Novak e Hanesian (1980), para que aprendizagem ocorra são necessárias algumas condições. Primeiro, a existência de subsunçores com capacidade de ancorar um novo conhecimento, de modo que essa interação adquira significado para o aprendiz.

Segundo, que o aluno manifeste uma disposição de relacionar o novo material de maneira substantiva e não arbitrária a sua estrutura cognitiva e em terceiro, que o material a ser aprendido seja potencialmente significativo para o aprendiz, de modo que possa relacionar a sua estrutura de conhecimento de forma não arbitrária e não literal. (MOREIRA, 2006; BEBER; DEL PINO, 2017; AUSUBEL, NOVAK; HANESIAN,1980).

Assim, há aprendizagem significativa de certo conceito quando este se relaciona de maneira substantiva e não arbitrária com outros conceitos preexistentes na estrutura cognitiva do indivíduo.

Para Ausubel (1968), relacionar-se de maneira significativa quer dizer que o conceito possui ligações de caráter psicológico e epistemológico com algum(s) conceito(s) da estrutura cognitiva, partilhando com o conceito já presente algum significado comum, ligando-se à estrutura cognitiva através da associação (no sentido de formar agrupamentos) a estes conceitos.

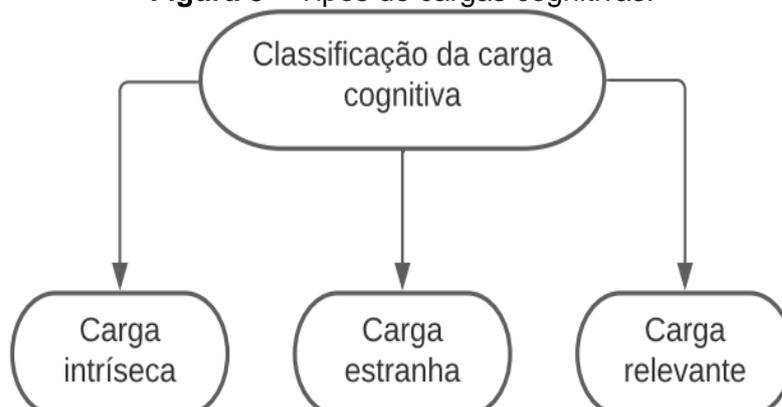
### 2.2.2 Teoria da Carga Cognitiva

A Teoria da Carga Cognitiva (TCC) de John Sweller, pode ser entendida como um conjunto universal de princípios que resultam em um ambiente de aprendizagem eficiente e que conseqüentemente promovem um aumento na capacidade do processo de cognição humana (SANTOS; TAROUÇO, 2007).

A TCC esta fundamentada na limitação da capacidade humana no processamento de muitas informações simultaneamente. Sweller (2003) afirma que o volume de informações oferecidas ao aluno deve ser compatível com a capacidade de compreensão humana. Devido a essa limitação da memória no processamento das informações é possível que em algumas situações complexa de ensino a tarefa executada pode simplesmente exceder a capacidade cognitiva do aprendiz ocasionando uma sobrecarga na memória (carga cognitiva), comprometendo a aprendizagem.

Para Alves *et al.* (2017), a teoria da carga cognitiva se divide em carga Intrínseca (Intrinsic Load), Carga Irrelevante ou Estranha (Extraneous Load) e Carga Relevante ou Pertinente (Germane Load). A figura 3, apresenta a classificação de algumas formas de carga cognitiva.

**Figura 3 – Tipos de cargas cognitivas.**



Fonte: Adaptado de Passos (2020).

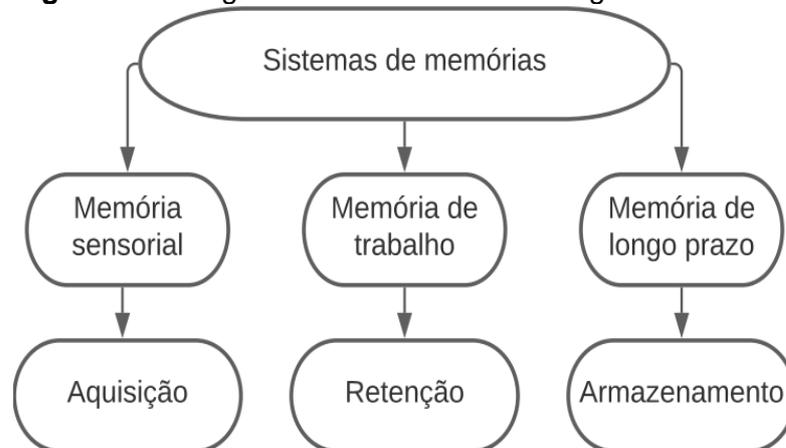
A carga cognitiva intrínseca diz respeito à característica da informação e não à sua apresentação. Sabemos que a forma com que uma informação é apresentada influencia a aprendizagem (OLIVEIRA; MOREIRA, 2016). Nesse tipo de carga cognitiva é necessário diminuir a carga intrínseca do conhecimento para casos em que a carga cognitiva da instrução for considerada altamente complexa.

A carga extrínseca (ou irrelevante) não interfere na construção e automação de esquemas e conseqüentemente, desperdiça recursos mentais limitados que poderiam

ser usados para auxiliar a carga natural (SANTOS; TAROUCO, 2007). Ela está relacionada a forma com que o conteúdo é apresentado. Por exemplo, um material mal elaborado proporciona esse tipo de carga. Aqui pode-se destacar, algo comum em muitas aulas mal elaboradas, que são slides “abarroados” de texto, provocando a divisão da atenção dos aprendizes entre o material e a explicação do professor.

A carga cognitiva relevante é a carga essencial para que a aprendizagem aconteça. Está relacionada, por exemplo, às atividades que privilegiam o objetivo da aprendizagem. Para Alves *et al* (2017), o termo “Relevante” leva em consideração o fato de que esta carga está relacionada com a capacidade dos indivíduos de formar esquemas cognitivos acerca das informações, ou seja, o aumento desta carga proporciona aos indivíduos meios para melhorar a aprendizagem (ALVES *et al.*,2017. A arquitetura cognitiva humana, tem uma grande importância para a carga cognitiva que serve como base da teoria. Por “arquitetura cognitiva” entende-se a maneira como as estruturas cognitivas são organizadas (TIMBONI, 2016). Para o autor, a estrutura cognitiva é composta por memória de trabalho, memória de longo prazo, esquemas e automação.

**Figura 4 – Estágios básicos da estrutura cognitiva humana.**



Fonte: Produção do próprio autor (2021).

A memória sensorial tem duração de curtíssimo tempo e não consegue processar muitos dados simultaneamente. Os dados ao entrarem pelo sistema cognitivo humano, são recebidos pelos sentidos (ouvido, visão, tato...) por isso o nome sensorial. A memória de trabalho (ou de curto prazo) sugere uma forma de armazenamento instável da informação, como por exemplo, a tentativa de armazenar uma sequência de números aleatórios, enquanto a memória de longo prazo tem

capacidade de armazenamento da informação por um intervalo de tempo maior. (OLIVEIRA; MOREIRA, 2016).

Para Timboni (2016), a memória de trabalho tem como principal característica processar a nova informação com os conhecimentos prévios do indivíduo, objetivando fazer alterações na memória de longo prazo. Para adição deste novo conhecimento e na memória de longo prazo que este fica armazenado.

Esquemas podem ser entendidos como a forma que o conhecimento é guardado na memória de longo prazo e possibilita que os conhecimentos sejam categorizados de acordo com a maneira que devem ser utilizados. No caso da automação, permite ao indivíduo reproduzir todo o conhecimento aprendido de maneira automática (TIMBONI, 2016).

Com a finalidade de diminuir a sobrecarga, durante o processo de aprendizagem, há a necessidade de se tomar certos cuidados durante a elaboração dos materiais didáticos.

A TCC defende que a elaboração de materiais didáticos, principalmente os que utilizam multimídia, deve seguir alguns princípios visando diminuir a sobrecarga cognitiva do aluno e potencializar seu aprendizado (SANTOS; TAROUÇO 2008).

De acordo com o princípio da modalidade, a aprendizagem se torna mais eficiente quando os gráficos, animações, imagens, vídeos são acompanhados por áudio ao invés de texto escrito.

### 2.2.3 Ensino em Espiral

A teoria de ensino de Bruner considera a participação ativa do aprendiz no processo de aprendizagem, na aprendizagem por descoberta e no currículo em espiral.

Para Bruner, o processo de ensino estruturado é imprescindível para uma boa aprendizagem. No ensino estruturado o professor planeja o processo de ensino aprendizagem, organiza os conteúdos a serem ensinados numa sequência que favoreça a aprendizagem, e na sala de aula há uma conexão de procedimentos de estudo e avaliação das aprendizagens que permitam assegurar o sucesso do processo pedagógico. A sequência didática deste trabalho está organizada a partir destas premissas.

Jerome Bruner foi professor de psicologia e diretor do Centro de Estudos Cognitivos da Universidade de Harvard. Ele é considerado um dos principais líderes da chamada revolução cognitiva que fez emergir a psicologia cognitiva em meados da década de 60. Suas ideias tem uma forte influência sobre os campos da aprendizagem e da educação, sendo considerado um dos nomes mais importante do construtivismo (SARGIANI, 2016).

As teorias e aprendizagem construtivistas tentam explicar como os indivíduos constroem significados, ou seja, dito com outras palavras, procura fazer que as pessoas interpretam o mundo que as rodeia. Assim na visão construtivista, o professor deve ter a preocupação em entender como seus alunos pensam, raciocinam para depois pensar em como os conteúdos do currículo escolar devem ser trabalhados.

A teoria de instrução de ensino de Bruner classificada dessa maneira por ele, defende a aprendizagem por descoberta e o currículo em espiral. A aprendizagem por descoberta acredita que a melhor forma do aluno aprender é sempre a partir da pesquisa ativa, do próprio esforço cognitivo e não da escuta passiva de uma aula expositiva ou da mera leitura sobre um tema.

Segundo Sargiani (2016), os professores devem criar condições para as crianças ao explorarem as situações e tentarem resolver os problemas “descubram” o conteúdo essencial que vai ser aprendido e incorporem significativamente esse conhecimento em sua estrutura cognitiva.

A Aprendizagem por Descoberta fala também do currículo em espiral, no qual deve organizar-se trabalhando periodicamente os mesmos conteúdos, cada vez com maior profundidade. A ideia é que os estudantes modifiquem continuamente as representações mentais do que vem construindo (PRASS, 2012).

Para Bruner (1973) a estruturação do ensino deve mirar na compreensão dos conceitos centrais de cada conteúdo para a partir destes compreender os conceitos secundários, esse entendimento caracteriza a aprendizagem em espiral.

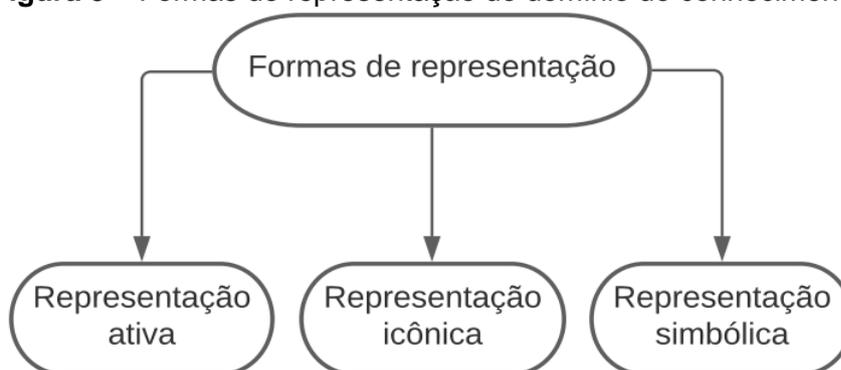
O ensino em espiral pode ser definido como uma estratégia pedagógica que permite ao aluno revisar conteúdos que já foram trabalhados.

Currículo em espiral, por sua vez, significa que o aprendiz deve ter a oportunidade de ver o mesmo tópico mais de uma vez, em diferentes níveis de profundidade e em diferentes modos de representação (MOREIRA, 1999).

Bruner nos apresenta a ideia de que todo e qualquer conhecimento pode ser compreendido por qualquer aluno levando em consideração o nível de amadurecimento.

O domínio do conhecimento pode ser estruturado em três formas de representação.

**Figura 5** – Formas de representação do domínio do conhecimento.



Fonte: Produção do próprio autor (2021).

No entendimento de Prass (2012), o processo de construção do conhecimento do aluno dentro da concepção construtivista ocorre de maneira ativa e através de três formas de representação: ativa, icônica e simbólica.

A representação ativa seria um grupo de ações conveniente para alcançar um certo resultado, a icônica seria a representação das coisas através de imagens ou gráficos sem defini-las completamente e finalmente a representação simbólica um grupo de proposições, lógicas ou simbólicas, derivadas de um sistema simbólico regido por leis para formar ou transformar proposições (GOMES; SILVA 2017).

Portanto a teoria de ensino elaborada por Bruner apresenta o entendimento que o processo de ensino das matérias nas escolas deve ser no formato de espiral, ou seja, os professores devem retomar os mesmos temas do ano anterior sempre acrescentando novas informações.

As novas atividades de estudo devem agregar mais conhecimento aquilo que os alunos já sabem, assim o estudo começa pelos conceitos mais básico e a cada ano que se passa novos conceitos são somados aos anteriores.

## CAPÍTULO 3 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 3.1 Uma breve historia “dos gregos ao Modelo Padrão de Física das Partículas”.

Neste capítulo será feita uma breve revisão na literatura sobre a física das partículas. Esta pesquisa tem como objetivo o estudo dos constituintes fundamentais da matéria, suas propriedades e suas interações.

Essa abordagem foca o contexto histórico da ciência e o processo de desenvolvimento evolutivo do conceito de átomo desde os gregos até o MP de partículas.

#### 3.1.1 A Teoria Atômica

Nesta seção será apresentada uma breve discussão sobre a evolução dos conhecimentos, sobre a teoria atômica desde os gregos, chegando até ao modelo atual. Em seguida será abordado em linguagem acessível (transposta ao nível do EM), o caráter dual da luz, as forças fundamentais da natureza, as partículas elementares e o MP de partículas.

##### 3.1.1.1 Dos Filósofos gregos à Robert Boyle

Durante muitos anos a humanidade se questionava a respeito daquilo que constituía a matéria. A resposta para esse questionamento foi sendo modificada ao longo do tempo conforme a evolução do conhecimento e a cada nova descoberta que surgiam.

Os pioneiros na tentativa de responder a essa questão foram os filósofos da Grécia antiga. Coube ao filósofo grego, que viveu na cidade de Mileto, no período entre 640 e 548 a.C., as primeiras especulações a respeito à constituição da matéria. É importante frisar que os filósofos gregos não faziam experiências e que, portanto, suas teorias se baseiam em observações e imaginações.

Leucipo de Mileto, por volta de 478 a.C. e Demócrito de Abdera, que viveu 460-370 a.C. apresentaram uma visão mecanicista do Universo (PIRES, 2011). Eles foram os pensadores filósofos pioneiros a propor que a matéria era composta por átomo, esta palavra de origem grega significa indivisível.

Leucipo acreditava que o universo era constituído por elementos indivisíveis e pelo vazio, e que o movimento desses elementos, gerando união ou separação, produziam ou destruíam os materiais (OLIVEIRA; FERNANDES, 2006).

Demócrito, aperfeiçoou as ideias de Leucipo. Para ele, a grande variedade de materiais na natureza vinha dos movimentos dos diferentes tipos de átomos que, ao chocarem, formavam conjuntos maiores gerando diferentes corpos com características próprias (SILVA, 2013).

O filósofo grego Leucipo e seu discípulo Demócrito postularam que os objetos visíveis se compunham de minúsculas partículas e acreditavam que a matéria, podia ser dividida em partículas cada vez menores, até se chegar a um limite, a uma partícula indivisível, à qual deram o nome de átomo.

Empédocles, contemporâneo de Leucipo, não admitia a ideia de um único elemento primordial. Na concepção de Empédocles a matéria era constituída a partir de misturas em quantidades diferentes dos quatro elementos: terra, ar, fogo e água (PIRES, 2011). Segundo a teoria de Empédocles esses quatro elementos seriam misturados de acordo com dois princípios universais opostos, o amor que levava a harmonização e o ódio ligado a separação.

Segundo Pires (2011), Aristóteles nascido em 384 a.C. em Estagira, uma cidade grega na Macedônia, foi o primeiro filósofo que propunha uma explicação para todos os fenômenos físicos conhecidos através de argumentos lógicos baseado em suposições simples e observação da natureza.

Aristóteles considerado um dos maiores filósofos de todos os tempos, achava incoerente a ideia de algo indivisível. Ele acreditava que a matéria era contínua e suas ideias acabou prevalecendo entre a maioria dos pensadores até o século XVI, quando outros estudiosos acabam rompendo com a filosofia aristotélica, passando a defender o atomismo e o empirismo (OLIVEIRA; FERNANDES, 2006).

Aristóteles sugeriu que a matéria seria formada por um elemento celeste primordial, que denominou “éter”, constituído por quatro elementos fundamentais – água, ar, fogo e terra, porém considerando quatro qualidades opostas ou contrárias – úmido, seco, quente e frio –, que, agrupadas duas a duas, produzem os citados elementos. Nesse sentido, o fogo é seco e quente, a água é úmida e fria, a terra é fria e seca, e o ar é quente e úmido.

A partir do século XVII, deu-se início a fase das experiências, vários estudiosos passam a fazer experimentos utilizando diferentes métodos e materiais e com os

resultados obtidos a ideia de Aristóteles sobre a matéria foi derrubada e o atomismo ganha força e se consolida.

A primeira experiência que provou que toda a matéria era constituída por átomos foi efetuada por Robert Boyle. Com o resultado obtido Boyle concluiu, que a matéria era constituída por átomos e estes seriam as unidades fundamentais da matéria (SILVA, 2013).

### 3.1.1.2 O Modelo Atômico de Dalton

A ideia de que a matéria era composta por um número infinito de partículas muito pequenas e indivisíveis surgiu com os filósofos gregos. Tais ideias eram baseadas em argumentos filosóficos, não tendo qualquer sustentação experimental. A teoria da indivisibilidade do átomo foi derrubada dois mil anos depois.

O primeiro modelo científico do átomo foi proposto por John Dalton o qual foi professor da universidade inglesa Nell College (Manchester) e criador da primeira teoria atômica moderna. Após estudar os resultados de vários experimentos, ele resolveu resgatar as ideias de Leucipo e Democrito criando a primeira teoria atômica moderna, que teve como fundamento:

[...] em uma teoria ligada a seus estudos acerca da física proposta por Isaac Newton (na leitura do *Principia* e do *Óptica*), ancorada no corpuscularismo newtoniano. E um segundo momento, através de seus estudos sobre misturas gasosas (1802 e 1805), com todas as discussões e críticas feitas pelos seus contemporâneos que o fizeram analisar e conceber uma união entre a proposta Newtoniana de partícula com as propostas de afinidade química, ambas apresentadas em sua época. (AIRES; MELZER, 2015).

Em 1808 ele observou que várias substâncias poderiam ser formadas a partir da mistura de quantidades diferentes de alguns poucos elementos e esse processo de união de vários elementos na formação das diferentes substâncias só poderiam ser compreendidos caso esses elementos fossem feitos de átomos, logo a mistura de átomos de vários elementos forma as moléculas das substâncias (OSTERMANN, 2001). A figura 6, mostra uma representação do modelo atômico proposto por Dalton.

**Figura 6** – Modelo atômico de Dalton.



Fonte: Barbosa, Feitosa e Forte (2016).

A teoria atômica de Dalton considerava que os átomos são os componentes básicos da matéria, impenetrável, indestrutível, indivisível, esféricas maciças e por isso ficou conhecida como bola de bilhar. Seu modelo foi baseado nas premissas:

- de que os átomos de diferentes elementos podem ser distinguidos por diferenças nos seus pesos;
- átomos de um mesmo elemento possuem propriedades iguais e peso invariável
- elementos químicos diferentes são formados por átomos diferentes que se comportam de maneira desigual quando submetidos a transformações químicas.

As transformações químicas ocorrem porque os átomos de uma substância se separam e se juntam novamente numa ordem diferente da inicial, dando origem a novas substâncias (BARBOSA; FEITOSA; FORTE, 2016).

### 3.1.1.3 O Modelo Atômico de Thomson

Desde a Antiguidade os gregos já observavam fenômenos sobre eletricidade estática, ao se atritar o âmbar uma resina fóssil com tecidos, este adquiria a propriedade de atrair corpos leves, como pedaços de palha. Entretanto na época não se tinha conhecimento de como produzir e armazenar eletricidade de modo contínuo, este cenário começa a mudar a partir de 1650 com as observações feitas por Otto Von Guericke quando surgem os projetos das “maquinas de atrito”.

Por volta de 1744-1746, Pieter van Musschenbroek cientista holandês, professor da Universidade de Leiden, cria o primeiro dispositivo que armazena cargas elétricas denominado “Garrafa de Leiden”. Os estudos relacionados a natureza elétrica da matéria tiveram um grande desenvolvimento com a criação de um outro

dispositivo com capacidade de produzir eletricidade de modo contínuo e controlável a “pilha elétrica”, elaborada pelo físico italiano Alessandro Volta em 1800.

Na tentativa de reproduzir os resultados obtidos por Alessandro Volta, o cirurgião Anthony Carlisle e o químico William Nicholson (1753-1815), montaram uma pilha e concluíram que a passagem da corrente elétrica produzida pela pilha através da água provocava o desprendimento de gases. Estes por sua vez foram recolhidos separadamente dos terminais elétricos e posteriormente identificados como sendo hidrogênio e oxigênio moleculares. Com esse experimento Carlisle e Nicholson descobriram o fenômeno da eletrólise.

No ano de 1832, o físico e químico Michael Faraday, ao estudar o fenômeno da eletrolise estabeleceu relações quantitativas entre a quantidade de cargas elétricas que circula por uma solução condutora de eletricidade e as massas depositadas, ou dissolvidas, nos eletrodos. Essas descobertas contribuíram para que fosse revista o conceito de indivisibilidade do átomo.

Entretanto, os experimentos que levaram à descoberta das partículas elementares componentes do átomo divisível, envolveram principalmente estudos de descargas elétricas de alta voltagem através de gases em diferentes pressões (OLIVEIRA *et al*, 2013). Com estes estudos foram desenvolvidas técnicas de produção de ampola de vidro contendo gases em baixa pressão composto de eletrodos metálicos que possibilitavam conexões com dispositivos capazes de fornecerem correntes elétricas elevadas.

Algumas descobertas foram fundamentais para a reformulação do modelo atômico de Dalton. Dentre tais desenvolvimentos estão a denominação Bobina de Ruhmkorff passou a ser tomada como sinônimo de bobina de indução, a criação de bombas a vácuo eficientes e a produção de ampolas seladas de vidro, contendo gases a baixas pressões e dotadas de eletrodos metálicos em suas extremidades.

No que diz respeito ao estudo envolvendo descargas elétricas em pressões reduzidas, o químico físico inglês William Crookes (1832-1919) teve papel fundamental. Com a realização dos experimentos com tubos de descargas de gás ou tubo de Crookes foi possível esclarecer a natureza elétrica da matéria. J.J. Thomson, em 1897, demonstrou que os raios catódicos ao se chocarem com o eletrodo de um eletrômetro, este acusa uma carga negativa.

Joseph John Thomson, físico britânico, é considerado o pai do elétron, ganhou o prêmio Nobel de física de 1906 devido a seus experimentos acerca da condução de

eletricidade por gases. Ele conseguiu observar a partir de seus experimentos que raios catódicos eram feixes de partículas carregadas negativamente.

Com base em vários de seus experimentos, surgiu uma nova relação entre matéria e eletricidade. Essas observações permitem prever que toda matéria, no estado normal, é formada por partículas elétricas que se neutralizam.

A teoria atômica de Thomson foi primogênita no modelo de estrutura atômica a apontar a divisibilidade do átomo e conseqüentemente derrubou a teoria atômica de Dalton. Com base nas experiências realizadas com raios catódicos Thomson propôs sua teoria sobre como seria o átomo e sua constituição. Tubos de raios catódicos são tubos de vidro lacrados dos quais a maior parte do ar foi retirada. É aplicada uma alta voltagem através de dois eletrodos em uma das extremidades do tubo, o que faz com que um feixe de partículas flua do cátodo (o eletrodo carregado negativamente) para o ânodo (o eletrodo carregado positivamente).

Os tubos são chamados tubos de raios catódicos porque o feixe de partículas, ou "raio catódico", se origina no cátodo. É possível detectar o raio pintando um material conhecido como fósforo na extremidade do tubo, além do ânodo. O fósforo emite centelhas, ou luz, quando atingido pelo raio catódico.

Para testar as propriedades das partículas, Thomson colocou duas placas elétricas ao redor do raio catódico. O raio catódico desviou-se da placa elétrica de carga negativa e foi em direção à placa elétrica de carga positiva. Isso indicou que o raio catódico era composto de partículas carregadas negativamente.

Thomson também colocou dois ímãs em cada lado do tubo, e observou que este campo magnético também desviava o raio catódico. Os resultados desses experimentos ajudaram Thomson a determinar a razão entre massa e carga das partículas do raio catódico, o que levou a uma fascinante descoberta de que a massa de cada partícula era muito menor que a de qualquer átomo conhecido. Thomson repetiu seus experimentos usando diferentes metais como materiais de eletrodo, e descobriu que as propriedades do raio catódico permaneciam constantes independentemente do material catódico de onde se originavam.

A partir destas evidências, Thomson chegou às seguintes conclusões:

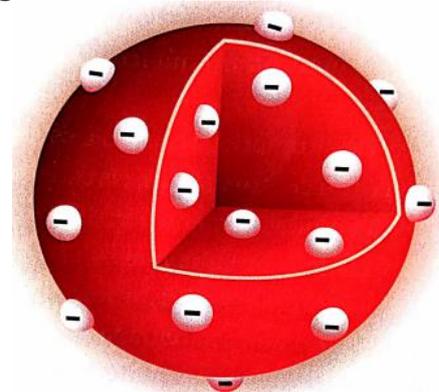
- O raio catódico é composto de partículas carregadas negativamente;
- As partículas devem ser partes do átomo, pois a massa de cada partícula é apenas  $\sim 1/2000$  da massa de um átomo de hidrogênio;

- Essas partículas subatômicas podem ser encontradas nos átomos de todos os elementos.

Apesar de inicialmente controversas, as descobertas de Thomson foram gradualmente aceitas pelos cientistas. Por fim, suas partículas de raios catódicos receberam o nome de elétrons. A descoberta do elétron refutou a parte da teoria atômica de Dalton que pressupunha que os átomos fossem indivisíveis. Para dar conta da existência dos elétrons, um modelo atômico completamente novo seria necessário.

Thomson sugeriu que cada átomo seria formado por uma esfera de carga positiva homogênea, onde ficaria quase toda a massa do átomo, com os elétrons distribuídos simetricamente em torno dela (OLIVEIRA; FERNANDES, 2006). A figura 7 apresenta uma representação do modelo atômico de Thomson.

**Figura 7** – Modelo atômico de Thomson.



Fonte: Carvalho e Pires (2020).

O modelo de átomo de Thomson teria a aparência de pudim de ameixa (ou pudim com passas). De acordo com Thomson, o átomo seria um pequeno corpo esférico e pesado, cuja massa estaria distribuída em toda a sua extensão e teria carga elétrica positiva; no interior dessa massa positiva estariam os elétrons (partículas negativas) incrustados em sua superfície.

#### 3.1.1.4 O Modelo Atômico de Rutherford

Para o estabelecimento do modelo de Ernest Rutherford (fig.16) foi necessário o descobrimento dos raios-X e da radioatividade. Em 1895 o físico alemão Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) realizou experimentos com ampolas de Crookes modificadas.

Ao colocar a ampola em funcionamento Röntgen descobriu que “raios” invisíveis provenientes do tubo podiam passar através de materiais opacos à luz e de ativar anteparos fluorescentes ou filmes fotográficos. Ao entrepor a mão de sua esposa entre a ampola e uma chapa fotográfica protegida, obteve a projeção da sombra dos ossos de sua mão e de um anel que usava.

Em 1896, o físico francês Antoine Henri Becquerel posteriormente a uma discussão científica sobre a descoberta dos raios-X e o fenômeno de luminescência que provocava em certos corpos, decidiu investigar se havia alguma relação entre os raios-X e a fosforescência natural já observada em sais de urânio.

Após os estudos Becquerel mostrou que os raios emitidos pelos sais de urânio provocavam a ionização do ar e diferentemente dos raios-X, podiam ser desviados por campos elétricos e magnéticos.

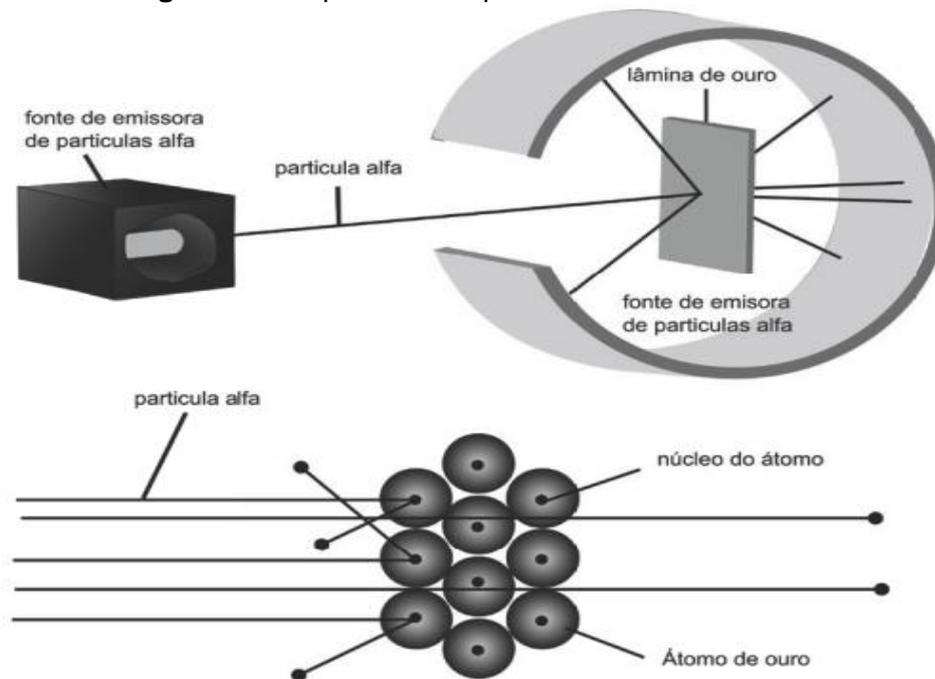
Posteriormente Marie Curie isolou, juntamente com seus colaboradores, os elementos polônio e rádio, que também emitiam o mesmo tipo de raios, a este fenômeno foi denominado de radioatividade. Em 1890, descobriu-se que certos elementos são radioativos. Isto significa que eles emitem radiação de alta energia, da qual há três tipos, os quais são, partículas alfas ( $\alpha$ ), partículas betas ( $\beta$ ) e raios gama ( $\gamma$ ) (GUIMARÃES; RUSSELL,1994).

Um dos trabalhos mais significativos de Ernest Rutherford foi a experiência da folha de ouro que contribuiu para um melhor entendimento da estrutura atômica. Em 1911 Rutherford, considerado como pai da física nuclear apresentou um modelo atômico para comunidade científica. Realizando diversos experimentos bombardeando lâmina de ouro com partículas  $\alpha$  (de cargas positivas, emitidas por polônio radioativo), Rutherford e seus colaboradores, Hans Geiger e Ernst Marsden, constataram que a grande maioria das partículas atravessavam diretamente a lâmina, algumas sofriam pequenos desvios e outras, em número muito pequeno, sofriam grande desvio, mas em sentido oposto.

A partir destas observações Rutherford concluiu que as partículas  $\alpha$  atravessam a lâmina sem sofrer desvios porque o átomo possui grandes espaços vazios; na parte central do átomo existe uma região muito pequena e densa a quem ele chamou de núcleo, de forma que as partículas  $\alpha$  que colidiam com este, voltavam sem atravessar a lâmina e os desvios que as partículas  $\alpha$  sofreram eram consequência de elas passarem muito perto do núcleo e serem repelidas por ele, uma vez que o núcleo e as partículas  $\alpha$  eram positivos.

Na figura 8 é apresentada uma representação do experimento de Rutherford onde ele bombardeou uma fina lâmina de ouro com partícula alfa

**Figura 8** – Esquema do experimento de Rutherford.



Fonte: Barbosa, Feitosa e Forte (2016).

O modelo de Rutherford representa o átomo consistindo em um pequeno núcleo rodeado por um grande volume no qual os elétrons estão distribuídos. O núcleo carrega toda a carga positiva e a maior parte da massa do átomo.

O modelo de Rutherford, apesar de explicar satisfatoriamente o espalhamento de partículas alfa por uma lâmina de ouro, era combatido na época, pois, não explicava a estabilidade do átomo que de acordo com a mecânica clássica (teoria eletromagnética clássica de Maxwell), toda partícula carregada, em movimento, emite energia na forma de ondas eletromagnéticas. Sendo o elétron uma partícula com carga negativa girando ao redor do núcleo, deveria perder energia e deveria colapsar no núcleo.

O conceito nuclear de átomo, isto é, um ultraminúsculo centro contendo a carga elétrica positiva e praticamente toda massa do átomo, sustentou-se por estar completamente de acordo com a experimentação.

Depois, percebeu-se que o modelo continha sérias limitações como:

- falha na explicação de desvios em ângulos muito pequenos ( $<1^\circ$ );
- não levava em consideração outras forças além da repulsão eletrostática, as quais eventualmente pudessem atuar a distâncias bem próximas do núcleo, e sobretudo,

- o comprometimento da estabilidade atômica, uma consequência da emissão de radiação pelos elétrons em seus movimentos ao redor do núcleo, o que os levaria a perder velocidade progressivamente seguindo então uma trajetória espiralada até caírem definitivamente no núcleo, o que na realidade não ocorre.

Estas, contudo, em nada diminuíram o mérito da conclusão a respeito da presença de núcleo no átomo, imagem que permanece absolutamente correta até os dias de hoje.

### 3.1.1.5 O Modelo Atômico de Bohr

O físico dinamarquês Niels Henry David Bohr (1885-1962) (fig. 18) trabalhou primeiro com Thomson e posteriormente com Rutherford e deu continuidade aos trabalhos desenvolvidos por este. Bohr detectou que o modelo de Rutherford contrariava a previsão clássica de que um elétron acelerado emitiria um espectro contínuo de radiações à medida que fosse perdendo energia e descia em espiral até colidir com o núcleo.

A solução da instabilidade do modelo atômico de Rutherford foi explicada por ele, que propôs um modelo atômico que aprimorava o modelo (de Rutherford), explicando a órbita dos elétrons, com base nos estudos feitos em relação ao espectro do átomo de hidrogênio e na teoria proposta em 1900 por Planck (teoria quântica), segundo a qual a energia não é emitida em forma contínua, mas em “blocos” com valores discretos, tal como pacotes, denominados quantum de energia.

De acordo com a teoria de Bohr, o elétron do átomo de hidrogênio no estado fundamental pode absorver várias quantidades discretas de energia e, assim, elevar-se a um nível de energia mais alto (GUIMARÃES; RUSSELL, 1994).

A espectroscopia atômica é uma técnica importante para o estudo da energia e da disposição dos elétrons nos átomos (LEE, 1999, p.2). De acordo com este, o espectro atômico do hidrogênio quando este gás é submetido a uma descarga elétrica emite quatro linhas de luz na região do visível com diferentes comprimentos de onda ( $\lambda$ ).

A relação do comprimento de onda com a frequência é dada pela equação:

$$v = \frac{c}{\lambda}$$

1

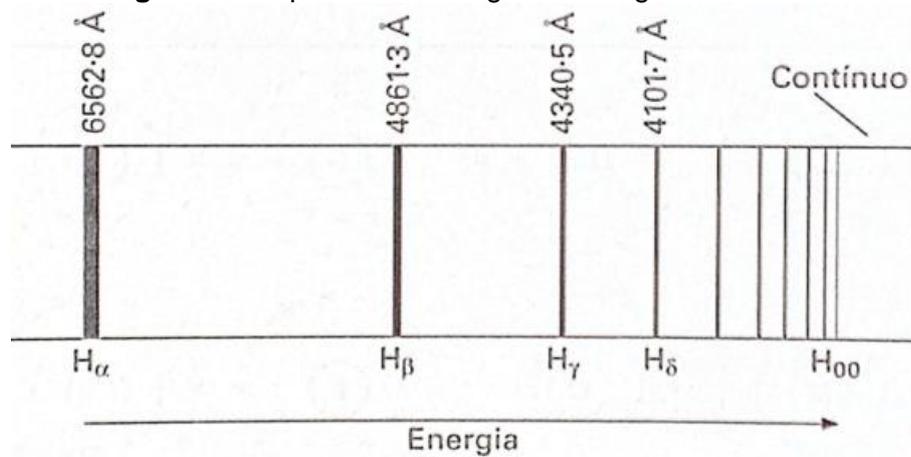
onde: c é a velocidade da luz ( $2,9979 \times 10^8 \text{ m/s}^{-1}$ ).

Normalmente frequências são escritas como função número de onda ( $\bar{\nu}$ ). No ano de 1885, Balmer mostrou que o número de onda de qualquer linha do espectro visível do hidrogênio atômico poderia ser obtido pela relação a seguir:

$$\bar{\nu} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad 2$$

onde: R é a constante de Rydberg e n os números inteiros 3, 4, 5... substituindo-se os valores de n, obtem-se uma serie de linhas denominadas de serie de Balmer. A figura 9 ilustra o espectro do hidrogênio na região do visível.

**Figura 3** – Espectro do hidrogênio na região do visível.



Fonte: Lee (1999).

Entretanto além da serie de Balmer, é possível encontrar várias outras series na região do espectro visível (fig.10).

**Figura 10** – Diferentes series observadas no espectro do hidrogênio na região do visível.

$$\text{Lyman} \quad \bar{\nu} = R \left( \frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 2, 3, 4, 5 \dots$$

$$\text{Balmer} \quad \bar{\nu} = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 3, 4, 5, 6 \dots$$

$$\text{Paschen} \quad \bar{\nu} = R \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 4, 5, 6, 7 \dots$$

$$\text{Brackett} \quad \bar{\nu} = R \left( \frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 5, 6, 7, 8 \dots$$

$$\text{Pfund} \quad \bar{\nu} = R \left( \frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad n = 6, 7, 8, 9 \dots$$

Fonte: Lee (1999).

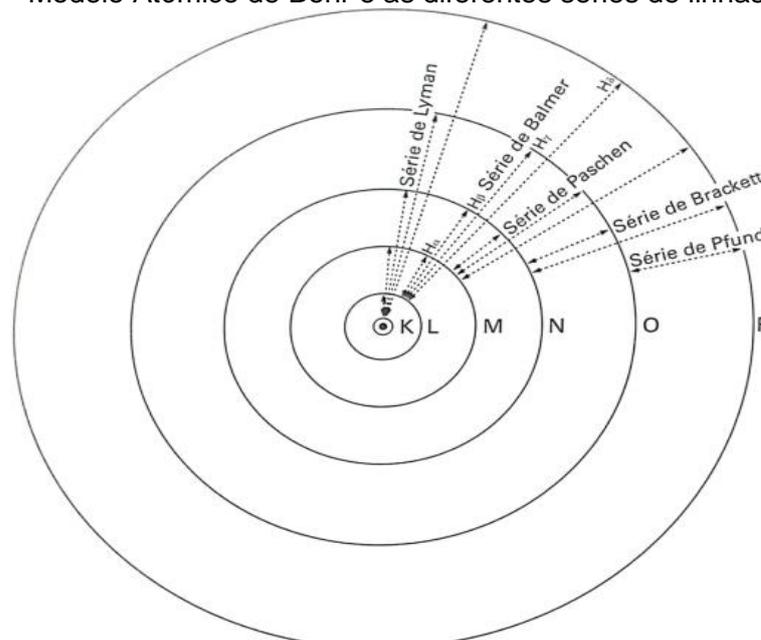
No modelo atômico de Bohr, as órbitas dos elétrons passariam a ser chamadas de níveis energéticos ou estados estacionários onde os níveis de energia eram representados pelas letras K, L, M, N, O, P, Q. Sobre esse modelo, ele elaborou postulados:

- i) Um elétron em um átomo se move numa órbita circular em torno do núcleo sob influência da atração de natureza elétrica, entre o elétron e o núcleo, obedecendo às leis da mecânica clássica.
- ii) Ao invés das infinitas órbitas que seriam possíveis segundo a mecânica clássica, um elétron só pode se mover em uma órbita na qual seu momento angular orbital é um múltiplo inteiro da constante de Planck ( $h$ ).
- iii) Apesar de estar constantemente acelerado, o elétron que se move numa dessas órbitas possíveis não emite radiação eletromagnética. Portanto, sua energia total  $E$  permanece constante.
- iv) há emissão eletromagnética quando um elétron que se move inicialmente sobre uma órbita de energia total  $E_i$ , muda seu movimento para uma órbita com energia  $E_f$ . A frequência da radiação emitida  $f$  é igual a:

$$\frac{E_i - E_f}{h} \quad 3$$

A figura 11 apresenta um esquema do modelo atômico sugerido por Bohr, para o átomo de hidrogênio e as diversas series de linhas espectrais.

**Figura 4** – Modelo Atômico de Bohr e as diferentes series de linhas espectrais



Fonte: Lee (1999).

Embora o modelo de Bohr tenha sido um passo importantíssimo em direção ao modelo correto da estrutura dos átomos, ele não é a resposta final (PARENTE; SANTOS, 2013).

Logo, podemos dizer que o modelo atômico de Bohr, foi fundamental para mudar a forma de pensar a respeito da estrutura atômica por representar uma ruptura com conceitos clássicos, abrindo caminho para uma nova física (física das partículas) que viria se instaurar anos mais tarde.

O modelo atual é um aperfeiçoamento do modelo de Bohr e leva em consideração o princípio da incerteza de Heisenberg e a dualidade onda-partícula de Louis de Broglie.

#### 3.1.1.6 O Modelo Atômico Atual

A teoria de Böhr explicava o que ocorria com o átomo de hidrogênio, mas apresentou-se inadequada para esclarecer os espectros atômicos de outros átomos com dois ou mais elétrons. Até 1900, tinha-se o entendimento de que a luz possuía caráter de onda. Em detrimento dos trabalhos realizados por Planck e Einstein, essa concepção foi alterada.

Einstein propôs que a luz seria formada por partículas-onda, ou seja, segundo a mecânica quântica, as ondas eletromagnéticas podem mostrar algumas das propriedades características de partículas e vice-versa. A natureza dualística onda-partícula passou a ser aceita universalmente.

O modelo atômico atual teve a contribuição de vários cientistas. A seguir apresentado de modo sintetizado as colaborações de cada um deles.

Após Böhr enunciar seu modelo, verificou-se que um elétron, numa mesma camada, apresentava energias diferentes.

Arnold J.W. Sommerfeld (1920) determinou que o elétron descreve órbitas elípticas, além das circulares. Dessa forma os níveis de energia (camadas) seriam formados por subníveis de energia (subcamadas), sendo uma circular e as demais, elípticas.

Louis Victor De Broglie (1924) propôs que o elétron apresenta um comportamento dualístico, ou seja, ora de partícula, ora de onda, o que foi justificado, mais tarde (1929), pela primeira difração de um feixe de elétrons, obtida pelos cientistas Germer e Davisson.

Werner Heisenberg (1926) demonstrou, matematicamente, que é impossível determinar a velocidade, a posição e a trajetória dos elétrons simultaneamente, sendo importante caracterizá-lo pela sua energia, já que não se podem estabelecer órbitas definidas. O princípio de incerteza Heisenberg afirma não ser possível determinar com exata precisão a posição do elétron e a velocidade num mesmo instante por isso se fala em probabilidade.

A natureza probabilística da física quântica está associada a uma importante limitação para medida da posição e do momento de uma partícula. É impossível medir simultaneamente a posição e o momento de uma partícula com precisão ilimitada (HALLIDAY; RESNICK, 2007).

Este princípio afirma que, quanto maior for a precisão na determinação da posição do elétron, menor será a precisão na determinação da velocidade ou quantidade de movimento (e vice-versa). A imprecisão na determinação da posição de uma partícula livre  $x$  está relacionada a imprecisão na medida do momento  $\Delta p$  (ver equações 4).

A razão disso é que se fosse possível manter um elétron imóvel tempo suficiente para que sua posição fosse determinada, já não seria possível determinar seu momento (BRENNAN, 2000).

$$\Delta x. \Delta p_x \geq \hbar$$

$$\Delta x. \Delta p_y \geq \hbar$$

$$\Delta x. \Delta p_z \geq \hbar$$

4

(Princípio de Incerteza de Heisenberg)

As equações (4) representam as indeterminações nas medidas das componentes da posição  $r$  e do momento  $p$ . O  $\hbar$  cortado é uma constante conhecida como constante de Planck normalizada equivalente a  $h$  dividido para  $2\pi$  (HALLIDAY; RESNICK, 2007).

De uma maneira simplória, o princípio da incerteza é interpretado como mostrando somente que uma medida, inevitavelmente, perturba o sistema em observação (PIRES, 2011). Esta afirmativa carrega o significado de que a medida da posição , causa um conflito inesperado no momento e vice-versa, não sendo possível ter o conhecimento do estado da partícula antes da medição pois existe uma incerteza estatística intrínseca nas medições da posição e momento.

O princípio da incerteza declara ser impossível medir a velocidade de uma partícula e simultaneamente, determinar a sua posição, sem que a partícula seja influenciada pelos instrumentos de medição (ABDALA, 2016).

Em 1927, Erwin Schrodinger, em virtude da impossibilidade de calcular a posição exata de um elétron na eletrosfera, desenvolveu uma equação de ondas que permitia determinar a probabilidade de se encontrar o elétron numa dada região do espaço, ao redor do núcleo. Nesse sentido, a região do espaço onde é máxima a probabilidade de se encontrar o elétron é chamada de orbital.

A probabilidade de encontrar um elétron num ponto do espaço levando em consideração as três coordenadas  $x, y$  e  $z$  é satisfeita com a equação de onda de Schrodinger.

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = \frac{-4\pi^2}{\lambda^2} \psi \quad 5$$

Usando o símbolo  $\Delta$  no lugar das derivadas parciais chega-se a uma forma simplificada para esta equação.

$$\Delta^2 \psi = \frac{-4\pi^2}{\lambda^2} \psi \quad 6$$

A probabilidade de se encontrar um elétron num ponto  $x, y, z$  é  $\Psi^2$ , de modo que,

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \Psi^2 dXdYdZ = 1 \quad 7$$

As soluções aceitáveis para a equação de onda, ou seja, fisicamente possíveis devem ter certas propriedades dentro delas,  $\psi$  deve ser contínua e finita, gerar um único resultado e a probabilidade de se encontrar o elétron em todo o espaço, de  $+\infty$  até  $-\infty$ , deve ser igual a um (LEE, 1999).

### 3.1.2 Dualidade onda/partícula

A luz é uma radiação eletromagnética que em alguns fenômenos se comporta como onda e em outros se comporta como partícula. Por exemplo, na física clássica os fenômenos de interferência e difração são explicados satisfatoriamente pelo comportamento ondulatório. No entanto, existem outros fenômenos, como no caso do efeito fotoelétrico, no qual a explicação só é possível a partir da consideração da luz como partícula (BANDEIRA, 2017). Desse modo, na Física Quântica, os dois modelos são necessários para descrever completamente qualquer ente físico, embora não nas

mesmas circunstâncias. É a isso que se refere a expressão dualidade onda-partícula (PALANDI *et al.*, 2010).

Na tentativa de conciliar os conceitos de onda e partícula, Willian Bragg teria dito “os elétrons se comportam como partícula às segundas, quarta e sextas e como ondas às terças, quintas e sábados.” Aos domingos, presumivelmente, os físicos descansariam do esforço de tentar compatibilizar os dois comportamentos (NUSSENZVEIG, 1998).

Em 1924, De Broglie tentando compreender o comportamento dual da radiação eletromagnética postulou que cada partícula (elétron, átomo) está associada uma onda de matéria, cuja frequência e comprimento de onda são respectivamente determinados pelas equações:

$$E = hv; \lambda = \frac{h}{p} \quad 8$$

onde  $p$  é o momento linear da partícula (PERES, 2016).

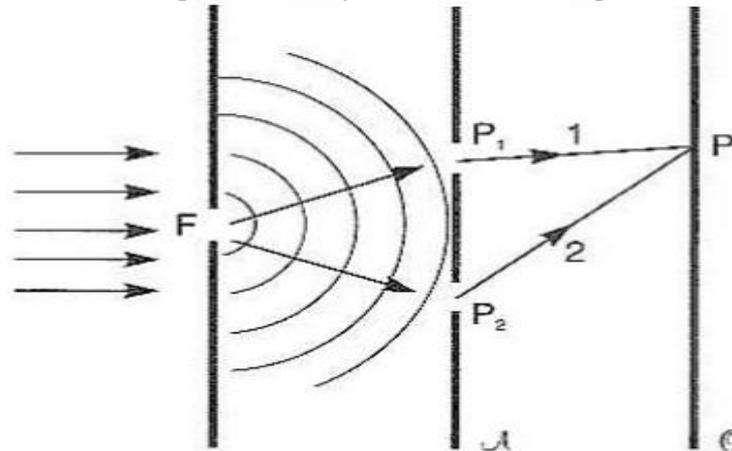
Louis Victor de Broglie estendeu, em 1925, o caráter dual da luz para a matéria, ele propôs que o comportamento dual fosse estendido para toda matéria como prótons, nêutrons, átomos, moléculas e não somente aos elétrons.

Na verdade, todos os fenômenos naturais – elétrons, átomos, luz, som – possuem aspectos corpusculares e aspectos ondulatórios. Costuma-se dizer, por exemplo, que os elétrons se comportam ao mesmo tempo como ondas e como partículas (LIEWELLYN; TIPLER, 2001).

O significado do comportamento dual onda-partícula pode ser mostrado a partir do experimento das duas fendas. Este experimento foi idealizado em 1801 por Thomas Young.

No experimento de Young ele utilizou uma fonte de luz puntiforme  $F$ , e fez com que a luz fosse difratada ao passar por um pequeno orifício propagando-se em direção a outros dois pequenos orifícios  $P1$  e  $P2$  um próximo ao outro onde novamente acontecia o fenômeno da difração, o resultado era observado sobre outro anteparo (alvo). Após a luz passar pelos dois orifícios as ondas se superpõem, interferindo-se construtivamente ou destrutivamente, em lugar do resultado ser a soma das iluminações dos dois orifícios, apareciam franjas brilhantes e escuras, as franjas de interferência (NUSSENZVEIG, 2002).

Figura 12 – Experimento de Young.



Fonte: Nussenzveig (2010).

Nessa experiência, os elétrons possuem propriedade de partículas e ondas; eles chegam no anteparo como blocos distintos, mas com configuração de intensidade característica de uma onda (PIRES, 2011). Com o experimento das duas fendas ficou comprovado a dualidade onda-partícula para a radiação eletromagnética.

Ainda de acordo com Pires (2011), no experimento da dupla fenda é possível observar os efeitos da interferência através da função de onda.

Nesse caso considera  $\psi_1$ , a função de onda relacionada a passagem do elétron pela fenda 1,  $\psi_2$  a função de onda em relação a passagem dos elétrons pela fenda 2.

Caso o orifício da fenda 2 esteja bloqueado a probabilidade dos elétrons que passam pela fenda 1 e chegam na parede é calculada por  $P_1 = \psi_1^2$  e igualmente  $P_2 = \psi_2^2$ , a probabilidade para os elétrons que passam pela fenda 2 quando o orifício da fenda 1 encontra-se fechado.

Quando os dois orifícios se encontram abertos a função de onda total é dada por,

$$\Psi = \psi_1 + \psi_2 \quad 9$$

, assim temos que a probabilidade no anteparo será dada por

$$P_{12} = |\Psi|^2 = |\psi_1 + \psi_2|^2 \quad 10$$

, logo, chegamos à conclusão que

$$P_{12} = P_1 + P_2 + \text{termos de interferência}. \quad 11$$

Para escala atômica ou subatômica como no caso da experiência das duas fendas com elétrons é fornecido somente a probabilidade de um elétron ser detectado em um ponto especificado no anteparo, com relação onde o elétron vai parar a Mecânica Quântica não nos diz.

A função de onda que apresenta um significado físico é  $\psi^2(r)dV$ , que pode ser interpretada como a probabilidade de que o elétron seja detectado em um elemento de volume (infinitesimal)  $dV$  situado a uma distância  $r$  do centro do átomo (HALLIDAY; RESNICK, 2009).

Como é  $\psi^2(r)$  depende apenas de  $r$  faz sentido escolher o volume entre duas cascas concêntricas de raio  $r$  e  $r + dr$ , como a área da casca interna é  $4\pi r^2$  e  $dr$  a distância radial entre as duas cascas, a probabilidade de detecção do elétron no volume fica:

$$\psi^2(r)dV = \frac{4}{a^3} e^{-\frac{2r}{a}} r^2 dr \quad 12$$

Entretanto é mais fácil de determinar a probabilidade de detecção do elétron se trabalhar com a densidade de probabilidade radial  $P(r)$ , quando comparada com a probabilidade volumétrica  $\psi^2(r)$ , neste caso temos:

$$P(r)dr = \psi^2(r)dr \quad 13$$

Para o átomo de hidrogênio a probabilidade de encontrar o elétron fica:

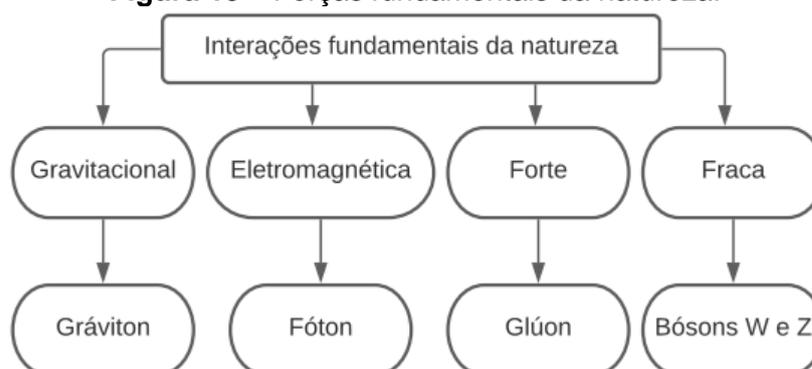
$$\int_0^{\infty} P(r)dr = 1 \quad 14$$

Esta equação estabelece a probabilidade de encontrar o elétron em algum lugar do espaço em volta do núcleo.

### 3.1.3 Forças Fundamentais da Natureza

Na mecânica quântica, as forças ou interações entre partículas de matéria são todas supostamente transportadas pelas partículas (HAWKING; MLODINOW, 2008).

Na natureza existem quatro forças fundamentais que são as forças gravitacional, eletromagnética, forte e fraca. Cada uma delas age sobre um âmbito diferente e são responsáveis por reger o universo a qual conhecemos. A figura 25 apresenta as principais interações fundamentais da natureza e suas respectivas partículas de forças.

**Figura 13** – Forças fundamentais da natureza.

Fonte: Produção do próprio autor (2021).

A força gravitacional é responsável pela atração entre corpos que possuem massa e foi estudada a princípio por Newton e posteriormente aperfeiçoada por Einstein em sua teoria da relatividade geral é a interação mais fraca. A interação gravitacional é diretamente proporcional às massas dos corpos e inversamente a distância entre eles, a partícula mediadora da força gravitacional é chamada de gráviton, mas nunca foi detectada experimentalmente. A força gravitacional é uma força atrativa de longo alcance (OSTERMANN, 2001).

Segundo Abdalla (2016), a força gravitacional é responsável pela interação das massas, é a força que estabiliza o universo. É ela que mantém juntos os oito planetas que giram em torno do sol, dentre eles a terra.

De acordo com Halliday e Resnick (2016), toda partícula do universo atrai outras partículas com uma força gravitacional dado por:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad 15$$

onde:  $m_1$  e  $m_2$  são as massas das partículas;

$r$  é a distância entre as partículas;

$G$  é a constante gravitacional vale  $(6,67 \cdot 10^{-11} N \cdot m^2 / kg^2)$ .

A força eletromagnética é responsável pela eletricidade e magnetismo está relacionada a carga elétrica, os prótons, elétrons e o fóton são partículas elementares fundamentais deste tipo de interação. Ela pode ser atrativa ou repulsiva cargas de mesmo sinal se repelem e cargas de sinais contrários se atraem.

A interação eletromagnética assim como a gravitacional é de longo alcance é a força que mantém o elétron ligado ao núcleo e a sua partícula mediadora é o fóton ( $\gamma$ ) (SANTOS, 2019). É por meio da troca de fótons entre o elétron e o próton que ocorre a atração ou a repulsão entre eles. A ação dessa interação é ilimitada, mas diminui com a distância e, além disso, por se tratar de fótons, ocorre na velocidade da luz.

A equação usada para calcular a força eletrostática exercida por partículas carregadas é chamada lei de Coulomb em homenagem a Charles-Augustin de Coulomb, que a propôs em 1785 (HALLIDAY E RESNICK 2012). Em seguida é apresentada a lei de Coulomb.

$$\vec{F} = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \quad 16$$

onde  $r$  é a distância entre as partículas e  $K$  é a constante eletrostática.

A equação (16) estabelece que a força é proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas análoga com a gravitação.

A investigação direta da lei das forças foi feita em 1785 por Charles-Augustin de Coulomb com o auxílio de uma balança de torção, instrumento inventado independentemente por ele e John Mitchell (NUSSENZVEIG, 1997).

Já a força forte é uma interação atrativa que ocorre entre os quarks e apresenta um raio de alcance pequeno. Logo, ela só existe entre os constituintes nucleares. Esta interação é responsável por manter o núcleo do átomo estável, impedindo que os prótons se espalhem. Por outro lado, ao contrário da lei de Coulomb, a força forte aumenta com a distância. Seu raio de ação é muito pequeno, da ordem dos  $10^{-15}$  m.

Assim, a força forte, só age, nos constituintes do núcleo e, como os núcleos (prótons e nêutrons) são constituídos de quarks, a mediação dessa interação ocorre pela troca de partículas virtuais entre os quarks. Essas partículas mediadoras são os glúons (OSTERMANN, 1999).

A Teoria da força Fraca foi desenvolvida pelo físico italiano Enrico Fermi, em 1933, por meio de uma descrição relativística e quântica (ABDALLA, 2016). Essa interação ocorre em decaimentos radioativos e nas interações no interior do Sol.

Este tipo de força atua sobre as partículas elementares e assim como a interação forte, tem alcance muito curto (da ordem de  $10^{-18}$  m). Esta interação é responsável pelo decaimento radioativo de partículas como os nêutrons, múons e toda as reações envolvendo neutrinos. No modelo padrão, a interação fraca tem como partículas mediadoras os bósons W e Z (SANTOS, 2014).

### 3.2 Partículas elementares

A física de partícula tem por objetivo estudar a matéria numa menor escala possível e determinar quais são os constituintes fundamentais da matéria que formam o universo. Mas afinal quais são os constituintes fundamentais da matéria?

No início da década 1930, a estrutura do átomo estava bem estabelecida e a estrutura do núcleo do átomo estava sendo muito investigada. Acreditava-se que os constituintes fundamentais da matéria seriam elétrons, prótons e nêutrons.

No final do século XIX, foi possível conhecer a natureza interna do átomo e o elétron foi a primeira partícula observada, posteriormente foram descobertas outras partículas. Até o início de 1950, a grande maioria das partículas descobertas foi erroneamente considerada elementar, pois o método de observação não permitia ver-lhes a natureza mais íntima (ABDALLA, 2016).

Hoje sabemos que os átomos são constituídos de elétrons que formam as camadas eletrônicas, por núcleons, composto de prótons e nêutrons e, estes, são constituídos por quarks. Quarks são aparentemente os constituintes fundamentais da matéria (MOREIRA, 2011).

Para explicar o problema da estabilidade do núcleo atômico, haja vista que, este era constituído de nêutrons e prótons e de acordo com as bases do eletromagnetismo o núcleo do átomo deveria ocorrer uma repulsão elétrica entre as partículas de mesmo sinal o que levaria a desintegração do átomo. Entretanto, em 1935, Hideki Yukawa propôs a existência de uma nova partícula que seria mediadora da interação que manteria nêutrons e prótons coesos no núcleo (MOREIRA, 2011). Esta partícula mediadora responsável pela interação entre prótons e nêutrons foi batizada de méson  $\pi$  e foi descoberta em 1947.

De acordo com o conhecimento científico atualmente podemos dividir as partículas elementares em dois grandes grupos: as que são chamadas genericamente de matéria, que podem ainda ser classificadas em dois tipos (léptons e quarks), e as que estão associadas com as interações ou forças fundamentais da natureza (ROSENFELD, 2013).

Os léptons e os quarks são os constituintes básicos da matéria, essas partículas são consideradas verdadeiramente elementares pelo fato de não possuírem estrutura interna.

### 3.2.1 Os Quarks

Na tentativa de explicar a diversidade de partículas o físico contemporâneo Murray Gell-Mann, descobriu padrões que poderiam ser compreendidos se as partículas fossem feitas de um trio de componentes mais básico os quais ele batizou de quarks (BAKER, 2015).

A primeira tentativa de agrupar e classificar as diferentes partículas com características similares foi feita de forma independente pelos físicos Murray Gell-Mann e Yuval Ne'eman chamada de classificação octal. Todas as partículas dentro de uma família tinham spin e número bariônico iguais e possuíam aproximadamente a mesma massa (MOREIRA, 2011).

Spin é um dos números quânticos característicos das partículas elementares. É a propriedade associada ao movimento de rotação devido a velocidade angular em torno do seu próprio eixo e que independe de sua velocidade linear (ABDALLA, 2005).

Existem 6 tipos de quarks conhecidos até hoje, que são geralmente chamados de sabores. Este termo nada tem a ver com o significado ordinário da palavra, é apenas uma palavra imaginativa (PIRES, 2011).

Os quarks conhecidos foram batizados de up (u), down (d), strange(s), charm (c), bottom (b) e top (t) todos apresentam spin  $\frac{1}{2}$ . As partículas que apresentam spin  $\frac{1}{2}$  como por exemplo os elétrons, prótons, nêutrons e quarks obedecem ao princípio da exclusão de Pauli, de acordo com este princípio duas partículas do mesmo tipo não podem ocupar o mesmo estado quântico, em outras palavras, o mesmo estado de energia e spin.

Nesse sentido, partículas formadas por três quarks idênticos não deveriam existir, no entanto, uma partícula chamada de  $\Omega^-$  (ômega menos) formada por três quarks estranho idênticos teria sido descoberta.

Para solucionar o problema, em 1964 dois físicos da Universidade de Chicago, Yoichiro Nambu e Moo-Youn Han, resolveram o impasse propondo um novo número quântico chamado de cor. É importante ressaltar a palavra cor utilizada nesse contexto não tem nada a ver com o significado de cor trabalhado na Óptica, cor é uma propriedade da matéria assim como carga elétrica.

Os quarks, que certamente obedeciam ao princípio de Pauli, não só viriam em três sabores diferentes, mas também em três cores. Cada quark aparece em três versões coloridas: vermelho, azul e verde (ABDALLA, 2016).

Os quarks d, s, e b possuem uma carga elétrica  $\frac{-1}{3}$  (em unidades da carga do próton e os outros uma carga de  $\frac{2}{3}$ ). A existência de cargas elétricas com valores fracionários foi um “resultado assustador”, pois até então não havia nenhuma evidência experimental de cargas isoladas menores do que a carga do próton (CARVALHO; PIRES, 2020). Como os quarks não são encontrados isolados, eles sempre se juntam em combinações a carga elétrica total é inteira.

A Teoria Quântica de Campos prevê que para cada partícula existe uma antipartícula. Em alguns casos como acontece com o fóton, por exemplo, a antipartícula é a própria partícula. A antipartícula apresenta a mesma massa e spin dessa partícula, contudo carga elétrica, número bariônico e número léptonico oposto. Quando a partícula e antipartícula entram em contato elas se aniquilam e ocorre a transformação de sua massa em energia.

Logo, o número total de quarks chega a 36 sendo 6 quarks up, down, strange, charm, bottom e top, estes podem apresentar cada um três cores totalizando 18, como cada partícula está associada a uma antipartícula, cada quark está associado a um antiquark podendo ter três anticolors chegando a um total de 18 deste modo o número total de possibilidade chega a 36.

As partículas que apresentam estrutura interna são chamadas de hádrons e a estrutura interna dessas partículas é constituída por partículas elementares, os quarks. Os hádrons se subdividem em duas classes, os bárions, os quais são constituídos por três quarks ou três antiquarks. Já os mésons são formados por um quark e um antiquark. Os bárions mais familiares são os prótons e os neutros. Alguns hádrons decaem em partículas de uma outra classe denominadas de léptons que exercem interação fraca.

### 3.2.2 Léptons

Algumas partículas aparentemente são elementares no sentido de que não têm tamanho ou estrutura interna. Elas foram chamadas de léptons (que do grego significa leve) (CARVALHO; PIRES, 2020).

Os léptons são partículas que parecem ser simples, sem estrutura (isto é, sem tamanho discernível), pontuais, indivisíveis e, portanto, tanto quanto sabemos, verdadeiramente fundamentais (PIRES, 2011). Similarmente aos quarks até hoje,

foram identificados 6 léptons a saber: elétron, múon, tau, neutrino do elétron, neutrino do múon e neutrino do tau. Os elétrons, múons e tauons têm carga negativa, sendo que o múon tem massa 400 vezes mais que o elétron e o tauon cerca de 3.500 vezes.

A família dos léptons apresentam partículas de spin 1/2, sem cor, que podem ter carga elétrica ou não e parecem ser partículas verdadeiramente elementares: nenhuma delas aparenta ter uma estrutura interna (MOREIRA, 2011). Os léptons e quarks são chamadas de partículas reais (partículas de matéria), enquanto as partículas mediadoras são chamadas de virtuais e são responsáveis em descrever o processo de interação entre as partículas constituintes da matéria. A figura a seguir mostra as propriedades dos léptons conhecidos.

**Figura 14 - Léptons e algumas propriedades**

Família	Partícula	Símbolo	Massa (MeV/c <sup>2</sup> )	Carga $q$	Antipartícula
Elétron	Elétron	$e^-$	0,511	-1	$e^+$
	Neutrino do elétron <sup>b</sup>	$\nu_e$	$\approx 1 \times 10^{-7}$	0	$\bar{\nu}_e$
Múon	Múon	$\mu^-$	105,7	-1	$\mu^+$
	Neutrino do múon <sup>b</sup>	$\nu_\mu$	$\approx 1 \times 10^{-7}$	0	$\bar{\nu}_\mu$
Táupon	Táupon	$\tau^-$	1777	-1	$\tau^+$
	Neutrino do táupon <sup>b</sup>	$\nu_\tau$	$\approx 1 \times 10^{-7}$	0	$\bar{\nu}_\tau$

Fonte: Halliday e Resnick (2016).

Existem razões para dividir os léptons em três famílias, cada uma composta por uma partícula (elétron, múon ou tau), o neutrino associado e as antipartículas correspondentes. O Modelo padrão arranja as partículas que constituem a matéria em três famílias, cada uma formada por um lépton, um neutrino e dois quarks mais as antipartículas correspondentes (CARVALHO, PIRES, 2020).

Os léptons com carga são: o elétron, o múon e o táupon, todos com a mesma carga e spin do elétron diferindo na massa. De acordo com os experimentos, em todas as interações que envolvem léptons são conservados três números quânticos, conhecidos como números léptônicos: o número eletrônico  $L_e$ , o número muônico  $L_\mu$ , e o número tauônico  $L_\tau$ . Os números leptônicos são conservados separadamente em todas as interações de partículas (HALLIDAY, RESNICK, 2014). A figura a seguir mostra o número leptônico de cada lépton e anti-lépton.

**Figura 15** - Conservação do número leptônico

Partícula	$L_e$	$L_\mu$	$L_\tau$	Antipartícula	$L_e$	$L_\mu$	$L_\tau$
$e^-$	+1	0	0	$e^+$	-1	0	0
$\nu_e$	+1	0	0	$\bar{\nu}_e$	-1	0	0
$\mu^-$	0	+1	0	$\mu^+$	0	-1	0
$\nu_\mu$	0	+1	0	$\bar{\nu}_\mu$	0	-1	0
$\tau^-$	0	0	+1	$\tau^+$	0	0	-1
$\nu_\tau$	0	0	+1	$\bar{\nu}_\tau$	0	0	-1

Fonte: Kaneco (2017)

A lei da conservação do número leptônico é útil, pois a partir dela podemos identificar reações ou decaimentos dos léptons que devem ou não ocorrer (KANECO, 2017). Para os léptons é associado um número léptônico +1, as antipartículas é atribuído um número léptônico igual, porém de sinal contrário a partícula correspondente.

### 3.3 Modelo padrão

O modelo padrão da física de partículas elementares surgiu por volta da década de 1970 e descreve quais são as partículas fundamentais constituintes da matéria e a força de interação entre elas. Este se manteve em sua forma básica por três décadas e tem resistido a um grande número de testes experimentais. Primeiro, a lista dos constituintes básicos, o conjunto de partículas atualmente consideradas como fundamentais/elementares/indivisíveis (BAUER; DIAS; WESTFALL, 2013).

Atualmente são conhecidas centenas de partículas, na tentativa de fazer sentido a grande quantidade de partículas, os cientistas procuram classificá-las de acordo com alguns critérios simples e o resultado é conhecido como a mais sofisticada teoria matemática sobre a natureza denominada modelo padrão das partículas elementares. Uma forma simples de classificação diz respeito ao momento angular intrínico característico da partícula (Spin), com base nesse critério existem dois grupos de partículas elementares fundamentais diferentes a saber: férmions e bósons.

Todas as partículas que apresentam o número quântico de spin semi-inteiro são férmions. A figura 16 mostra as cargas, massas e antipartículas de todos os férmions elementares.

**Figura 16** - Férmions elementares e algumas propriedades

Nome	Partícula			Antipartícula*	
	Símbolo	Carga [e]	Massa [MeV/c <sup>2</sup> ]	Nome	Símbolo
Quark <i>down</i>	<i>d</i>	-1/3	5±2	Antiquark <i>down</i>	$\bar{d}$
Quark <i>up</i>	<i>u</i>	+2/3	2,2±0,8	Antiquark <i>up</i>	$\bar{u}$
Elétron	<i>e</i> <sup>-</sup>	-1	0,510999	Pósitron	<i>e</i> <sup>+</sup>
Neutrino do elétron	$\nu_e$	0	< 0,0000005	Antineutrino do elétron	$\bar{\nu}_e$
Quark <i>strange</i>	<i>s</i>	-1/3	100±30	Antiquark <i>Stronge</i>	$\bar{s}$
Quark <i>charm</i>	<i>c</i>	+2/3	1250±100	Antiquark <i>Chorm</i>	$\bar{c}$
Múon	$\mu^-$	-1	105,66	Múon	$\mu^+$
Neutrino do múon	$\nu_\mu$	0	< 0,19	Antineutrino do múon	$\bar{\nu}_\mu$
Quark <i>bottom</i>	<i>b</i>	-1/3	4200±100	Antiquark <i>bottom</i>	$\bar{b}$
Quark <i>top</i>	<i>t</i>	+2/3	(1,74±0,03) · 10 <sup>5</sup>	Antiquark <i>top</i>	$\bar{t}$
Lépton tau	$\tau^-$	-1	1776,99	Lépton tau	$\tau^+$
Neutrino do tau	$\nu_\tau$	0	< 18,2	Antineutrino do tau	$\bar{\nu}_\tau$

Fonte: Bauer, Dias e Westfall (2013).

Os férmions mais leves são chamados de léptons enquanto os mais pesados, formados por estados de quarks ligados pela interação forte, são chamados de hádrons. O nome férmions foi dado em homenagem a Fermi e o nome bósons em homenagem ao físico indiano Satyendra Nath Bose.

Os bósons não obedecem ao princípio de exclusão de Pauli, logo o mesmo estado quântico pode ser ocupado por um número ilimitado de bósons. Estes apresentam número quântico de spin nulo ou inteiro. Os fótons têm spin igual a 1 e portanto, são exemplos de bósons. Em seguida (fig. 17), lista os bósons elementares do modelo padrão da física de partículas e algumas de suas propriedades.

**Figura 17** - Bósons elementares e algumas propriedades

Nome	Símbolo	Spin [ $\hbar$ ]	Massa [ $\text{GeV}/c^2$ ]	Carga [ $e$ ]	Interação*
Fóton	$\gamma$	1	0	0	Eletromagnética
W bóson	$W^+$	1	$80,403 \pm 0,029$	+1	Fraca
W bóson	$W^-$	1	$80,403 \pm 0,029$	-1	Fraca
Z bóson	$Z$	1	$91,1876 \pm 0,0021$	0	Fraca
Glúon	$g$	1	0	0	Forte
Bóson de Higgs	$H^0$	0	>150	0	(Massa)
Gráviton	$G$	2	0	0	Gravitação

Fonte: Bauer, Dias e Westtfall (2013).

A figura 17 apresenta as partículas mediadoras, mais o bóson de Higgs que é responsável pela atribuição da massa a todas as demais partículas. Em julho de 2012 o bóson de Higgs foi detectado pelo LHC, mas a confirmação de que se tratava mesmo dessa partícula veio apenas em março de 2013, depois de uma extensa análise de dados.

O Modelo Padrão pressupõe que estejamos imersos em um meio absolutamente homogêneo, denominado “campo de Higgs”. As partículas elementares ganham massa ao se mover nesse meio. Suas massas seriam decorrentes das interações com o campo de Higgs (ROSENFELD, 2013).

Para construir outras partículas a partir dos férmions elementares, é preciso mantê-los juntos de alguma forma, nesse sentido aparece as forças bem como a ideia de partículas mediadoras, estas são chamadas de quanta dos campos correspondentes. Os fótons são os quanta do campo eletromagnético, os bósons  $W^+$ ,  $W^-$ ,  $Z$  são os quanta da interação fraca, os glúons são os quanta da interação forte e o gráviton o quantum do campo gravitacional.

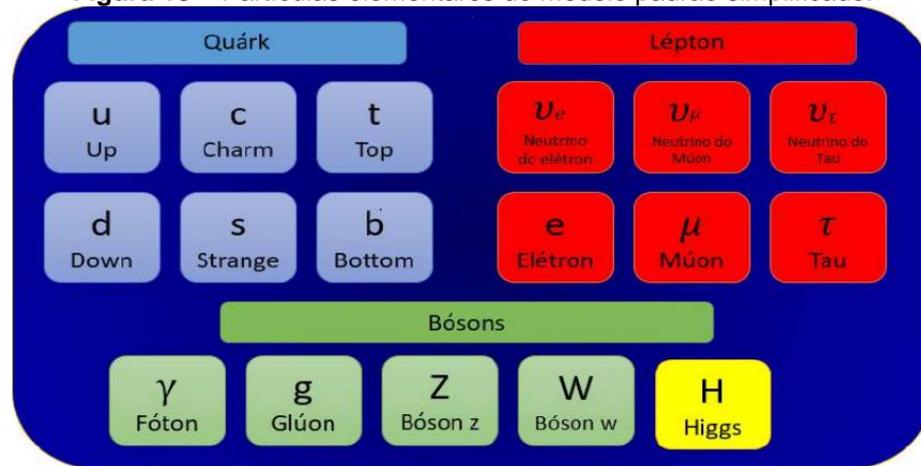
O chamado MP das partículas elementares não é propriamente um modelo, é uma teoria e, das melhores que temos. Aliás, na opinião de muitos físicos, a melhor de todas sobre a natureza da matéria (MOREIRA, 2009). Apesar do nome, o MP das Partículas Elementares é uma teoria sofisticada, abrangente, que identifica as partículas fundamentais constituintes da matéria e especifica como elas interagem (MOREIRA, 2011).

Para Pires (2011), o MP da Física de partículas é uma teoria que leva em consideração os tipos de partículas, bem como as forças que atuam entre elas e as leis que governam essas forças. Segundo o MP, toda matéria de que se tem notícia é composta por três tipos de partículas elementares: léptons, quarks e intermediadoras

(ABDALLA, 2016). As partículas intermediadoras promovem as interações entre os quarks e os léptons. A troca de uma partícula intermediadora é que estabelece a comunicação entre as partículas interagentes.

A figura 18, apresenta um esquema onde mostra as partículas elementares constituintes da matéria segundo o modelo padrão, que são os seis sabores de quarks, os seis léptons e os bósons (fóton, glúon, bóson Z, bóson W e o bóson de Higgs).

**Figura 18** – Partículas elementares do modelo padrão simplificado.



Fonte: Caliari (2018).

Em síntese, as partículas verdadeiramente fundamentais são os léptons e os quarks. As partículas constituintes do universo interagem por meio de quatro interações fundamentais a saber, a interação gravitacional, eletromagnética, forte e fraca.

Apesar de ser uma teoria sofisticada e abrangente, uma das mais completas teorias sobre a natureza da matéria, o MP apresenta limitações. Provavelmente, a maior lacuna existente, seja o fato de não conseguir incluir a gravidade. Já existe a suposição da existência da partícula transmissora da interação gravitacional, no entanto ela ainda não foi detectada. No capítulo seguinte, será apresentada a proposta metodológica.

## CAPÍTULO 4 - PROPOSTA METODOLÓGICA

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos utilizados na execução da pesquisa. Eles focam no ensino dos tópicos dos modelos atômicos e o MP de partícula a partir de uma sequência de atividades didática, com o uso da SAI, com o objetivo de alcançar a aprendizagem significativa.

### 4.1 Local e participantes

O desenvolvimento da pesquisa ocorreu no município de Tucuruí, o qual está localizado no sudeste do Estado do Pará (distante 426 km da capital Belém), na Escola de Ensino Médio Escola Ana Pontes Francez. Esta tem um total de 1050 alunos matriculados, distribuídos em 38 turmas nos turnos da manhã, tarde e noite, nas modalidades de ensino Médio Regular, Educação de Jovens e Adultos (EJA) e Sistema Educacional Interativo (SEI).

A escolha desta escola para realização desta pesquisa se deu pelo fato de ser o local onde o professor pesquisador desempenhava suas atividades de docência. Isso, certamente, facilitou o processo desenvolvimento do trabalho, uma vez que, o referido docente tinha conhecimento sobre a rotina da escola.

**Figura 19** – Escola Ana Pontes Francez.



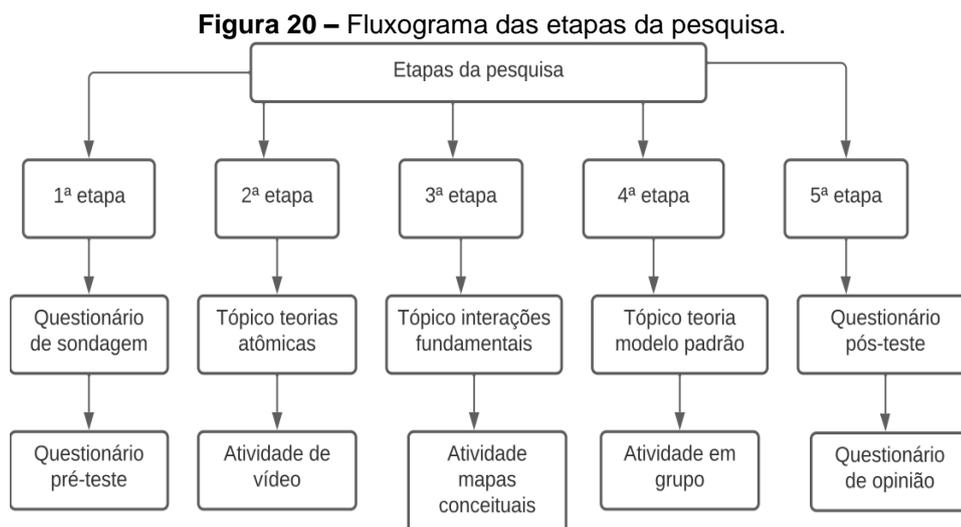
Fonte: Produção do próprio autor (2021).

Recentemente a escola passou por um processo de mudança de estrutura física, passando a funcionar em um prédio novo, equipado com laboratório de informática, biblioteca e com 18 salas de aula. A pesquisa contou com a participação

dos alunos de uma turma da 3ª série do ensino médio (32 alunos). A escolha da turma ocorreu em função do pesquisador atuar como docente da disciplina na referida turma.

## 4.2 Metodologia

A metodologia está dividida nas seguintes etapas apresentadas no fluxograma (fig. 20).



Fonte: Produção do próprio autor (2021).

- **Primeira etapa:** Ocorreu o primeiro encontro em sala de aula virtual. A priori, o professor pesquisador discutiu com os alunos participantes a respeito da metodologia e instrumentos utilizados no desenvolvimento da pesquisa. Nesse momento foi destacada a importância da participação e o comprometimento nas atividades que foram realizadas (Ausubel). Em seguida ocorreu a aplicação dos questionários de sondagem (Apêndice A) e Pré-teste (Apêndice B).
- **Segunda etapa:** Foi realizado o estudo prévio do conteúdo teorias atômicas (em acordo com a SAI). Utilizou-se o Google sala de aula como ambiente virtual de aprendizagem para as postagens dos materiais de estudo em casa. Foram disponibilizados para este momento, videoaulas e uma atividade sobre o assunto que os alunos responderem após terem assistido aos vídeos. No momento da aula online, o professor fez uma revisão sobre o conteúdo, seguido da correção da atividade.
- **Terceira etapa:** Nesta etapa ocorreram o estudo do tópico “Forças fundamentais da natureza”. De acordo com a metodologia SAI, foram disponibilizados os materiais para serem estudados em casa em momento anterior à aula virtual. Nesta, o professor inicialmente realizou atividades com os alunos e tirou suas eventuais dúvidas sobre

o assunto. Na sequência, foi desenvolvido uma atividade em grupo de elaboração de um mapa conceitual sobre o tema.

- **Quarta etapa:** Foi realizado estudo da teoria sobre “O Modelo Padrão de Partículas”. Os vídeos foram inseridos no AVA para que os alunos pudessem assistir e fazer suas anotações sobre, antes da ocorrência do encontro virtual. Neste, os discentes em grupos, responderam as seguintes perguntas,

- sobre os constituintes básicos da matéria de acordo com a teoria do modelo padrão;
- sobre os experimentos para descobrir novas partículas.

Após esse momento, o professor realizou uma breve discussão sobre a teoria do Modelo Padrão de Partículas.

- **Quinta etapa:** Foram aplicados dois questionários finais, o primeiro denominado “Pós-teste” (Apêndice B), o qual contém 10 questões (mesmas do pré-teste e teve como finalidade verificar se houve uma evolução na aprendizagem sobre os tópicos trabalhados durante o desenvolvimento da pesquisa), e o segundo chamado de “Questionário de opinião”, o qual foi utilizado para coletar a opinião dos discentes acerca da metodologia utilizada na pesquisa (No apêndice D é apresentada a descrição da SD utilizada).

Cabe destacar que em função da crise sanitária do SarCov2, todas as atividades foram realizadas de forma remota. Na seção a seguir é apresentada a descrição do questionário de sondagem.

#### 4.2.1 Questionário de sondagem

Este questionário foi utilizado no primeiro encontro para conhecer a situação socioeconômica dos alunos. As informações obtidas com este permitiram traçar um perfil da turma e verificar a viabilidade do desenvolvimento da pesquisa.

Como todos os momentos e atividades foram desenvolvidos de forma virtual foi interessante conhecer algumas informações sobre a realidade vivenciada pelos participantes da pesquisa, de modo que isso possibilitasse um melhor planejamento das etapas seguintes.

Nesse sentido as informações levantadas neste questionário buscaram conhecer sobre as ferramentas tecnológicas que os alunos possuíam.

#### 4.2.2 Questionário Pré-teste

O questionário pré-teste buscou verificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre os tópicos trabalhados no decorrer da pesquisa, os quais são a teoria atômicas, as forças fundamentais da natureza e a teoria modelo padrão de partículas.

Considerando teoria da aprendizagem significativa de Ausubel pontua que o fator isolado mais importante na aprendizagem é aquilo que o aprendiz já sabe e que também a teoria de Bruner considera que aprendizagem é mais eficiente quando se leva em consideração os conhecimentos prévios do aprendiz, pode-se, a partir deste questionário melhor elaborar o planejamento das aulas seguintes.

O questionário pré-teste, contém 10 questões objetivas com cinco alternativas A, B, C, D e E, elaboradas no aplicativo google formulários. No encontro virtual, logo após a apresentação da metodologia, foi disponibilizado o link para que os alunos respondessem o referido questionário.

#### 4.2.3 Atividade de vídeo

Para a realização desta atividade foi efetuada uma curadoria de vídeos na plataforma do Youtube com a temática das teorias atômicas. No AVA foram disponibilizados três vídeos curtos para que os alunos assistissem e fizessem seus estudos sobre o conteúdo em casa. Após esse momento, eles realizaram o Pré-teste acerca do conteúdo abordado.

Na aula online, com um momento inicial para esclarecer as dúvidas dos alunos sobre o conteúdo estudado em casa, o professor repassou o dever de casa, fazendo então, neste momento, uma revisão do assunto abordado nos vídeos, utilizando as perguntas da atividade.

Segundo a TCC os materiais utilizados para promover a aprendizagem devem ser elaborados sempre com o propósito de diminuir a sobrecarga do aluno. Neste sentido, a elaboração dos materiais que utilizam mais de um canal de percepção simultaneamente é uma alternativa.

A aprendizagem é mais significativa quando se utilizam materiais que combinam múltiplos recursos técnicos (multimídias), e neste caso os vídeos tiveram essa finalidade.

#### 4.2.4 Mapas conceituais

De acordo com a teoria de Ausubel, os mapas conceituais foram desenvolvidos para promover a aprendizagem significativa. Eles são diagramas que buscam refletir a estrutura hierárquica de um corpo de conhecimentos (MOREIRA, 2011).

Tais mapas conceituais são ferramentas didáticas que podem ser usadas de diferentes formas e para diversos fins no processo de ensino aprendizagem. No presente trabalho os MC foram utilizados com a finalidade de avaliar indícios da aprendizagem.

Na aula online, após uma breve explanação sobre a construção dos mapas conceituais pelo professor, os quais foram utilizados como instrumento didático de avaliação da aprendizagem, a turma foi dividida em grupos de modo que cada grupo construísse seu mapa sobre o tema “Forças fundamentais da natureza”.

#### 4.2.5 Atividade em grupo

Visando diminuir as dificuldades e facilitar à compreensão, os conteúdos foram tratados de formas diferenciadas. Assim, a apresentação do conteúdo foi estruturada de modo fragmentado com o uso de recursos e mídias com o fim de minimizar a carga cognitiva e otimizar as formas de aquisição das informações e, assim, controlar a extensão do conteúdo trabalhado. A TCC estabelece que quando duas ou mais mídias são usadas para abordar um certo assunto de forma adequada, há uma melhor retenção das informações

Ainda, de acordo com as Teorias da Carga Cognitiva, Espiral e Aprendizagem Significativa estas atividades em grupo, promovem o aprendizado colaborativo, ou seja, uma melhor interação entre os membros de cada grupo e conseqüentemente, melhor aprendizado.

Após o professor ter organizado o conteúdo a ser estudado pelos alunos em casa, solicitou para que estes estudassem os materiais (vídeos e texto) disponibilizados no AVA sobre a teoria do MP de partículas.

No encontro virtual a turma foi novamente dividida em grupo e como tarefa os participantes de cada grupo responderam a duas perguntas relacionadas ao conteúdo estudado a saber: Quais os constituintes elementares da matéria de acordo com o

modelo padrão? como são realizados os experimentos para o descobrimento de novas partículas?

Posteriormente a discussão dos grupos em concordância com a teoria de ensino de Bruner o professor fez um breve reforço sobre a temática abordada nos vídeos. Para este momento foi utilizado como estratégia um mapa conceitual como ferramenta de aprendizagem de acordo com a teoria de Ausubel.

#### 4.2.6 Questionário pós-teste

O questionário pós-teste, foi aplicado com a finalidade de verificar e avaliar a aprendizagem dos conteúdos ministrados durante o desenvolvimento da pesquisa. Este é composto de 10 questões objetiva com alternativas A, B, C, D e E o qual foi elaborado no google formulários e disponibilizados via link para ser resolvido, após o estudo dos tópicos teorias atômicas, forças fundamentais da natureza e a teoria modelo padrão de partículas.

#### 4.2.7 Questionário de opinião

O questionário de opinião coletou a opinião dos alunos acerca da metodologia aplicada no desenvolvimento da SD. Isto possibilitou que fosse feita uma avaliação da metodologia para verificar se os objetivos da pesquisa foram alcançados de forma satisfatória.

Também buscou-se verificar os pontos positivos e negativos na visão dos discentes

## CAPÍTULO 5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, são apresentadas as análises e discussões dos resultados nas etapas de aplicação da SD.

### 5.1 Primeira etapa

Na primeira etapa foram realizados os questionários de sondagem e pré-teste. Estes foram utilizados no primeiro encontro online.

#### 5.1.1 Sondagem

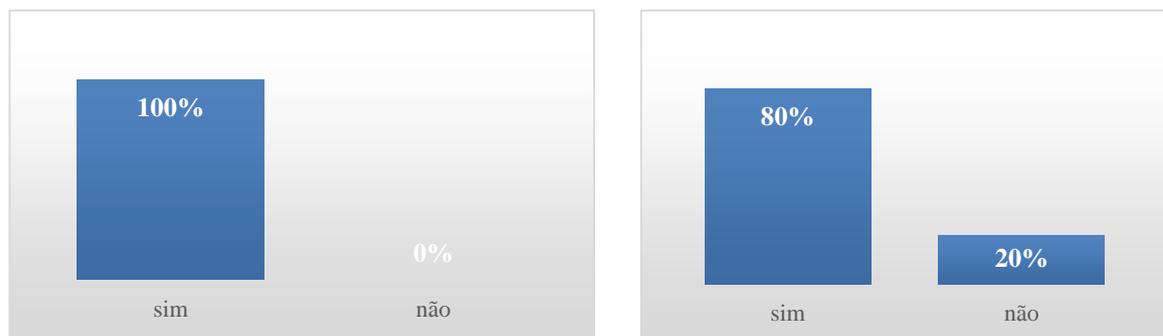
As informações levantadas no questionário de sondagem foram sobre as ferramentas tecnológicas que os alunos tinham consideradas fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa.

O gráfico 1, apresenta o resultado a respeito das perguntas sobre os alunos “...possuírem (ou não) celular” e “...terem (ou não) acesso à internet em casa”.

**Gráfico 1** – Respostas sobre celular e internet.

a) Alunos que tem (ou não) celular.

b) Alunos que tem acesso à internet em casa.



Fonte: Produção do próprio autor (2021).

100% dos alunos responderam que possuem celular (gráfico 1a). Desse modo, ficou evidente a possibilidade do uso de uma metodologia que envolvesse utilização de dados online. Esse resultado foi muito agradável, uma vez que havia a necessidade da pesquisa ser desenvolvida desta forma, considerando que ocorreu no período da crise sanitária do SarCov2.

Desse total, 80% afirmaram ter acesso a internet (gráfico 1b). A estratégia inclusiva utilizada foi fornecer para aqueles sem acesso à internet os materiais

impressos, de modo que pudessem realizar os seus estudos e fazer as atividades. Um aspecto importante a ser destacado é que muitos alunos nem sempre tinham internet de boa qualidade.

Devido a isto, foi muito comum o recebimento de mensagens do tipo “não estou conseguindo entrar na sala virtual”, ou “saí da aula devido o sinal da internet estar muito fraco”, etc. Isto certamente foi um ponto negativo e que, por conseguinte, trouxe prejuízos no processo de ensino aprendizagem aos resultados da pesquisa.

A respeito do tipo de conexão utilizado em suas residências, a maioria cerca de 66,7% fazem uso da conexão wifi enquanto, 26,7% utilizavam chip de celular. Ainda sobre a temática internet, outro ponto questionado no teste de sondagem, diz respeito a ter acesso a internet diariamente, como resposta 73,3% da turma disseram ter acesso a internet todos os dias. Diante destas informações concluiu-se que era possível utilizar estratégias pedagógicas ou ainda atividades educacionais no formato virtual.

Diante do questionamento, você usa internet para estudo? 96,7% da turma disseram fazer uso da internet para fins educacionais, entretanto esta não é a principal finalidade de uso dos entrevistados é o que aponta os resultados obtidos a pergunta: Para que você mais utiliza o notebook ou o celular? o resultado aponta que para 43,3% dos alunos, a principal utilidade da internet é para acessar as redes sociais, seguido da utilização para estudos e realização das tarefas escolares com 40% e para outras finalidades um percentual de 16,7%.

Com relação a pergunta, conhece alguma plataforma de ensino? 76,3% possuíam o conhecimento de alguma plataforma de estudo e apenas 23,3% não tinham conhecimento sobre o item questionado, os resultados obtidos deram indícios de que a metodologia preterida pelo pesquisador tinha totais condições de êxito.

Vale lembrar que os itens pesquisados no teste de sondagem tinham como finalidade obter informações para verificar a viabilidade do uso da SAI como metodologia da pesquisa, nesse sentido 80% dos alunos afirmaram ser acostumado a estudar sozinho em casa e somente 20% não tinham essa prática. Além disso 63,3%, costumavam estudar antecipadamente em casa e 36,7% não tinham esse costume, ou seja estas informações davam mostra de que a metodologia adotada poderia ser útil no processo de ensino aprendizagem.

Outro ponto levantado no questionário de sondagem foi sobre as redes sociais, a esse respeito 90% possuíam cadastro em alguma rede social, sendo que destes

usuários as redes sociais mais utilizadas foram o whatsapp com 46% , seguido do instagram com 36,7% e facebook com 13,3%. Estas informações foram importantes uma vez que as redes sociais foram utilizadas no decorrer da pesquisa como ferramentas alternativas na comunicação e informações a respeito das atividades desenvolvidas.

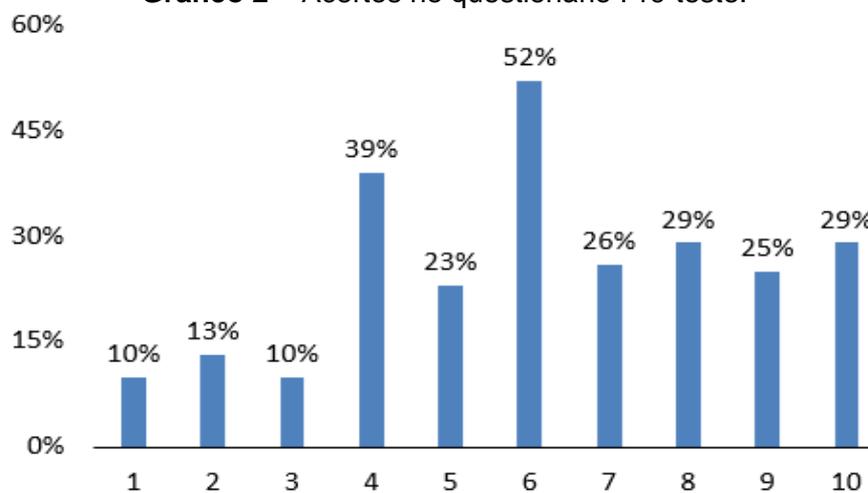
De acordo com Bergmann e Sams (2016), o momento em que o aluno mais precisa da presença do professor, é quando empacam e não conseguem fazer o dever de casa. Nesse sentido uma questão levantada para os alunos foi justamente, onde as dúvidas são maiores, quando você está estudando? Como resultado 76,7% disseram ser em casa e 23,3% responderam que é na escola. Estas informações corroboram com as ideias dos autores supracitados.

Logo, mediante as informações levantadas com a aplicação do questionário de sondagem ficou evidente que seria possível utilizar a metodologia da SAI, haja vista, que os resultados obtidos evidenciaram que os alunos tinham ferramentas tecnológicas das quais a estratégia metodológica necessitava.

### 5.1.2 Pré-teste

O questionário pré-teste tratava de conteúdos sobre as teorias atômicas, forças fundamentais da natureza e a teoria do modelo padrão de partículas. O gráfico 2, mostra o percentual de acertos em cada questão contida neste questionário.

**Gráfico 2 – Acertos no questionário Pré-teste.**



Fonte: Produção do próprio autor (2021).

Observando o gráfico 2, nota-se que na maioria das questões houve um percentual relativamente baixo de acerto. Isso evidencia que os alunos tinham poucos

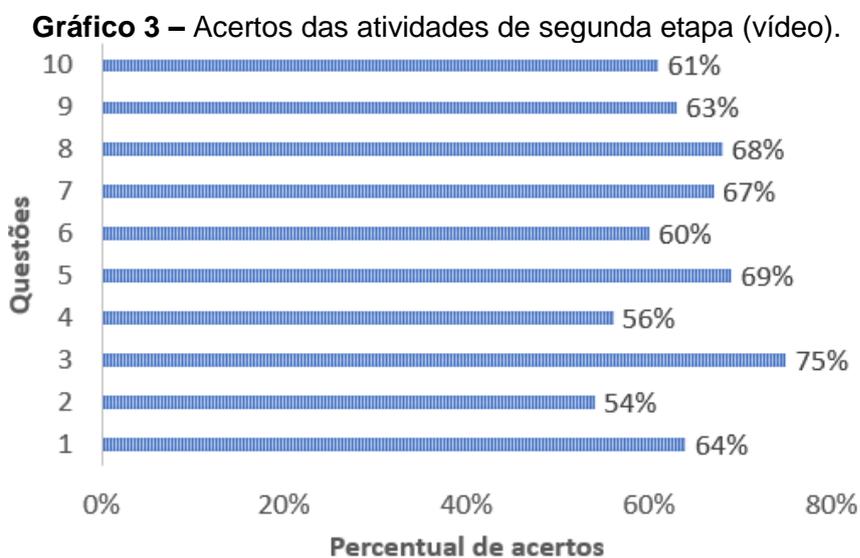
conhecimentos prévios a respeito dos conteúdos abordados neste questionário, o que é aceitável, uma vez que o tópico modelo padrão de partículas não é trabalhado nas escolas de ensino médio.

Nesta situação Ausubel (1980), afirma que a aprendizagem mecânica se faz necessário quando um aprendiz adquire novas informações sem ter em sua estrutura cognitiva subsunçores capaz de servir de ancoradouro a esta nova informação.

Diante deste cenário foi possível introduzir no ambiente virtual de aprendizagem os tópicos relacionados a teoria modelo padrão de partículas e, por se tratar de um conhecimento científico pouco trabalhado no ensino médio foi utilizada a transposição didática. Convém ressaltar que os resultados obtidos no questionário pré-teste foram fundamentais para o planejamento das etapas seguintes.

## 5.2 Segunda Etapa

Nesta etapa foram trabalhadas a temática “teorias atômicas” juntamente com uma atividade de vídeo composta de 10 questões objetivas sobre o assunto. O gráfico 3 apresenta o desempenho dos alunos em relação a esta atividade.



Fonte: Produção do próprio autor (2021).

Observando os resultados da atividade de vídeo pode-se verificar que houve um bom aproveitamento do conteúdo tratado. A revisão do conteúdo transcorreu em acordo com a teoria de Bruner, que afirma que a retomada do conteúdo é o momento oportuno para que o aprendiz reveja tópico em diferentes níveis de profundidade. Foi notório observar a assimilação do conteúdo ocorrendo gradualmente, a medida de sua repetição com a inserção gradual do aprofundamento do mesmo.

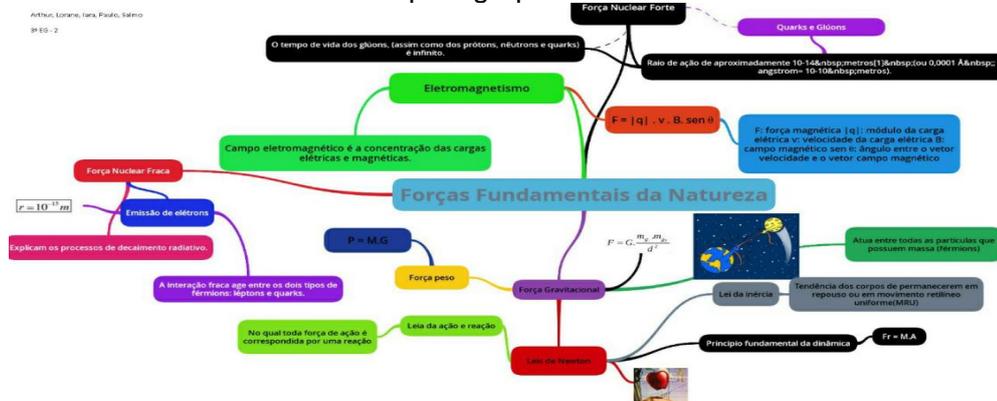
### 5.3 Terceira etapa

Nesta etapa foi solicitado aos alunos a construção de um mapa conceitual acerca do tópicos “interações fundamentais da natureza”.

Com a divisão da turma em grupos (G1,G2,...) , visando facilitar a assimilação dos conteúdos,pode-se realizar atividades com o propósito de promover a interação entre os alunos e o conteúdo trabalhado, em consonância com o referencial teórico, o qual sugere que as atividades em grupo sejam a estratégia para que os estudantes desenvolvam o aprendizado colaborativo.

Desse modo, assim como na etapa anterior, o material foi disponibilizado no AVA para ser estudado em casa antes do encontro virtual. Na aula virtual, o professor criou uma nova sala para cada grupo, onde os integrantes de cada grupo realizaram a construção do mapa conceitual. Segundo David Ausubel, os mapas conceituais podem ser utilizados como estratégia potencialmente facilitadora de uma aprendizagem significativa. As figuras 21-23 apresentam recortes dos mapas conceituais realizados pelos alunos.

Figura 21 – Mapas conceituais sobre o tema “forças fundamentais da natureza” elaborado pelo grupo G1.



Fonte: Produção do próprio autor (2021).

**Figura 22** – Mapas conceituais sobre forças fundamentais da natureza elaborado pelo grupo G2.



Fonte: Produção do próprio autor (2021).

É oportuno ressaltar que durante a realização desta atividade aconteceu um dos momentos de maior interatividade e participação entre os alunos o que permite dizer que a finalidade pretendida para este momento em harmonia com o referencial teórico foi alcançada com sucesso.

De acordo com a teoria da carga cognitiva a aprendizagem colaborativa é mais eficiente para tarefas de aprendizagem complexa e solução de problema que causam uma sobrecarga cognitiva.

**Figura 23** - Mapa conceitual sobre forças fundamentais elaborado pelo grupo G3.



Fonte: Produção do próprio autor (2021).

A partir da atividade desenvolvida, bem como das discussões as quais foram socializadas em sala de aula, pode-se inferir o objetivo pretendido para esta etapa foi alcançado de forma satisfatória.

Como evidenciado, através dos mapas conceituais apresentados, pode-se verificar que estes cumprem bem o seu papel como instrumento de avaliação da aprendizagem. Em sua realização também se considerou que não existe um mapa

conceitual totalmente correto. Assim, buscou-se avaliar qualitativamente o conhecimento.

As atividades desenvolvidas possibilitaram avaliar os resultados como positivos, uma vez que, evidenciam indicativos deste resultado exitoso a partir da troca de conhecimento entre eles, aprendizagem colaborativa e uma participação ativa entre os estudantes, verificou-se haver subsunçores e esquemas mentais de aprendizado em relação ao conteúdo estudado, mostrando que houve uma melhora na organização destes na estrutura cognitiva dos estudantes.

#### 5.4 Quarta etapa

Durante a quarta etapa da pesquisa, momento em que foi tratado o tópico teoria do MP de partículas, foi desenvolvido a segunda atividade em grupo. Para este momento o professor selecionou alguns vídeos do You tube que tratavam sobre a temática e disponibilizou no AVA da turma para que fosse feito o estudo prévio pelos discentes.

No momento do encontro virtual, os alunos presentes na aula foram divididos em grupos e cada grupo respondeu a dois questionamentos a saber:

- I) quais os constituintes básicos da matéria de acordo com a teoria do modelo padrão?
- II) Como são realizados os experimentos para descobrir novas partículas?

A seguir são apresentados alguns recortes das respostas (ver Figura 24) dos alunos acerca destes questionamentos.

**Figura 24** – Prints das respostas dos alunos no questionário.

O modelo padrão é a melhor resposta para uma teoria completa da realidade. A necessidade de descobrir outras partículas gerou tal modelo como a física de partículas já que as leis da física clássica não estão aptas. A função do modelo padrão é descrever a matéria e a forma como ela interage este modelo consegue descrever as forças fundamentais forte, fraca e eletromagnéticas, bem como as partículas fundamentais que constituem toda a matéria. Ao todo sabe-se da existência de 12 partículas fundamentais, estas são direcionadas por forças que são causadas a partir da troca de quatro partículas (fóton para a força eletromagnética, glúon para a força forte e os bósons W e Z para a força fraca), mais o Higgs bóson, que dá a massa dessas partículas. Elas dão vida a matéria e todas as outras que existem no universo.

O modelo padrão de partículas é uma teoria sofisticada, abrangente que identifica as partículas fundamentais constituintes da matéria e especifica como elas interagem. Os constituintes da matéria são eles: o Quarks: aparentemente os constituintes fundamentais da matéria. Que há seis espécies ou sabores de quarks. E o Léptons: que são partículas de spin 1/2, sem cor, que podem ou não ter carga elétrica.

Através do acelerador de partículas criando um campo Magnético, fazendo com que as partículas se movam rapidamente até que se colidem uma com a outra, formando vários resíduos que serão estudados pelos cientistas, assim formando novas partículas Através da colisão.

Atualmente os experimentos podem ser feitos com o acelerador de partículas, criando um campo magnético com uma energia elevada fazendo que as partículas se movam a uma velocidade próxima a velocidade da luz. Este equipamento ajuda os cientistas a entenderem a propriedade da matéria e cada vez que uma partícula de tal elemento é inserida ao se colidir com a outra ela deixa vários resíduos que são estudados pelos cientistas e também com essas partículas é possível sintetizar novos elementos através dessas colisões.

Os experimentos são realizados através de uma máquina LCH, acelerador de partículas, funciona como um colisor capaz de quebrar os componentes mais ínfimos da matéria, por meio de campos magnéticos, acelera feixes dessas partículas a velocidades próximas à luz, um feixe colide com outro, elas se estilhaçam em unidades ainda menores.

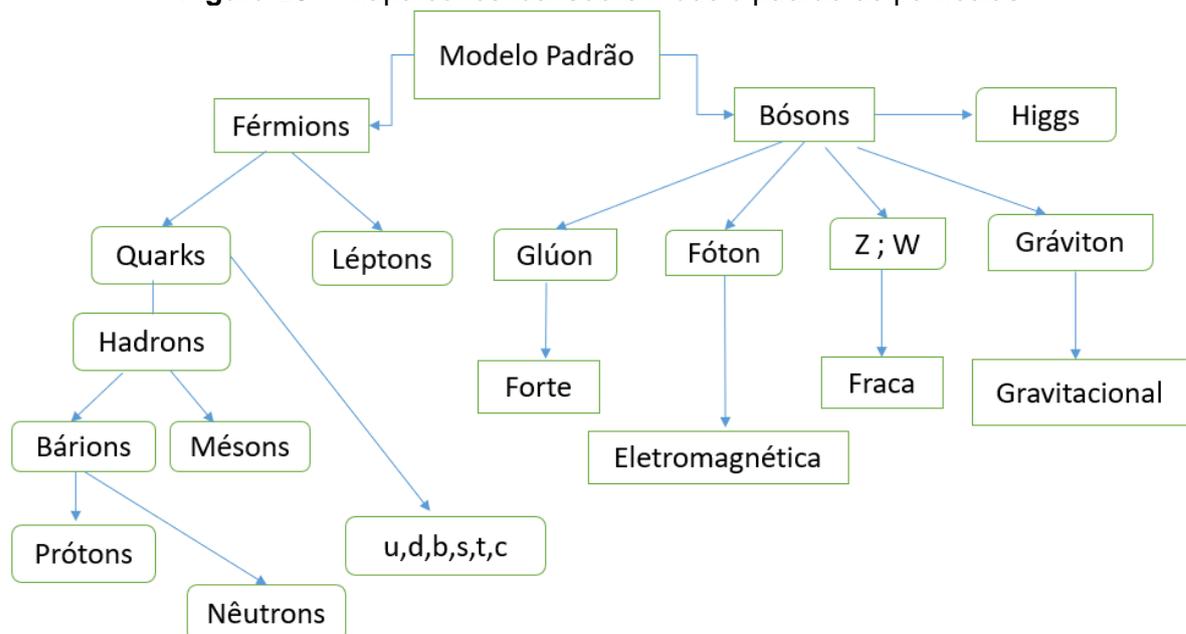
Fonte: Produção do próprio autor (2021).

Após a discussão dos grupos, em concordância com a teoria de ensino de Bruner, o professor ministrou uma aula de reforço sobre a temática abordada nos vídeos e, para finalizar este momento, foi feita a socialização com a turma sobre os questionamentos discutidos em grupo.

No reforço o professor utilizou um mapa conceitual sobre a temática “modelo padrão de partículas”. Neste caso, o uso do mapa conceitual teve a finalidade de mostrar a relação hierárquica entre os conceitos estudado (MOREIRA, 2006).

A figura 25, apresenta o mapa conceitual sobre temática trabalhada nesta etapa da pesquisa.

**Figura 25** – Mapa conceitual sobre modelo padrão de partículas



Fonte: Produção do próprio autor (2021).

Diante das informações obtidas nesta etapa, considera-se que o objetivo de inserir no ambiente de ensino a temática, levando em consideração as ideias do

referencial teórico adotado, foi alcançado de forma satisfatória. Além disso, com base nas respostas obtidas, conclui-se que houve a aprendizagem significativa dos conceitos estudados.

## 5.5 Quinta Etapa

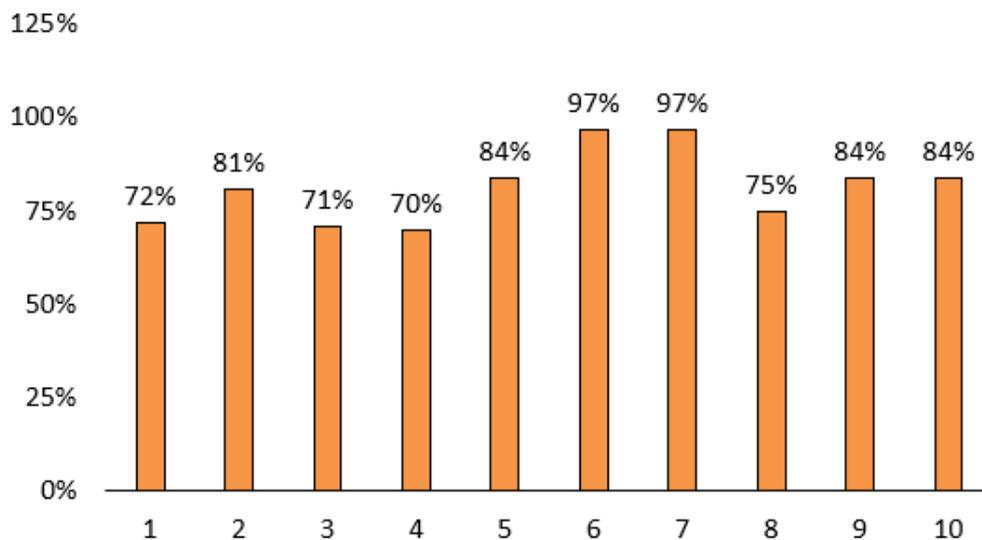
A seguir serão discutidos os questionários pós-teste e de opinião.

### 5.5.1 Pós-teste

O questionário pós-teste continha as mesmas questões do pré-teste. A razão de se adotar o mesmo questionário se deu pelo fato de se querer avaliar a sequência didática embasada na TCC e Teoria de Espiral, as quais trazem em seu bojo, aspectos como limitação da carga virtual, sugerindo a fragmentação do conteúdo e abordagens repetitivas, porém sob olhares diferenciados e maior aprofundamento.

O gráfico 4, apresenta o resultado dos acertos no pós-teste.

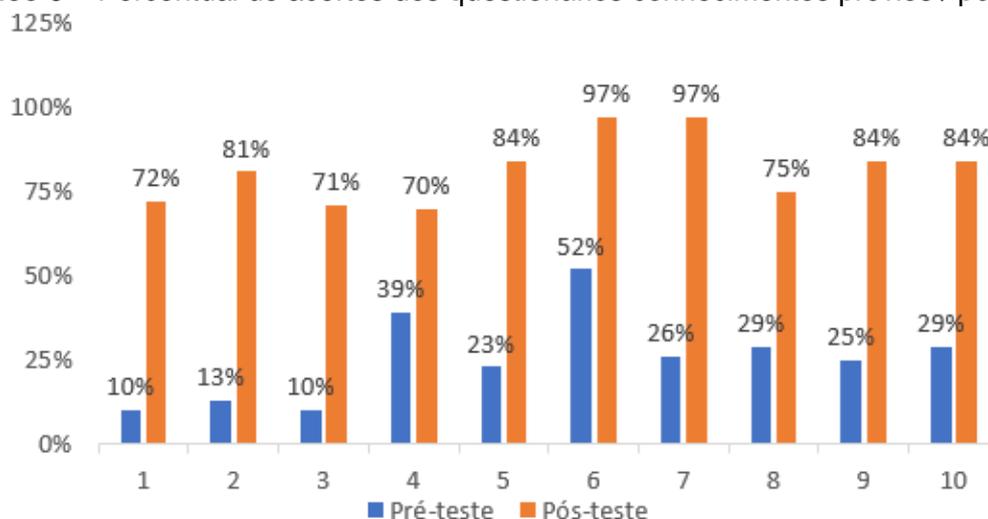
**Gráfico 4 – Acertos no questionário Pós-teste.**



Fonte: Produção do próprio autor (2021).

Comparando os resultados alcançados nos questionários pré-teste e pós-teste, pode-se verificar uma evolução muito significativa na aprendizagem dos conceitos tratados nas aulas.

O gráfico 5, mostra o percentual de acertos nos questionários de conhecimentos prévios e pós-teste.

**Gráfico 5** – Percentual de acertos dos questionários conhecimentos prévios / pós-teste

Fonte: Produção do próprio autor (2021).

A partir da observação do gráfico 5, pode-se concluir que a estratégia metodológica utilizada para o desenvolvimento da sequência didática, obteve resultado exitoso com a aprendizagem pretendida obtida.

Outro ponto importante que os resultados evidenciam diz respeito a utilização das ferramentas digitais como ferramenta educacional, pois como os alunos das escolas atuais nasceram e cresceram imersos na era digital, a utilização de tais ferramenta despertou um maior interesse na participação e serviu para aprimorar os processos cognitivos dos estudantes.

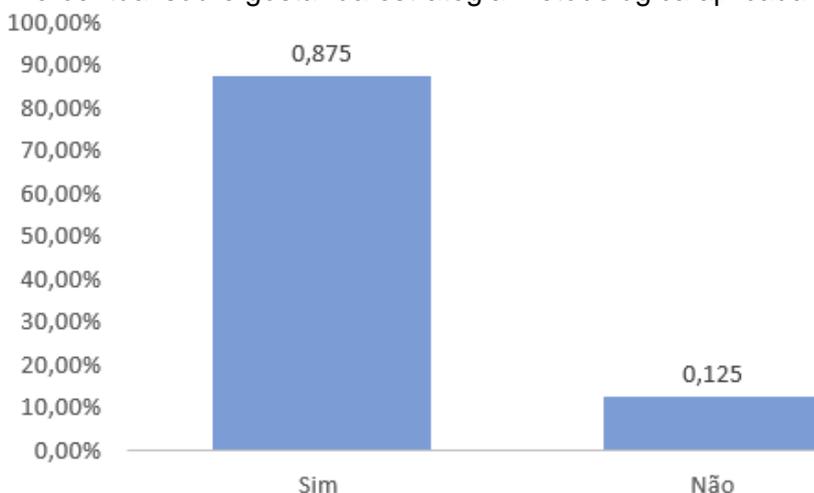
### 5.5.2 Opinião

Com relação as informações levantadas com o questionário de opinião, foi possível avaliar de forma positiva a estratégia metodológica utilizada no desenvolvimento deste trabalho. Mediante as informações coletadas, foi possível inferir os pontos positivos e negativos da SD, de modo a poder sugerir os aperfeiçoamentos em trabalhos futuros.

No questionário de opinião, quando perguntados se gostaram da metodologia utilizada nas aulas, 87,5% dos alunos responderam afirmando que sim, quando solicitados a informar sua avaliação sobre a forma como foram ministrados os conteúdos, 91,7 % dos alunos avaliaram como positiva a forma como os conteúdos foram trabalhados.

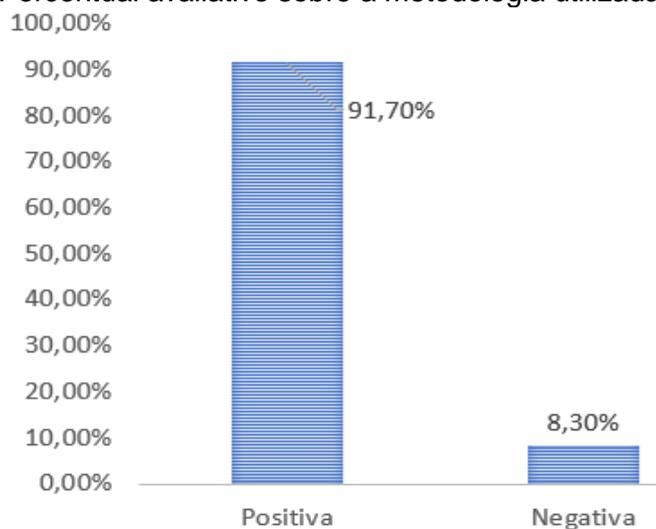
A partir da análise dos dados levantados no questionário de opinião é possível fazer uma avaliação positiva sobre a estratégia metodológica implementada na pesquisa (ver gráfico 6).

**Gráfico 6** – Percentual sobre gostar da estratégia metodológica aplicada na pesquisa.



Fonte: Produção do próprio autor (2021).

**Gráfico 7** – Percentual avaliativo sobre a metodologia utilizada na pesquisa.



Fonte: Produção do próprio autor (2021).

Também, 91,7% dos alunos responderam positivamente que avaliaram de forma positiva a metodologia empregada na pesquisa e apenas 8,3% avaliaram de forma negativa. A seguir algumas respostas retiradas do questionário de opinião a respeito dos pontos positivos referente a estratégia metodológica.

- “Achei muito interessante”, “Além de vermos as aulas, podemos todos se comunicar e trocar ideias sobre o assunto pra tirarmos as dúvidas”, o ponto mais importante, em casa estudamos os assuntos e na hora da aula só tiramos as dúvidas sobre o assunto estudado ou fazemos exercícios”, mais presença em sala de aula, otimização de tempo, mais retenção de aprendizado, aluno protagonista, tecnologias e material extras”. (Pesquisa, 2021).

Os comentários feitos pelos alunos nos permitem entender um pouco melhor porque a maioria dos alunos gostaram e avaliaram como positiva a metodologia utilizada durante a pesquisa.

Com base nas respostas obtidas verifica-se que estão em concordância com os benefícios pretendidos no que diz respeito a utilização da metodologia da SAI a saber: apriori um melhor aproveitamento do tempo em sala de aula uma vez que o aluno chega para este momento tendo tido o contato previamente com o conteúdo, dessa forma o professor pode otimizar o tempo de sala para desenvolver outras atividades. Segundo promove uma maior interação entre os agentes envolvido no processo de ensino aprendizagem, além da inserção da tecnologia como instrumento pedagógico, todos estes benefícios corroboram para obtenção de uma aprendizagem mais eficiente.

A seguir algumas das respostas acerca dos pontos negativos, item 4 do questionário de opinião:

- “Não muito bom porque não é a mesma coisa do ensinamento pessoalmente, mas conseguimos obter tudo o que professores ensinam”, “Creio que para algumas pessoas o problema de conexão com internet”, “Problemas com tecnologia, resistência à mudança, falta de autodisciplina”, “A falta de interesse participação dos alunos nas aulas”, “Ultimamente tenho dificuldade de entrar em aula e associar as atividades”. (Pesquisa, 2021).

Quando analisados os pontos negativo citados pelos alunos é possível entender o percentual de alunos que não gostaram da metodologia implementada na pesquisa e conseqüentemente fizeram uma avaliação negativa. Os pontos negativos elencados nos possibilitam concluir que muito destes alunos apresentam uma certa resistência a estratégias metodológicas diferentes da qual historicamente foi utilizado e ainda é frequentemente utilizado na prática docente no processo de construção do conhecimento.

Outro ponto que vale destacar e que faz parte de relatos dos professores em virtude da prática docente é a falta de interesse na aprendizagem por parte dos alunos sobre este ponto Ausubel destaca, que para que a aprendizagem significativa ocorra é fundamental que o aluno manifeste um interesse pela aprendizagem do contrário a aprendizagem não acontecerá de forma satisfatória.

Além dos problemas citados anteriormente está a dificuldade inerentes aos processos tecnológicos como por exemplo a falta de uma boa internet, em muitos

casos os alunos não sabem utilizar de forma correta estas tecnologias para fins educacionais, ou não estão acostumados a usar para esta finalidade.

Em relação ao item 5 (Apêndice C), os alunos destacaram:

- “Trabalho em grupo”, “Pela participação de todos”, “Atividades em grupo é muito bom dialogar com os colegas”, “As aulas, os meio de comunicação e interações”, “As atividades, fora isso eu não preciso sair de casa, e estou mais protegida do covid embora na minha opinião ficar ou não ficar em casa eu estou exposta ao vírus”, “Não ficamos perdendo tempo no único horário que temos para tirar dúvidas com o senhor”, “A comunicação entre professores e alunos”, “Os assuntos e as dinâmicas aplicadas”. (Pesquisa, 2021).

A partir, dos resultados obtidos no item 5 fica evidente, que os alunos gostaram do aprendizado colaborativo como sugere a TCC, esta aprendizagem colaborativa é possível com atividades que possibilite uma participação ativa e uma maior interação no processo de construção do conhecimento. Nesse sentido atividades realizadas em grupo proporcionam o aprendizado colaborativo, ou seja, permite que os alunos debatam, troquem ideias fazendo com que, aumente o interesse pela aprendizagem.

Enfim, com os resultados obtidos no questionário de opinião foi possível fazer uma análise da metodologia utilizada na pesquisa e chegar à conclusão de que foi acertada a escolha pela proposta da SAI para o estudo da teoria do MP de partículas haja vista, que foi possível alcançar os objetivos a que nos propomos.

## CAPÍTULO 6 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Discutir sobre a inserção de tópicos mais atuais no currículo de física, bem como a utilização de estratégias metodológicas que permita aos alunos uma participação mais ativa e uma aprendizagem mais eficiente é de fundamental importância. Sabe-se que encontrar metodologias que possam tornar as aulas de Física motivadoras e mais interessante com o objetivo de proporcionar aos alunos uma aprendizagem significativa é um desafio constante para todos os professores desta área do conhecimento.

Pode-se reafirmar a importância da utilização da Sala de Aula Invertida como metodologia de ensino para o estudo dos modelos atômicos ao Modelo Padrão de partículas, visto que, os resultados no que diz respeito a aprendizagem dos conceitos tratados, mostraram a eficácia da estratégia metodológica que pode ser utilizada para o estudo de diferentes temas nas diversas disciplinas que fazem parte do currículo escolar no Ensino Médio. Uma proposta pedagógica pode ser considerada eficiente, quando for capaz de despertar o interesse dos alunos, proporcionar melhorias na construção do conhecimento e promover a interação entre os sujeitos da aprendizagem.

Com relação a proposta principal da pesquisa, a qual foi elaborar uma SD de ensino sobre “os modelos atômicos” e “a teoria do Modelo Padrão de Partículas”, utilizando como estratégia metodológica a Sala de Aula Invertida e aplicá-la exitosamente em uma turma do Ensino Médio na rede Pública de Ensino no Município de Tucuruí, considera-se que este objetivo tenha sido alcançado, pois os resultados mostram diversos aspectos onde houve avanços na aprendizagem, na disponibilidade para aprender, inclusive destacando faz-lo prazerosamente.

Como principais resultados desta pesquisa pode-se destacar:

- bons resultados com a aprendizagem, percebidas através das produções pelos discentes, uma vez que houve uma evolução significativa do conhecimento dos estudantes em relação aos conteúdos estudados;
- a comparação dos resultados do pré-teste e pós-teste também evidencia essa evolução, o que claramente mostra que de acordo com o referencial teórico aconteceu a ancoragem dos novos conteúdos na estrutura cognitiva dos alunos;

- uma maior interação e motivação em aprender, percebida principalmente nas atividades realizadas em grupo (aprendizado colaborativo), como por exemplo na construção dos mapas conceituais onde houve intensos momentos de discussões. Os alunos apresentaram boa receptividade com a proposta implementada neste trabalho;

Alguns fatores que podem ter influenciado negativamente. Um ponto a ser destacado foi o problema com a conexão de internet, havendo bastante reclamações com, inclusive, a não participação de alguns. Outro ainda enfrentaram dificuldades em participar das atividades por falta de uma internet de boa qualidade.

Esta pesquisa apontou elementos pertinentes para a construção de conhecimento escolar, sobretudo, ao evidenciar o diálogo, os debates e as reflexões acerca da prática docente presente na atividade escolar. Desse modo, acredita-se que ela possa servir de apoio para o desenvolvimento de outros trabalhos sobre a temática abordada, assim como pode trazer contribuições e reflexões sobre o ensino de física na busca pela melhoria da prática docente e uma aprendizagem significativa.

## REFERÊNCIAS

- ABDALLA, M. C. B. Sobre o discreto charme das partículas elementares. **Física na Escola**, São Paulo, v. 6, n. 1, 2005.
- ABDALLA, M. C. B. **O discreto charme das partículas elementares**. 2. ed. São Paulo: Livraria da física, 2016.
- ALVES *et al.* As dimensões da carga cognitiva e o esforço mental. 2017. **Revista Brasileira de Psicologia**, Salvador-BA, v.4, n.1, 2017.
- ARTINO JR, A. R. Cognitive load theory and the role of learner experience: an abbreviated review for educational practitioners. **AACE Journal**, v. 16, n. 4, p. 425-439, 2008.
- AUSUBEL, D. P. **Educational Psychology: A Cognitive View**. New York, Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- AUSUBEL, D.; NOVAK, J.; HANESIAN, H., **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- ARAUJO, A. M. *et al.* Sala de aula invertida no ensino de química: planejamento, aplicação e avaliação no ensino médio. **Redequim**, v. 3, n. 3, 2017. Disponível em: <http://www.journals.ufrpe.br/index.php/%20REDEQUIM/article/view/1787>. Acesso em: 21 jul. 2020.
- BACICH, L.; MORAN, J. (Org). **Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática**. Porto Alegre: penso, 2018.
- BACICH, L.; TANZI NETO, A.; TREVISANI, F. de M. (Orgs.) **Ensino híbrido: Personalização e Tecnologia na Educação**. Porto Alegre: Penso, 2015. 270p.
- BANDEIRA, S. L. *et al.* **Aprendizagem de tópicos de física moderna e contemporânea no ensino médio profissionalizante utilizando arduino**. Mossoró: UFERSA, 2017.
- BARROS *et al.* Aprendizagem significativa: a visão do aluno de ciência e tecnologia sobre conceito de momento de inércia. **Revista Espacios**, v. 38, n. 38, 2017.
- BARBOSA, F. G.; FEITOSA, E. M. A.; FORTE, C. M. S. **Química Geral I**. Fortaleza: EDUECE, 2016.
- BAKER, J. **Ideias de física quântica que você precisa conhecer**. São Paulo: Planeta, 2015.
- BAUER, Wolfgang; WESTFALL, Gary D.; DIAS, Helio. **Física para universitários: óptica e física moderna**. Bookman Editora, 2013.
- BERGMANN, J.; SAMS, A. **Sala de aula invertida uma metodologia ativa de aprendizagem**. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

BUSSAB, W. O.; MORETIN, P. A., **Estatística básica**. 6. ed., São Paulo: Saraiva, 2010.

BRENNAN, R. **Gigantes da física**: uma história da física moderna através de oito biografias. Rio de Janeiro: Zahar, 2003.

BRUNER, J. S. **O Processo da educação**. 3. ed. São Paulo. Nacional. 1973a.

BULEGON, A. M.; DEPONT, M. A. M. Uma revisão de literatura sobre o uso da metodologia sala de aula invertida para o ensino de física. **Vidya**, v. 38, n. 2, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufn.edu.br/index.php/VIDYA/article/viewFile/2402/2191>. Acesso em: 22 jul. 2020

CALIARI, M. L. **Física de partículas**: uma abordagem lúdica com uso de jogo de tabuleiro. 2018.

CARUSO, F.; MARQUES, A. J. Sobre a viagem de Enrico Fermi ao Brasil em 1934. **Estudos avançados**, v. 28, p. 279-289, 2014.

CAVALCANTE, A. M. A. *et al.* Sala de aula invertida no ensino de química: planejamento, aplicação e avaliação no ensino médio. **Revista Debates em Ensino de Química**, v. 3, n. 2, 2017.

CHIZZOTTE, A. **A Pesquisa qualitativa em Ciências Humanas e Sociais**: evolução e desafios. São Paulo: Universidade de Minho, 2003.

CONFORTI, C. K. C. *et al.* Uma aplicação da sala de aula invertida no ensino de física para a Educação Básica. **Revista Educar Mais**. v. 2, n. 1, 2018. Disponível em: <http://periodicos.ifsul.edu.br/index.php/educarmais/article/view/1231>. Acesso em: 22 jul. 2020.

COSTA BEBER, S. Z.; DEL PINO, J. C. **Princípios da teoria da Aprendizagem Significativa e os saberes populares**: referencias para o ensino de ciências. XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências–XI ENPEC. Florianópolis, SC, 2017.

DA SILVA, A. J. C. T. **Evolução do conhecimento da estrutura atômica**. 2013. Tese (Doutorado em Física) - Universidade da Beira Interior, Portugal, 2013.

DE OLIVEIRA, A. M. M.; MOREIRA, M. A. Um estudo exploratório para avaliar a dificuldade de problemas em ensino de física utilizando a teoria da carga cognitiva com o auxílio de uma hipermídia. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 9, n. 1, 2016.

ENDLER, A. M. F. **Introdução à física de partículas**. São Paulo: Livraria da física, 2010.

FEYNMAN, R. P. **Lições de física de Feynman**. VIII, Porto Alegre: Bookman, 2008.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia**: saberes necessários à prática educativa. 25. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FREITAS, V. J. **A aplicabilidade da *flipped classroom* no ensino de física para turmas da 1ª série do ensino médio**. Disponível em: [http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFES\\_96a785b5e14cd60b2358bb1d5656176](http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UFES_96a785b5e14cd60b2358bb1d5656176). Acesso em: 22 jul. 2020.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R; WALKER, J. **Fundamentos de Física 4**: ótica e física moderna. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R; WALKER, J. **Fundamentos de Física 3**: eletromagnetismo. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R; WALKER, J. **Fundamentos de Física 2**: gravitação. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

JOFFILY, S. **A descoberta do elétron**. Disponível em: [http://cbpfindex.cbpf.br/publication\\_pdfs/mo00205.2011\\_01\\_18\\_10\\_18\\_58.pdf](http://cbpfindex.cbpf.br/publication_pdfs/mo00205.2011_01_18_10_18_58.pdf). Acesso em: 02 nov. 2020.

KANECO, ULISSES FERREIRA. **Física moderna e contemporânea**. Londrina: Editora e distribuidora S.A, 2017.

LEÃO, K. S. A. **Sala de aula invertida no ensino da lei da inércia com aplicação de jogo lúdico**. Disponível em: <http://www2.ufac.br/mnpef/menu/dissertacoes/turma-de-2017/katia-da-silva-albuquerque-leao.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2020.

LEE, J. D. **Química inorgânica não tão concisa**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1999.

LIEWELLYN, R. A. & TIPLER, P. A. **Física Moderna**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

MARQUES, A. J. H. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 1, p. 291-294, 2015.

MARQUES, D. M. **As investigações de Ernest Rutherford sobre a estrutura da matéria**: contribuições para o ensino de química. 2006.

MEDEIROS, L. A. **Sala de aula invertida**: uma proposta de sequência didática no ensino de ondulatória. Disponível em: [https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/28060/1/Salaaulainvertida\\_Medeiros\\_2019.pdf](https://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/28060/1/Salaaulainvertida_Medeiros_2019.pdf). Acesso em: 22 jul. 2020.

MORAES, M. B. S. **Uma proposta para o ensino de eletrodinâmica no nível médio**. Porto Alegre: [s.n], 2005.

MORAN, J. **Metodologias ativas e modelos híbridos na educação**. Novas Tecnologias Digitais: Reflexões sobre mediação, aprendizagem e desenvolvimento. Curitiba: CRV, p. 23-35, 2017.

MOREIRA, M. A.; BUCHWEITZ, B. **Novas estratégias de ensino e aprendizagem: os mapas conceituais e o Vê epistemológico.** 1993..

MOREIRA, M. **A teorias da aprendizagem.** São Paulo: ed. EPU,1999.

MOREIRA, M. **Partículas e interações.** Física na Escola, v. 5, n. 2, 2004.

MOREIRA, M. **Mapas conceituais e diagramas V.** Porto Alegre: Ed. do Autor, v. 103, 2006.

MOREIRA, M. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula.** Brasília: UNB, 2006.

MOREIRA, M. O modelo padrão da física de partículas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, 2009.

MOREIRA, M. Física de Partículas: uma abordagem conceitual e epistemológica. **São Paulo: editora livraria da física**, v. 3, p. 4, 2011.

NOVAES, M.; STUDART, N. **Mecânica quântica básica.** São Paulo: Livraria da Física, 2016.

NUSSENZVEIG, H. **Curso de Física Básica 3.** São Paulo: Edgard Blucher, 1997.

NUSSENZVEIG, H. **Curso de Física Básica 4.** São Paulo: Edgard Blucher, 1998.

OLIVEIRA, O. M. M. F.; JUNIOR, K. S.; SCHLÜNZEN, E. T. M. **Química: coleção temas de formação.** Universidade Estadual Paulista, 2013.

OLIVEIRA, O. A.; FERNANDES, J. D. G. **Evolução dos modelos atômicos de Leucipo a Rutherford.** EDUFRN. 2006. Disponível em: <https://docente.ifrn.edu.br/denilsonmaia/evolucao-dos-modelos-atomicos>. Acesso em: 03 set. 2020.

OLIVEIRA, F. F.; VIANNA, D. M.; 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, T. E.; ARAUJO, I.S.; VEIT, E. A. Sala de aula invertida (*flipped classroom*): Inovando as aulas de Física. **Física na Escola**, v. 14, n. 2, 2016.

ORTEGA, J. L. N. A. **Sala de aula invertida: avanços na aprendizagem na percepção do professor.** Disponível em: <http://www.abed.org.br/congresso2017/trabalhos/pdf/357.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2020.

OSTERMANN, F.; 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, pp. 23-48, 2000.

OSTERMANN, F. Um texto para professores do ensino médio sobre partículas elementares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 21, n. 3, p. 415–436, 1999.

OSTERMANN, F. **Partículas elementares e interações fundamentais**. Porto Alegre. Instituto de Física. 2001.

PALANDI, J. *et al.* **Física nuclear**. Universidade Federal de Santa Maria: Grupo de Ensino de Física, 2010.

PARENTE, F. A. G.; DOS SANTOS, A. C. F.; TORT, A. C. Os 100 anos do átomo de Bohr. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 35, n. 4, p. 1-8, 2013.

PASSOS, E. R. W. **Princípios da teoria da carga cognitiva voltados à educação corporativa**. 2020.

PEREZ, S. **Mecânica quântica: um curso para professores da educação básica**. São Paulo: Livraria da Física, 2016.

PLEITEZ, V. **Partículas elementares**. Disponível em: [https://sites.ifi.unicamp.br/orlando/files/2015/07/pel\\_2014.pdf](https://sites.ifi.unicamp.br/orlando/files/2015/07/pel_2014.pdf). Acesso em: 16 de fev. 2021.

PIRES, A. S. T. **Evolução das ideias da física**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

PIRES, A. S. T.; DE CARVALHO, R. P. **Por dentro do átomo: física de partículas para leigos**. São Paulo: Livraria da Física, 2020.

PRASS, A. R. **Teorias de aprendizagens**. 2012. Disponível em: [http://www.fisica.net/monografias/Teorias\\_de\\_Aprendizagem.pdf](http://www.fisica.net/monografias/Teorias_de_Aprendizagem.pdf). Acesso em: 24 ago. 2020.

PRENSKY, M. O papel da tecnologia no ensino e na sala de aula. **CONJECTURA: filosofia e educação**, v. 15, n. 2, 2010.

RAMALHO, S. C. de A. **Modelo padrão**. 2017. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/43303931/o-modelo-padrao>. Acesso em: 07 set. 2020.

ROSENFELD, R. **O cerne da matéria: a aventura científica que levou a descoberta do Bóson de Higgs**. São Paulo: Companhia das Letras, 2013.

RUSSEL, J. B. **Química geral**, volume 1, 2. ed. São Paulo: Atlas, 1994.

SANTOS, L. M. A; TAROUCO, L. M. R. **A importância do estudo da teoria da carga cognitiva em uma educação tecnológica**. *Novas tecnologias na educação*, v.5, n. 1, 2007.

SANTOS, L. M. A; TAROUCO, L. M. R. **A contribuição dos princípios da teoria da carga cognitiva para uma educação mediada pela tecnologia.** In: V Congresso Brasileiro de Ensino Superior a Distância. Gramado, RS. ESUD. 2008.

SANTOS, A. *et al.* **Introdução de conceitos do modelo padrão de partículas elementares através de sequências didáticas.** 2020. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) - Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal de Alfenas, Minas Gerais, 2020.

SANTOS, F. R. B. **Uma proposta metodológica para o ensino de conceitos de física mediadas por técnica de judô e a sala de aula invertida.** Disponível em: <http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/6681>. Acesso em: 23 jul. 2020.

SANTOS, J. C. C. **Força nuclear fraca.** Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/mod/forum/discuss.php?d=23207>. Acesso em: 03 set. 2020.

SARGIANI, R. **Histórias e biografias Jerome Bruner.** Psicologia Explica, 2016. Disponível em: <https://www.psicologiaexplica.com.br/jerome-bruner/>. Acesso em: 27 ago. 2020.

SILVA, A. H; GOMES, L.C. **A teoria da aprendizagem de Bruner e o ensino de ciências.** Arquivos do MUDI, v. 21, n. 3, p. 13-25, 2017.

SILVA, L. D. **A videoaula no ensino médio como recurso didático pedagógico no contexto da sala de aula invertida.** Disponível em: <http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/FURB>. Acesso em: 23 jul. 2020.

SIPEC, I. A teoria de aprendizagem de Bruner e o ensino de ciências. **Arquivos do MUDI**, v. 21, n. 3, p. 13-25, 2017.

SWELLER, J. **CognitiveLoadTheory: A Special Issue of educational Psychologist** LEA, Inc, 2003.

TIC Educação 2019. Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação. São Paulo, 2019. Disponível em: [https://cetic.br/media/analises/tic\\_educacao\\_2019\\_coletiva\\_imprensa.pdf](https://cetic.br/media/analises/tic_educacao_2019_coletiva_imprensa.pdf). Acesso em: 24 jul. 2020.

TIMBONI, K. S. **Elaboração de uma unidade de aprendizagem sobre relatividade geral para o ensino de física no primeiro ano do ensino médio.** 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25 ago. 2020.

TOMANIK, M. **O uso do software modellus na formação inicial de licenciandos em física dentro da abordagem metodológica da sala de aula invertida.** Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/7932>. Acesso em: 23 jul. 2020.

VIANA, F. F. R. **Física de Partículas no Ensino Médio: uma proposta experimental sobre partículas elementares e radiação cósmica.** 2020.

## APÊNDICE A

### AULA 1 - TESTE DE SONDAGEM

**I. Conteúdo:** Conhecimentos diversos da realidade do aluno.

**II. Objetivo:**

- Levantar informações sobre a realidade dos alunos consideradas relevantes para a aplicação da metodologia da sala de aula invertida durante o estudo dos conteúdos teoria atômica, forças fundamentais da natureza, modelo padrão de partículas.

**III. Duração:** 45 minutos.

**IV. Recursos didáticos:** AVA (*Google Forms*).

**V. Desenvolvimento da aula:** O questionário de sondagem foi criado utilizando o *Google Forms* e foi disponibilizado no AVA para que no momento da aula virtual síncrona os alunos respondam o questionário.

**VI. Questionário de Sondagem:**

Dados pessoais e da escola

Nome da escola:

Nome do aluno:

Série:

E-mail:

Série (ensino médio)

1º ano     2º ano     3º ano

01- Na sua casa tem celular?

sim                       não

02- Na sua casa tem computador

sim                       não

03- Na sua residência tem internet?

sim                       não

04 – Se você tem internet na sua residência qual o tipo de conexão?

wifi                       cabo                       chip de celular

05- Você tem acesso a internet diariamente?

sim                       não

06- Você usa a internet para estudos?

sim                       não

07- Conhece alguma plataforma de ensino?

sim  não

08- Você é acostumado a estudar sozinho(a) em casa?

sim  não

09- Costuma estudar os conteúdos antecipados em casa?

sim  não

10- Onde as dúvidas são maiores, quando você está estudando?

na escola  em casa

11 – Você tem cadastro em redes sociais?

sim  não

12- Caso tenha quais redes sociais você mais utiliza?

facebook  whatsapp  Instagram  outros

13 – Para que você mais utiliza o *notebook* ou o celular

pesquisas de trabalho na internet  acessar as redes sociais  
 jogos online  Outros

14 – Você leva celular ou outro equipamento de comunicação para a escola?

Sim  Não

15 – A escola permite o uso de celular por alunos na escola?

Sim  Não

<b>AULA 1 - PRÉ-TESTE/PÓS-TESTE</b>	
<b>I. Conteúdo:</b>	teoria atômica, forças fundamentais da natureza, modelo padrão de partículas.
<b>II. Objetivo:</b>	1 Diagnosticar os conhecimentos prévios dos alunos sobre os conteúdos teoria atômica, forças fundamentais da natureza, modelo padrão de partículas que serão ministrados posteriormente.
<b>III. Duração:</b>	45 minutos para cada teste.
<b>IV. Recursos didáticos:</b>	AVA / <i>Google Forms</i> / <i>notebook</i> / celular.
<b>V. Desenvolvimento da aula:</b>	O questionário intitulado de pré-teste/pós-teste é o mesmo, cuja finalidade é verificar a evolução das aprendizagens dos alunos no início e no final da aplicação da SD e foi criado utilizando o <i>Google Forms</i> e disponibilizado no AVA para que no 1º momento no horário da aula virtual síncrona os alunos respondam e também no 5º momento.
<b>VI. Questionário de conhecimentos prévios sobre teoria atômica, forças da natureza e modelo padrão de partículas:</b>	Apresenta como objetivo averiguar os conhecimentos prévios dos alunos acerca da temática.

Nome da Escola: \_\_\_\_\_

Nome do aluno: \_\_\_\_\_

Série: \_\_\_\_\_ Turma: \_\_\_\_\_

### **Pré-Teste/Pós-Teste**

1 - A estrutura básica da matéria sempre foi motivo de curiosidades para filósofos e cientistas. De acordo com os seus conhecimentos, quais são as partículas elementares constituintes da matéria?

- a. Prótons, nêutrons e elétrons.
- b. Elétrons apenas.
- c. Elétrons e quarks.
- d. Os elementos químicos.
- e. Nenhuma das anteriores.

Gabarito letra C.

2 - O Modelo Padrão de Partículas é uma teoria das mais sofisticadas que tenta descrever a natureza da matéria, identificando as partículas básicas. O modelo padrão de partículas pode ser subdividido em dois grupos. São eles:

- a. hádrons e léptons.
- b. bósons e férmions.
- c. mésons e bárions.
- d. táuons e múons.
- e. bósons e quarks.

Gabarito letra B.

3 - Os léptons, palavra que em grego significa "leve", são partículas que não são formadas por quarks. Assinale a alternativa abaixo que apresenta somente léptons:

- a. Nêutrons, prótons e elétrons
- b. Elétrons, múons e táuons
- c. Fótons, bósons de Higgs e glúons
- d. Neutrinos, quarks e bósons Z e W
- e. Nêutrons e neutrinos

Gabarito letra B.

4 - James Clerk Maxwell (1831-1879) descreveu, em sua teoria sobre o eletromagnetismo, que cargas elétricas acelerada emitem radiação eletromagnética e, conseqüentemente, energia eletromagnética. Como os elétrons no modelo de Rutherford possuem uma aceleração resultante radial, deveriam emitir energia e, com isso, sua velocidade tenderia a diminuir a cada volta. Neste caso, sua trajetória tenderia a diminuir de raio até o colapso do átomo. Sabemos que essa situação não é a que ocorre na natureza e, por isso, o átomo de Rutherford precisou passar por uma reformulação. Foi Niels Bohr que, em 1913, resolveu esse problema. Assinale a alternativa que mostra a modificação feita por Bohr para adequar o modelo de Rutherford a essa realidade experimental.

- a. Os elétrons podem ocupar qualquer posição ao redor do núcleo sem emitir energia.
- b. Os elétrons só podem ocupar posições bem definidas, chamadas de estados estacionários, onde não perdem energia.
- c. Os elétrons não perdem energia ao passar de um orbital para outro.

- d. Os elétrons não obedecem à lei de conservação da energia.
- e. Os elétrons não podem emitir radiação eletromagnética.

Gabarito letra B.

5 - (Ufla-MG) No modelo atômico atual, o nêutron tem a seguinte composição (u, d, d), na qual (u) representa o quark up e (d) representa o quark down. O quark up (u) tem carga elétrica positiva e igual a  $\frac{2}{3}$  do valor da carga elétrica do elétron. A alternativa que apresenta corretamente a carga elétrica do quark down (d) é:

- a. carga positiva e igual a  $\frac{1}{3}$  do valor da carga elétrica do elétron.
- b. carga positiva e igual a  $\frac{2}{3}$  do valor da carga elétrica do elétron.
- c. carga negativa e igual a  $\frac{1}{3}$  do valor da carga elétrica do elétron.
- d. carga negativa e igual a  $\frac{2}{3}$  do valor da carga elétrica do elétron.
- e. carga nula.

Gabarito letra C.

6 - (PUC - RS) O átomo, na visão de Thomson, é constituído de:

- a. níveis e subníveis de energia.
- b. cargas positivas e negativas.
- c. núcleo e eletrosfera.
- d. grandes espaços vazios.
- e. orbitais.

Gabarito letra B.

7- (ESPM-SP) O átomo de Rutherford (1911) foi comparado ao sistema planetário (o núcleo atômico representa o sol e a eletrosfera, os planetas): Eletrosfera é a região do átomo que:

- a. contém as partículas de carga elétrica negativa.
- b. contém as partículas de carga elétrica positiva.
- c. contém nêutrons.
- d. concentra praticamente toda a massa do átomo.
- e. contém prótons e nêutrons.

Gabarito letra A.

8 - De acordo com o modelo padrão de partículas, assinale a alternativa que apresenta somente partículas elementares:

- a. Elétrons e quarks
- b. Nêutrons e prótons
- c. Átomos e moléculas
- d. Múons e nêutrons
- e. Táuons e prótons

Gabarito letra A.

9 - Os bárions são partículas formadas pela ligação de, no mínimo, três quarks marque a opção, entre as alternativas abaixo, que apresenta apenas bárions:

- a. Fótons e glúons
- b. Prótons e elétrons
- c. Nêutrons e prótons
- d. Neutrinos e nêutrons
- e. Glúons e bósons de Higgs

Gabarito letra C.

10 - O LHC (*Large Hadron Collider*), maior acelerador de partículas do mundo, foi inaugurado em setembro de 2008, após 20 anos de intenso trabalho. Sua função é acelerar feixes de partículas, de tal forma que estes atinjam uma velocidade estimada em cerca de 99,99% da velocidade da luz. A colisão entre prótons será tão violenta que a expectativa é de se obterem condições próximas àquelas que existiram logo após o Big Bang. A primeira missão desse novo acelerador é estudar partículas indivisíveis (elementares) e as forças (interações) que agem sobre elas. Quanto às forças, há quatro delas no Universo:

- I. a....., responsável por manter o núcleo atômico coeso;
- II. a....., que age quando uma partícula se transforma em outra;
- III. a....., que atua quando cargas elétricas estão envolvidas.
- IV. a quarta força é a .....(a primeira conhecida pelo ser humano).

BEDIAGA, I. LHC: o colosso criador e esmagador de matéria. *Ciência. Hoje*. n. 247, v. 42. abr. 2008. p. 40.

No texto, foram omitidas as expressões correspondentes às nomenclaturas das quatro forças fundamentais da natureza, de acordo com a teoria mais aceita no meio científico hoje. Assinale a alternativa que apresenta, correta e respectivamente, os nomes dessas forças.

- a. Força gravitacional, força nuclear fraca, força eletromagnética e força nuclear forte
- b. Força nuclear forte, força eletromagnética, força nuclear fraca e força gravitacional
- c. Força nuclear forte, força nuclear fraca, força eletromagnética e força gravitacional
- d. Força gravitacional, força nuclear forte, força eletromagnética e força nuclear fraca
- e. Força nuclear fraca, força gravitacional, força nuclear forte e força eletromagnética.

Gabarito letra C.

## APÊNDICE B

### AULA 02 – TEORIA ATÔMICA

**I. Conteúdo:** Breve revisão sobre a teoria atômica desde os filósofos gregos ao modelo atômico atual.

**II. Objetivo:** Estudar a evolução do processo de construção a cerca da concepção da ideia de átomo, levando em consideração as teorias atômicas elaboradas desde os gregos a teoria atual.

**III. Duração:** 90 minutos.

**IV. Recursos didáticos:** AVA / *Google Forms* / *notebook* / celular.

**V. Desenvolvimento da aula:**

1º Etapa (Fora da sala de aula).

- O professor organiza o conteúdo a ser estudado pelo aluno;
- O professor faz a curadoria de bons vídeos educativos já existentes na internet na plataforma do *YouTube*.

2ª Etapa (AVA).

- Todo o material para ser estudado pelos alunos, será postado na plataforma Google sala de aula;
- Os alunos terão um período de 7 dias para fazer o estudo do material postado no ambiente virtual;
- Após ser feito o estudo do material será solicitado aos alunos nesse período que respondam uma atividade referente aos vídeos postado na plataforma;

3ª Etapa (Aula Virtual Síncrona).

**Na sala de aula virtual**

- Os primeiros minutos da aula será feito a atividade de aquecimento onde será sanada as dúvidas sobre o conteúdo estudado e o professor aproveitará o momento para fazer uma breve revisão do conteúdo.
- Posteriormente será feito, a socialização dos resultados da atividade.

**VI. Teste de vídeo: Teorias Atômicas**

**Link do Vídeo 1:** <https://www.youtube.com/watch?v=IDrKlqubzdw>

**Sinopse do Vídeo:** Neste vídeo do canal Descomplica, é feito uma explicação dos Modelos Atômicos de Dalton, Thomson, Rutherford, Rutherford-Bohr e as Partículas Subatômicas de um jeito fácil.

**Duração do vídeo:** 4 minutos e 37 segundos.

**Link do Vídeo 2:** <https://www.youtube.com/watch?v=MtBbVt7eInE>

**Sinopse do Vídeo:** Nesse vídeo do canal *Stoodj*, o prof. Igor trata da temática atomística, explicando, os modelos de Dalton, Thomson, Rutherford e Rutherford-Bohr.

**Duração do Vídeo:** 6 minutos e 54 segundos.

**Link do Vídeo 3:** <https://www.youtube.com/watch?v=6xorXFXqM3U>

**Sinopse do Vídeo:** O modelo atômico atual surgiu porque o modelo de Bohr tinha limitações graves do ponto de vista científico. O modelo dele servia somente para átomos hidrogenóides, além disso ele se utilizou de uma imposição matemática que precisava de uma justificativa. Podemos dizer que Bohr utilizou a teoria correta, mas justificou com a matemática "errada". Daí surgiu a mecânica quântica. Este vídeo do canal mapa de química, explica os principais conceitos da mecânica quântica de forma ilustrativa e animada.

**Duração do Vídeo:** 8 minutos e 49 segundos.

Nome da Escola: \_\_\_\_\_

Nome do (a) Professor (a): \_\_\_\_\_

Nome do (a) Aluno (a): \_\_\_\_\_

Série/Turma: \_\_\_\_\_

### ATIVIDADE DE APLICAÇÃO

**QUESTÃO 01-UFTM-MG** - O ser humano, desde a Antiguidade, questionou-se a respeito do que é feito o mundo em que vive. As primeiras ideias que explicavam essa indagação datam do século V a.C. quando os filósofos gregos elaboraram as primeiras noções a respeito da natureza do mundo que os cercava. Um dos pensamentos mais antigos de que se tem registro em relação à matéria é dado por Demócrito e Leucipo. Eles afirmavam que:

- tudo que existia era formado por fogo, água, terra e ar.
- a matéria possui carga positiva e negativa.
- qualquer material poderia ser dividido infinitamente.
- um material transforma-se em outro após algum tempo.
- a matéria é formada por pequenas partes indivisíveis.

Gabarito letra E.

**QUESTÃO 02** - Qual das afirmativas a seguir melhor descreve o comportamento de um elétron, comparado com partículas e ondas tradicionais?

- É uma partícula que, em certas circunstâncias especiais, se comporta como uma onda.
- É uma onda que, em certas circunstâncias, se comporta como partícula.
- À medida que passa o tempo, ora se comporta como partícula, ora como onda.
- É uma partícula que anda em torno do núcleo, numa trajetória ondulada.
- Seu comportamento pode ser interpretado como o de partícula ou de onda.

Gabarito letra E.

**QUESTÃO 03** - O átomo, na visão de Thomson, é constituído de:

- níveis e subníveis de energia.
- cargas positivas e negativas.
- núcleo e eletrosfera.
- grandes espaços vazios.
- orbitais.

Gabarito letra B.

**QUESTÃO 04** - (UFPA-PA) O modelo probabilístico utilizado para o problema velocidade-posição do elétron é uma consequência do princípio de:

- Bohr
- Aufbau
- De Broglie
- Heisenberg
- Pauling

Gabarito letra D.

**QUESTÃO 05** - A lâmpada de vapor de sódio, utilizada na iluminação pública, emite luz amarela. Esse fenômeno ocorre, porque o átomo emite energia quando o elétron

- passa de um nível de energia mais externo para um mais interno.
- passa de um nível mais interno para um mais externo.
- colide com o núcleo.
- é removido do átomo para formar um cátion.
- permanece em movimento em um mesmo nível de energia.

Gabarito letra A.

**QUESTÃO 06** - O elétron foi descoberto por Thomson no fim do século XIX, o que lhe rendeu o Prêmio Nobel. Qual a característica do modelo atômico proposta por ele?

- O átomo é indivisível.
- Os elétrons ocupam orbitais com energias bem definidas.
- O átomo sofre decaimento radioativo naturalmente.
- O átomo é maciço e poderia ser associado a um “pudim de passas”.
- N.D.A

Gabarito letra D.

**QUESTÃO 07** - UCBA - Uma semelhança entre os modelos atômicos de Dalton e de Thomson está no fato de ambos considerarem que o átomo

- é maciço.
- é constituído por prótons, nêutrons e elétrons.
- apresenta elétrons em camadas.
- é semelhante ao Sistema Solar.
- apresenta núcleo e eletrosfera.

Gabarito letra A.

**QUESTÃO 08** - (ESPM-SP) O átomo de Rutherford (1911) foi comparado ao sistema planetário (o núcleo atômico representa o sol e a eletrosfera, os planetas): Eletrosfera é a região do átomo que:

- contém as partículas de carga elétrica negativa.
- contém as partículas de carga elétrica positiva.
- contém nêutrons.
- concentra praticamente toda a massa do átomo.
- contém prótons e nêutrons.

Gabarito letra A.

**QUESTÃO 09** - O colorido dos fogos de artifício resulta da absorção ou da emissão de energia pelos elétrons. Ao absorverem energia, os elétrons saltam de uma órbita de energia mais baixa para outra mais elevada. Ao retornarem a órbitas de menor energia, emitem radiação eletromagnética, ou seja, de determinada frequência. A cor (frequência) da luz emitida depende dos átomos cujos elétrons são excitados. É correto afirmar que esse fenômeno pode ser explicado, satisfatoriamente, pelo modelo atômico de

- Bohr.
- Dalton.
- Rutherford.
- Thomson.
- Newton.

Gabarito letra A.

**QUESTÃO 10** - Rutherford, ao fazer incidir partículas radioativas em lâmina metálica de ouro, observou que a maioria das partículas atravessava a lâmina, algumas desviavam e poucas refletiam. Assinale, dentre as afirmações a seguir, aquela que não reflete as conclusões de Rutherford sobre o átomo.

- a. Os átomos são esferas maciças e indestrutíveis.
- b. No átomo há grandes espaços vazios.
- c. No centro do átomo existe um núcleo pequeno e denso.
- d. O núcleo do átomo tem carga positiva.
- e. Os elétrons giram ao redor do núcleo para equilibrar a carga positiva.

Gabarito letra A.

## APÊNDICE C

### AULA 03 - FORÇAS FUNDAMENTAIS DA NATUREZA

**I. Conteúdo:** força eletromagnética, forte, fraca e gravitacional.

**II. Objetivo:** Apresentar as interações fundamentais da natureza e suas partículas mediadoras.

**III. Duração:** 90 minutos.

**IV. Recursos didáticos:** AVA / *Google Forms* / *notebook* / celular.

**V. Desenvolvimento da aula:**

1º Etapa (Fora da sala de aula)

- O professor organiza o conteúdo a ser estudado pelo aluno;
- O professor faz a curadoria dos vídeos já existentes na internet;
- Todo material sobre as forças fundamentais da natureza para ser estudado pelo aluno será postado na plataforma Google sala de aula;
- A turma terá quatro dias para estudar o conteúdo no AVA;

2ª Etapa (AVA)

- Todo o material para ser estudado pelos alunos, será postado na plataforma Google sala de aula;
- Os alunos terão um período de 7 dias para fazer o estudo do material postado no ambiente virtual;
- Solicitar aos alunos que no momento que assistirem aos vídeos façam anotações do que julgarem relevante e das dúvidas.

3ª Etapa (Aula Virtual Síncrona)

**Na sala de aula virtual**

- A priori atividade de aquecimento;
- Formar grupos com quatro alunos integrantes;

Cada grupo terá que construir um mapa mental sobre as forças fundamentais da natureza.

**VI. Link dos vídeos sobre teorias atômicas utilizados nesta etapa:**

**Link do Vídeo 1:** <https://www.youtube.com/watch?v=Niyx6qsLhv0>

**Sinopse do Vídeo:** Quais são as interações fundamentais da natureza que explicam como os eventos ocorrem? Neste 4º vídeo da série "Em busca do constituinte fundamental", trata-se sobre estas interações e como elas funcionam.

**Duração do Vídeo:** 9 minutos e 26 segundos.

**Link do Vídeo 2:** [https://www.youtube.com/watch?v=r7-cy\\_EuYpc](https://www.youtube.com/watch?v=r7-cy_EuYpc)

**Sinopse do Vídeo:** Nesse vídeo é explorado as 4 forças fundamentais e seus papéis na natureza e por fim, fala-se de uma unificação das forças.

**Duração do Vídeo:** Aproximadamente 9 minutos.

Todos os vídeos tratam do tópico teorias atômicas e foram disponibilizados na AVA para ser estudado pelos alunos participantes da pesquisa.

## APÊNDICE D

### AULA 04 – MODELO PADRÃO DE PARTÍCULAS

**I. Conteúdo:** Partículas elementares e Modelo Padrão.

**II. Objetivos:**

1. Apresentar os constituintes elementares da matéria segundo a teoria do modelo Padrão
2. Mostrar como são realizados os experimentos para o descobrimento de novas partículas.

**III. Duração:** 90 minutos.

**IV. Recursos didáticos:** AVA / Google Forms / notebook / celular.

**V. Desenvolvimento da aula:**

1° Etapa (Fora da sala de aula)

- O professor organiza o conteúdo a ser estudado pelo aluno;
- O professor faz a curadoria dos vídeos já existentes na internet;
- Todo material sobre as forças fundamentais da natureza para ser estudado pelo aluno será postado na plataforma Google sala de aula;
- A turma terá 7 dias para estudar o conteúdo no AVA;
- Será postado na plataforma Google sala de aula o conteúdo sobre partículas elementares do modelo padrão.

2ª Etapa (AVA)

- Todo o material para ser estudado pelos alunos, será postado na plataforma Google sala de aula;
- Os alunos terão um período de 7 dias para fazer o estudo do material postado no ambiente virtual.

3ª Etapa (Aula Virtual Síncrona)

**3. Na sala de aula virtual**

- Inicialmente atividade de aquecimento (sanar as dúvidas revisando o conteúdo);
- Dividir a turma em grupos;
- Responder aos questionamentos sobre o conteúdo tratado;

Após a resolução das perguntas será feito o reforço da aprendizagem.

**VI. Teste de vídeo: Partículas elementares; Modelo padrão de partículas; LHC.**

**Link do Vídeo 1:** [https://www.youtube.com/watch?v=0wniWqjwt\\_8](https://www.youtube.com/watch?v=0wniWqjwt_8)

**Sinopse do Vídeo:** Para uma compreensão melhor de como a matéria e a energia é formada, a física através da teoria do modelo padrão definiu todas as partículas em categorias como Bósons e Férmions

**Duração do Vídeo:** 7 minutos e 52 segundos.

**Link do Vídeo 2:** <https://www.youtube.com/watch?v=88ksNaLSF3Q>

**Sinopse do Vídeo:** O vídeo trata da teoria modelo padrão, elencando as partículas fundamentais, dividindo em três categorias: bósons, quarks e léptons. Além disso o vídeo apresenta uma outra divisão para as partículas de acordo com o modelo padrão a saber: férmions e bósons.

**Duração do Vídeo:** aproximadamente 6 minutos.

**Link do Vídeo 3:** <https://www.youtube.com/watch?v=PyW0FI4-Toc>

**Sinopse do Vídeo:** Neste vídeo o último episódio da serie, A busca pelo constituinte fundamental, trata de agrupar as partículas de acordo com o Modelo Padrão e para isso faz uso de uma analogia com a natureza, com a floresta e à esse episódio foi denominado de Selva de Partículas.

**Duração do Vídeo:** 7 minutos e 41 segundos.

**Link do Vídeo 4:** <https://www.youtube.com/watch?v=74NjzNHeAq8>

**Sinopse do Vídeo:** Neste vídeo do canal mundo das curiosidades, o autor explica de forma resumida como funciona um acelerador de partículas e como são feitas as experiências para descobrir novas partículas.

**Duração do Vídeo:** 2 minutos e 35 segundos.

Nome da Escola: \_\_\_\_\_

Nome do (a) Professor (a): \_\_\_\_\_

Nome do (a) Aluno (a): \_\_\_\_\_

Série/Turma: \_\_\_\_\_

### ATIVIDADE DE APLICAÇÃO

**Questão 01-** Quais os constituintes elementares da matéria de acordo com o modelo padrão?

**Questão 02 –** Como são realizadas as experiências para descobrir novas partículas?

## APÊNDICE E

### AULA 05 – QUESTIONARIOS PÓS-TESTE E DE OPINIÃO

**I. Conteúdo:** Teoria atômica, forças fundamentais da natureza e modelo padrão de partículas.

**II. Objetivos:**

4. Averiguar se houve uma melhora na aprendizagem dos conteúdos ministrados.
5. Sondar qual a opinião dos discentes sobre a metodologia empregada no desenvolvimento das aulas.

**III. Duração:** 90 minutos.

**IV. Recursos didáticos:** AVA / *Google Forms* / *notebook* / celular.

**V. Desenvolvimento da aula:**

**Na sala de aula virtual**

6. O questionário pós – teste será aplicado com o propósito de verificar se houve ou não uma melhora na aprendizagem dos conteúdos ministrados;
7. O questionário de opinião será aplicado com o objetivo de sondar qual a opinião dos discente referente a metodologia adotada no desenvolvimento das aulas levando em consideração quais pontos positivos e negativos.

### QUESTIONÁRIO DE OPINIÃO

Questão 1. Você gostou da metodologia de aula?

Sim       Não

Questão 2. Qual a sua avaliação sobre a forma como foram ministrados os conteúdos?

positiva       negativa

Questão 3. Em relação a metodologia da sala de aula invertida qual/quais pontos positivos você destacaria?

Questão 4. Em relação a metodologia da sala de aula invertida qual/quais pontos negativos você destacaria?

Questão 5. O que você mais gostou nas atividades desenvolvidas em sala de aula?

Questão 6. Você acredita que o uso desta metodologia poderia ser aplicado em outros conteúdos ou em outras disciplinas?

Sim       Não

Questão 7. Você acha que o uso de vídeo-aulas facilita sua aprendizagem? Por quê?

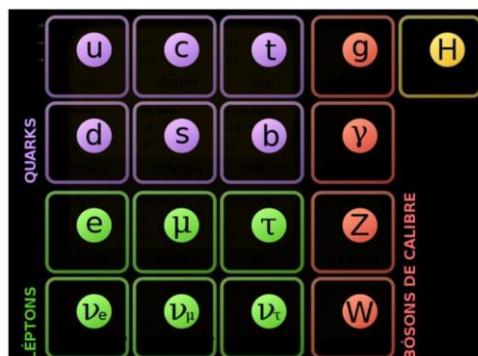
Questão 8. Você acredita que a aplicação desta metodologia contribuiu para seu aprendizado?

## APÊNDICE F

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



### UMA SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES DIDÁTICAS PARA O ENSINO DOS MODELOS ATÔMICOS AO MODELO PADRÃO DE PARTÍCULAS SOB A PERSPECTIVA DA SALA DE AULA INVERTIDA



Autor: Vagno Guedes Portela

Orientador: Dr. Luiz Moreira Gomes

Marabá-PA  
2022

# MANUAL DO PRODUTO EDUCACIONAL

## UMA SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES DIDÁTICAS PARA O ENSINO DOS MODELOS ATÔMICOS AO MODELO PADRÃO DE PARTÍCULAS SOB A PERSPECTIVA DA SALA DE AULA INVERTIDA

VAGNO GUEDES PORTELA

Produto Educacional aplicado e analisado durante a Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da UNIFESSPA no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof.º Dr. Luiz Moreira Gomes.

Marabá-PA  
2022

## SUMÁRIO

**1 APRESENTAÇÃO101**

**2 INTRODUÇÃO103**

**3 SALA DE AULA INVERTIDA104**

**4 MODELOS ATÔMICOS105**

**5 FORÇAS FUNDAMENTAIS DA NATUREZA110**

**6 FÍSICA DAS PARTICULAS ELEMENTARES112**

**7 ORGANIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA114**

ETAPA 1. APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA METODOLÓGICA115

ETAPA 2. TÓPICO TEORIAS ATÔMICAS116

ETAPA 3. INTERAÇÕES FUNDAMENTAIS DA NATUREZA116

ETAPA 4. TEORIA DO MODELO PADRÃO DE PARTÍCULAS117

ETAPA 5. APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO PÓS-TESTE / QUESTIONÁRIO DE OPINIÃO118

**8 CONSIDERAÇÕES FINAIS118**

**9 REFERENCIAS120**

**APÊNDICE A80**

**APÊNDICE B86**

**APÊNDICE C91**

**APÊNDICE D93**

**APÊNDICE E96**

## 1. APRESENTAÇÃO

Prezados colegas, professores (as),

Este manual constitui o Produto Educacional desenvolvido no âmbito do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA), no curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), da Sociedade Brasileira de Física (SBF).

Sua finalidade é detalhar as atividades desenvolvidas no contexto da dissertação intitulada “Uma sequência de atividades didáticas para o ensino dos modelos atômicos ao modelo padrão de partículas sob a perspectiva da sala de aula invertida”. Tais atividades focam na elaboração de uma proposta de Ensino sobre os modelos atômicos e a teoria do Modelo Padrão de Partículas utilizando como Sequência Didática a Estratégia Metodológica da Sala de Aula Invertida em uma turma do Ensino Médio.

Este Produto Educacional foi elaborado na perspectiva de oferecer ao professor de Física da educação básica uma ferramenta que possa lhe auxiliar no desenvolvimento de uma sequência didática sobre o tema “Teoria do Modelo Padrão de Partículas”, o qual não é trabalhado nas escolas da rede pública, mas é um tema atual e fascinante, que se aliado a uma proposta metodológica bem sucedida possibilitará ao aluno a fácil assimilação dos conteúdos de maneira ativa, tornando-os protagonista do seu próprio saber.

A construção deste trabalho esteve embasada nas Teorias de Ensino:

- i) Aprendizagem Significativa de David Ausubel: segundo esta teoria o fator isolado mais importante que influencia o aprendizado é aquilo que o aprendiz já sabe, de modo que o conhecimento prévio é a chave para a aprendizagem significativa. Esta por sua vez, é um processo pelo qual um novo conhecimento se relaciona de forma substantiva e não arbitrária a outro já existente;
- ii) Carga Cognitiva (TCC) de John Sweller: trata da limitação da capacidade humana de processar várias informações simultaneamente. A aprendizagem ocorre melhor sob condições que estejam alinhadas com a arquitetura cognitiva humana, ou seja, a carga cognitiva está relacionada com a quantidade de informações que a memória de trabalho pode armazenar ao mesmo tempo;

iii) Ensino em Espiral de Jerome Bruner: consiste na revisão dos conteúdos sendo trabalhados com diferentes níveis de complexidade. Para Moreira (1999), o estudante deve ter a possibilidade de ver um mesmo conteúdo mais de uma vez em diferentes níveis de aprofundamento e modos de representação.

A Sequência Didática aqui apresentada foi implementada remotamente em virtude da pandemia do Coronavírus (no período 2020-2021) de forma assíncrona e síncrona. O público-alvo foi uma turma da 3ª série do Ensino Médio da rede Pública de Ensino no Município de Tucuruí.

Almeja-se que este produto educacional, seja útil e auxilie professores em sua prática docente, de modo a tornar suas aulas mais motivadoras na busca por uma aprendizagem mais eficiente.

Espera-se, ainda, que o professor possa implementar o produto utilizando plataformas digitais semelhantes as utilizadas na dissertação e que, trabalhe sempre com o objetivo de cativar o aluno, tornando sua aula motivadora e fomentando com isso um aprendizado que possa ser uma experiência ímpar, contribuindo assim, para o desenvolvimento de uma visão panorâmica da Física que seja clara e efetiva.

Atenciosamente,

O Autor.

## 2. INTRODUÇÃO

A procura por estratégias pedagógicas capaz de despertar um maior interesse dos alunos na aprendizagem dos conteúdos, tem-se mostrado um desafio constante para os profissionais da educação uma vez que os alunos da atualidade (em sua maioria), não se sentem atraídos por estratégias que privilegiam a aprendizagem de forma passiva.

Diante deste contexto é preciso uma transformação no modo de ensinar e aprender, possibilitando ao aluno uma forma diferente de pensar e tornando-o mais participativo e autônomo na sua aprendizagem. Por isso, a grande importância do uso de metodologias ativas, que se apresentam como uma alternativa com grande potencial para atender às demandas e desafios da educação atual (CAMARGO E DAROS, 2018).

Para Alencar e Borges (2014), pode-se entender as Metodologias Ativas como formas de desenvolver o processo do aprender que os professores utilizam na busca de conduzir a formação crítica de futuros profissionais nas mais diversas áreas. Dentre as diversas metodologias ativas de aprendizagem está a Sala de Aula Invertida.

A sala de aula invertida (flipped classroom) é um método de aprendizado no qual o conteúdo é apresentado para o estudante fora do ambiente escolar. Esse primeiro contato pode acontecer por meio da internet, incluindo vídeo-aulas e games disponibilizados pelos professores, livros e textos didáticos.

A proposta metodológica apresentada na sequência, é utilizada na abordagem do tema “Dos modelos atômicos ao modelo padrão de partículas”, por meio da metodologia ativa denominada SAI com o propósito de se obter uma aprendizagem mais eficiente dos conteúdos estudados.

Mediante essa metodologia acredita-se que além de otimizar a compreensão dos conceitos, será possível uma participação mais ativa dos alunos no contexto da sua aprendizagem.

O tema “Modelo padrão de partículas”, o qual não faz parte do currículo do Ensino Médio, foi utilizado com uso de transposição didática, visando facilitar sua assimilação pelos alunos da turma onde foi trabalhado. A intenção da utilização do referido tema no Ensino Médio é propiciar discussões sobre sua inclusão no currículo de Física, haja vista que, de acordo com estudiosos da área como Moreira (2011), a

Física ensinada nas escolas no século XXI, não avançou e ainda é a Física do século XIX, o que entende ser um grande absurdo.

### **3. SALA DE AULA INVERTIDA**

A realidade da educação, como um todo (aulas, alunos e professores) é bem diferente da educação de 50 anos atrás (BACICH; NETO; TREVISANI, 2015). Devido o desenvolvimento tecnológico, é crescente a necessidade de inserção cada vez mais de recursos tecnológicos na educação brasileira. A sua utilização colabora com a produtividade do professor, com a motivação dos alunos e na organização do planejamento das aulas.

Nesse contexto, as metodologias ativas como SAI, surgem como alternativa viável no processo de construção do conhecimento. De acordo com Bacich e Moran (2018), a proposta da sala de aula invertida está surgindo em um momento de grande oportunidades educacional, principalmente com a disseminação das TDIC.

A SAI é uma metodologia ativa em que inclui o uso da tecnologia e possibilita que o aluno assuma uma posição ativa em seu processo de aprendizagem com o professor tornando-se um facilitador.

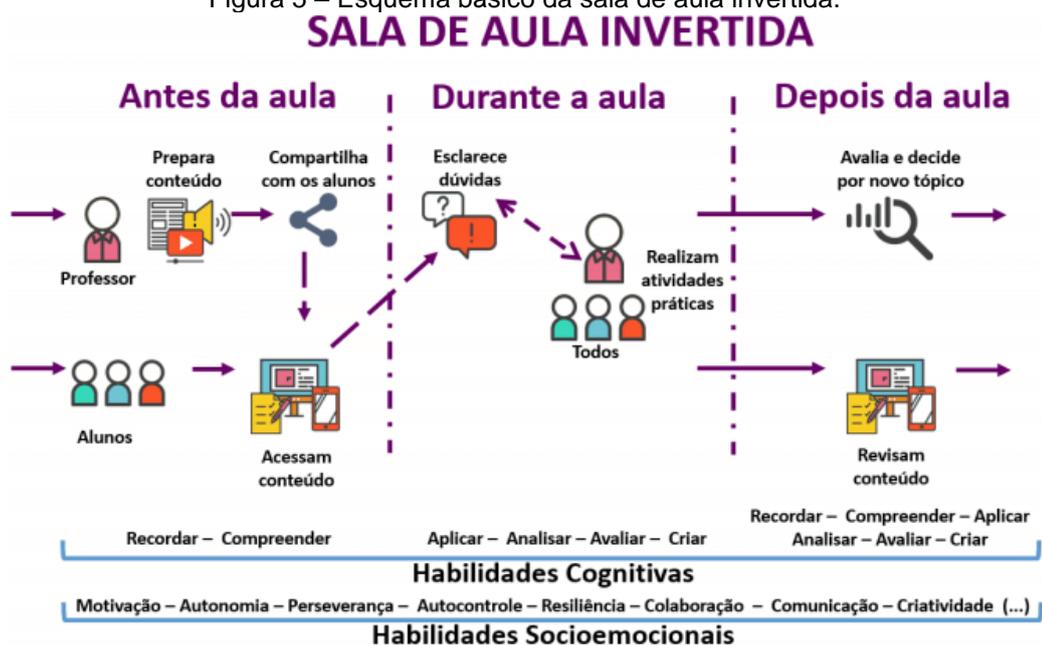
Para Carvalho (2018), a SAI é considerada uma grande inovação no processo de aprendizagem. Como o próprio nome sugere, é o método de ensino através do qual a lógica de uma sala de aula é de fato invertida por completo.

De acordo com Bergmann e Sams (2016, p.11), “o conceito de sala de aula invertida é o seguinte: o que tradicionalmente é feito em sala de aula, agora é executado em casa, e o que tradicionalmente é feito como trabalho de casa, agora é realizado em sala de aula”.

Para Schneiders (2018), a inversão da sala de aula de forma simplificada, consiste em fazer em casa as atividades relacionadas à transmissão dos conhecimentos e na sala de aula as atividades relacionadas a assimilação do conhecimento.

A figura 1, mostra um esquema da SAI.

Figura 5 – Esquema básico da sala de aula invertida.



Fonte: Schmitz, 2016.

Para o desenvolvimento de cada etapa que compõe esta SD, procurou-se levar em consideração três momentos, os quais são: antes da aula, durante a aula e depois da aula.

Dessa forma antes das aulas o professor elabora os materiais de estudo e/ou faz a seleção de bons vídeos educativos e textos disponíveis na internet sobre a temática a ser estudada e disponibiliza no ambiente virtual de aprendizagem para ser estudado pelos alunos.

Durante a aula é feita a atividade de aquecimento na tentativa de sanar as dúvidas existente, além de realizar as tarefas praticas sobre o conteúdo estudado. Depois da aula mediante os resultados obtidos é feito a avaliação e a tomada de decisão se segue para um outro tópico ou pela revisão do tópico tratado.

#### 4 MODELOS ATÔMICOS

O ser humano ao longo do tempo sempre teve a curiosidade de saber de que é feito a matéria. As teorias atômicas surgiram da busca por resposta a respeito desse questionamento, hoje se tem o conhecimento de que a matéria é constituída por átomos. A respeito do que viria a ser o átomo tem início com os filósofos gregos Leucipo e Demócrito. No entendimento destes filósofos a matéria era constituída por pequenas partículas indivisíveis as quais denominaram de átomo, o conceito de indivisibilidade do átomo, no entanto foi destruído, mas tarde, devido principalmente

pelo desenvolvimento das técnicas experimentais, atualmente é sabido que os átomos são formados por partículas ainda menores.

John Dalton (1803), ao estudar o resultado de vários experimentos elaborou o seu modelo atômico o qual ficou conhecido como bola de bilhar e formulou os enunciados a saber: toda matéria é constituída por átomos; os átomos de um mesmo elemento são idênticos enquanto, os de elementos químicos são diferentes; as transformações químicas ocorrem devido a recombinação dos átomos de uma substância. Para Dalton o átomo era uma esfera maciça, indivisível e indestrutível.

Joseph John Thomson propôs um modelo diferente ao de Dalton. Devido ao desenvolvimento tecnológico ocorrido durante o século XIX, surgiram os chamados “tubos de Crookes”, um tubo de vidro lacrado, contendo um gás de baixa pressão e eletrodos próximos às extremidades. Quando os eletrodos eram ligados a uma fonte de voltagem o gás passava a brilhar.

Os experimentos realizados com tubos contendo placas e fendas metálicas revelaram que o que fazia o gás brilhar era algum tipo de “raio” que emergia do terminal negativo, o cátodo (HEWITT, 2015). Este aparelho foi chamado de tubo de raios catódicos. Thomson observou que na presença de um campo elétrico, produzido pelas placas eletrizadas, os raios sofriam uma deflexão e eram atraídos pelo polo positivo do campo. A partir das medições feitas da deflexão dos raios catódicos, Thomson determinou a relação entre carga e massa das partículas que formavam o raio. Para Thomson, diferentemente de Dalton o átomo seria divisível, ou seja, possuía partículas menores os elétrons. A seguir uma representação do modelo atômico de Thomson.

Figura 6 – Representação do modelo atômico de Thomson.



Fonte: Gaspar, 2016.

O modelo atômico de Thomson ficou conhecido como “pudim de passas”. Ele sugeriu que um átomo poderia ser uma esfera carregada positivamente na qual alguns elétrons estão incrustados, e apontou que isto levaria a uma fácil remoção de elétrons do átomo (RUSSEL, 1994).

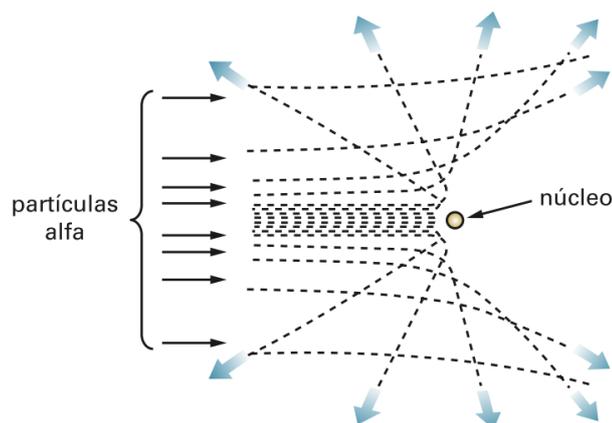
Os experimentos de Rutherford e o experimento da folha da lâmina de ouro mostraram que este modelo estava errado.

O físico neozelandês Ernest Rutherford realizando diversas experiências de bombardeio com lâmina de ouro com partículas  $\alpha$ , constatou que a grande maioria das partículas atravessavam diretamente a lâmina, algumas sofriam pequenos desvios e outras em número muito pequeno, sofriam grande desvio em sentido oposto (BARBOSA, FEITOSA E FORTE, 2016).

Diante dos resultados experimentais Rutherford concluiu:

- i) as partículas alfa atravessavam a lamina sem desvio pelo fato de o átomo conter grandes espaços vazios;
- ii) no centro do átomo existe uma região pequena e densa, o núcleo e;
- iii) o núcleo tem carga positiva e por esta razão as partículas alfas, eram repelidas ou sofria desvio de sua trajetória quando passavam próximo a ele (BARBOSA, FEITOSA E FORTE, 2016). A figura a seguir ilustra as trajetórias das partículas alfas nas proximidades do núcleo de um átomo, segundo o modelo atômico de Rutherford.

Figura 7 – Representação da trajetória das partículas alfas próxima ao núcleo do átomo.



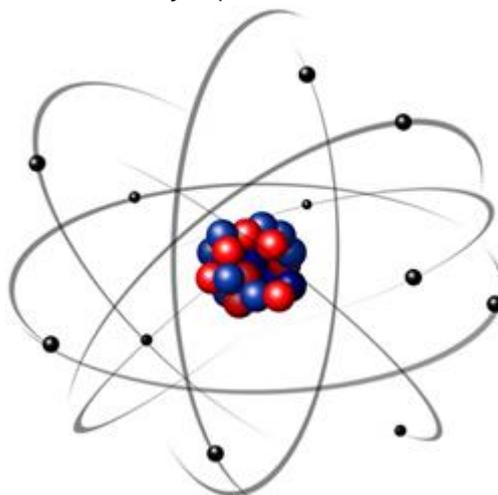
Fonte: Gaspar, 2016.

De acordo a Física Clássica, o modelo atômico de Rutherford não poderia existir. Segundo o eletromagnetismo clássico, partículas portadoras de carga elétrica, quando aceleradas, emitem radiações eletromagnéticas e perdem energia (GASPAR, 2016). Neste caso os elétrons executariam um movimento em espiral até colidir com

o núcleo, o átomo proposto violava as leis do eletromagnetismo conhecidas, a questão era explicar a estabilidade do átomo.

O modelo atômico de Rutherford ficou conhecido como modelo planetário, no qual os elétrons orbitavam o núcleo do átomo uma analogia ao movimento orbital dos planetas em torno do sol. Adiante uma representação do modelo atômico proposto por Rutherford.

Figura 8 – Ilustração para o átomo de Rutherford



Fonte: <https://www.preparaenem.com/upload/conteudo/images/modelo-atomico.jpg>

No modelo de Bohr, os elétrons descrevem orbitas circulares em torno de um núcleo positivo, submetidos à força de atração dada pela lei de Coulomb, que desempenha o papel de resultante centrípeta.

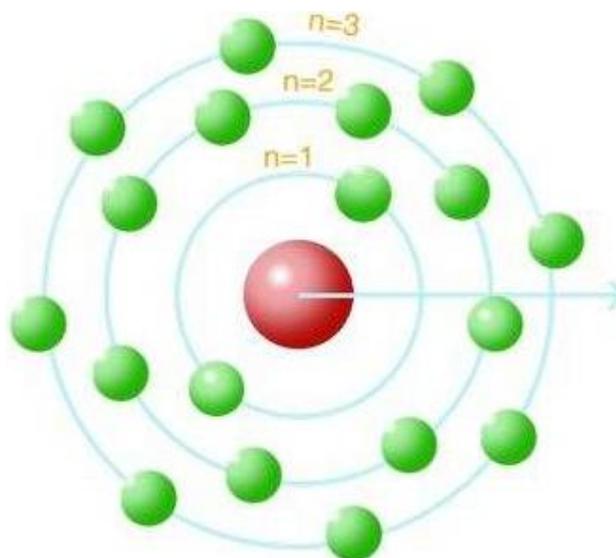
Neste modelo a força que mantém o elétron girando em torno do núcleo é de origem elétrica, assim a força de atração resultante mantinha o elétron em movimento circular ao redor do núcleo. Coube a Bohr explicar o problema da estabilidade do átomo.

Em 1913, Bohr aproveitou a recente proposição de quantização de energia e postulou que o raio da trajetória do elétron em torno do núcleo atômico não poderia apresentar um valor qualquer, logo só seriam permitidas determinadas orbitas onde não houvesse emissão de radiação denominadas de estados estacionários ou quânticos (FUKE e AMAMOTO, 2016).

Bohr sugeriu a comunidade científica um novo modelo para o átomo em que, as orbitas dos elétrons passariam a ser chamadas de níveis energéticos ou estados estacionários, estes seriam dotados de um nível mínimo de energia, responsável pela manutenção dos elétrons em suas órbitas, dessa forma impediam que os mesmos

perdessem energia e colidissem no núcleo. A figura em seguida é uma representação do modelo de Bohr.

Figura 9 – Ilustração do modelo de Bohr.



Fonte: [https://cdn.pixabay.com/photo/2020/04/02/06/19/atomic-4993662\\_960\\_720.png](https://cdn.pixabay.com/photo/2020/04/02/06/19/atomic-4993662_960_720.png)

Segundo a proposição de Bohr cada estado estacionário era correspondente a um nível de energia. O nível de menor energia foi denominado de estado fundamental e os demais níveis chamados de estados excitados.

O elétron ao passar de um nível energético para outro, realizava um salto quântico podendo absorver ou emitir energia. Para o elétron saltar de um nível menos energético para um nível de maior energia este, deveria absorver um fóton de energia para o processo inverso ele deveria emitir um fóton.

O modelo atômico de Bohr não leva em consideração o princípio de incerteza de Heisenberg no qual é impossível medir simultaneamente a posição exata e o momento exato de uma partícula logo, se não é possível encontrar exatamente o elétron em sua trajetória não seria possível representar os níveis de energia por linhas, como é feito no modelo de Bohr.

O modelo atual é um aperfeiçoamento do modelo de Bohr levando em consideração o princípio da incerteza de Heisenberg, a dualidade onda-partícula de Louis De Broglie e as contribuições de Schrödinger. Em 1924, Louis de Broglie forneceu uma explicação para as orbitas discretizadas do modelo de Bohr, baseado na dualidade onda-partícula. De acordo com o princípio da dualidade, o elétron ora se comporta como partícula, ora como uma onda. Para Baker (2015), a matéria, bem como para a radiação, em particular a luz, precisamos introduzir ao mesmo tempo o conceito de corpúsculo e o conceito de onda.

Schrödinger decidiu descrever o elétron matematicamente como uma onda tridimensional, ele descreveu uma equação na qual descrevia a chance de uma partícula se comportar como onda em certo lugar, utilizando física ondulatória e probabilidade. Esta equação previa corretamente os comprimentos de onda das linhas espectrais do hidrogênio (BAKER, 2015).

## 5 FORÇAS FUNDAMENTAIS DA NATUREZA

Sabe-se que há quatro forças fundamentais na natureza e que todos os fenômenos naturais podem ser descrito por elas. Em ordem decrescente de intensidade tais forças são: a nuclear forte, a eletromagnética, a nuclear fraca e a força gravitacional.

A força nuclear forte é a responsável pela estabilidade dos núcleos atômicos, permitindo, por exemplo que prótons, partículas dotadas de carga elétrica positiva mantenham-se coesos dentro do núcleo atômico. A força nuclear mantém os núcleons unidos, tem um alcance muito curto e é desprezível para separações maiores do que aproximadamente 2 fm, tamanho aproximado do núcleo (SERWAY, 2010).

A explicação para que prótons e nêutrons mantenham-se presos no núcleo é que a força forte entre os quarks de prótons diferentes é suficiente para superar a força eletromagnética. A figura a seguir ilustra essa situação conhecida como interação forte residual.



Fonte: The Particle Adventure. Disponível em:

[https://physicsmasterclasses.org/exercises/hands-on-cern/hoc\\_v21pt/rollover/ro\\_pimesonkraft\\_1.jpg](https://physicsmasterclasses.org/exercises/hands-on-cern/hoc_v21pt/rollover/ro_pimesonkraft_1.jpg)

O núcleo atômico é formado por prótons e nêutrons mantidos juntos. E sabido que cargas de mesmo sinal repelem-se logo, como os nêutrons não tem carga, os prótons são carregados positivamente apresentam uma interação eletromagnética repulsiva o que deveria causar uma desintegração do núcleo, no entanto isso não

acorre o núcleo mantém-se coeso devido a interação forte residual ser mais intensa que a força eletromagnética.

A força eletromagnética explica a atração e repulsão entre os polos magnéticos, entre partículas dotadas de carga elétrica e entre essas partículas e campos elétricos e magnéticos. Essencialmente a força eletromagnética é a responsável pela interação entre partículas carregadas: o próton e o elétron, quem faz essa intermediação é o fóton (ABDALLA, 2006).

De acordo com a interação eletromagnética a intensidade da força de atração ou repulsão entre duas cargas pode ser calculada por:

$$F_e = K \frac{Qq}{d^2} \quad 1$$

Para esta equação o valor da constante eletrostática (K), depende do meio onde se encontram as cargas e é definida em unidades do Sistema Internacional por:

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon} \quad 2$$

sendo,  $\epsilon$  a permissividade absoluta.

A força fraca é responsável pelo decaimento relativamente lento de partículas como nêutrons e múons e também por todas reações envolvendo neutrinos (MOREIRA, 2011).

De acordo com Biscola, Bôas e Doca (2016), a força nuclear fraca, de descrição estritamente quântica, é responsável pela degradação radioativa de certos núcleos atômicos. Em particular essa força rege o processo de decaimento beta. Quaisquer corpo que possuem massa atraem-se mutuamente. Esta é a chamada interação gravitacional que diminui de intensidade quanto maior for a distância entre os corpos (OSTERMANN, 2001).

A interação gravitacional é uma interação atrativa de longo alcance (estende-se ao infinito), a seguir é apresentada a equação matemática que permite calcular a interação gravitacional entre dois corpos.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad 3$$

onde G, representa a contante de gravitação universal e seu valor é de  $6,67 \cdot 10^{-11} \text{newton} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$ .

Para cada tipo de força tem-se uma partícula mediadora responsável pela força, no caso da força forte a partícula mediadora é denominada de glúons, os

mediadores da força eletromagnética são os fótons. As partículas W e Z, são responsáveis pela força fraca e o graviton partícula mediadora da força gravitacional.

As partículas mediadoras são responsáveis por intermediar as interações fundamentais da natureza.

## 6 FÍSICA DAS PARTICULAS ELEMENTARES

Para os cientistas até 1932, as partículas constituintes dos átomos eram prótons, nêutrons e elétrons. Como naquela época essas eram as menores partículas que se tinha o conhecimento elas foram chamadas de partículas elementares. Posteriormente, os físicos descobriram que prótons e nêutrons são compostos de partículas ainda menores denominadas quarks.

Os físicos desenvolveram uma teoria denominada de Modelo Padrão, que visa descrever as partículas fundamentais e suas interações. Esta teoria teve grande progresso a partir de 1960, quando as pesquisas no ramo da física das partículas avançaram rapidamente e outras partículas elementares vieram à luz (FUKE E YAMAMOTO, 2016).

No modelo padrão a matéria que conhecemos é formada por três tipos de partículas, consideradas elementares a saber: quarks, léptons e partículas mediadoras.

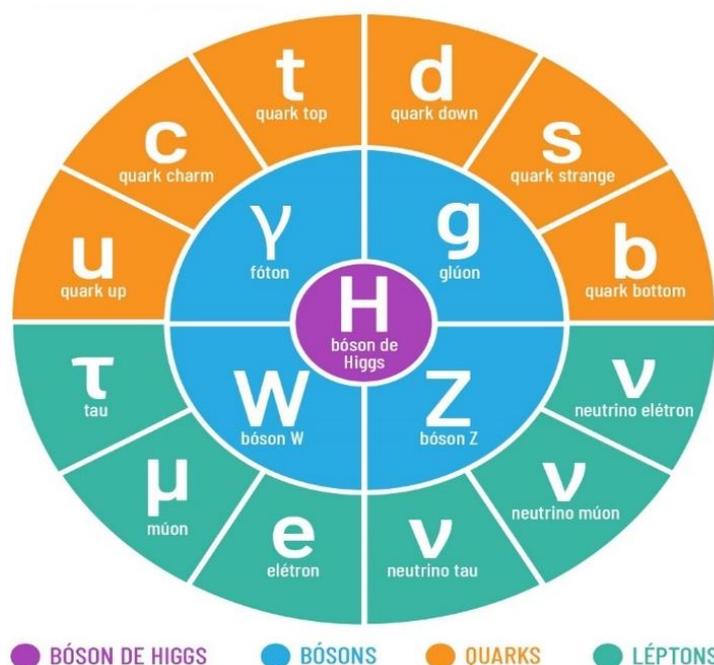
De acordo com a teoria do modelo padrão, aparentemente tudo que existe no universo é formado por seis tipos de quarks (up, charm, top, down, strange e bottom), seis tipos de léptons (tau, múon, elétron, neutrino do tau, neutrino do múon e neutrino do elétron), além dos quatro tipos de bósons que são partículas mediadoras transmissoras das forças (fóton, glúon, bóson W, bóson Z), mais o bóson de Higgs.

O bóson de Higgs foi predito em 1964 pelo físico britânico Peter Higgs. O Higgs representa a chave para explicar a origem da massa das outras partículas elementares da natureza (PIMENTA *et al*, 2013).

Os quark e léptons são férmions, que por sua vez é qualquer partícula que apresenta spin semi-inteiro.

Os bósons são partículas que apresentam spin inteiro. A seguir as partículas elementares segundo a teoria do modelo padrão de partículas.

Figura 11 – Partículas do Modelo Padrão da Física de Partículas.



Fonte: [https://i0.wp.com/jornal.usp.br/wp-](https://i0.wp.com/jornal.usp.br/wp-content/uploads/2019/07/20190820_info_modelo_padra%CC%83o.jpg?w=2400&ssl=1)

[content/uploads/2019/07/20190820\\_info\\_modelo\\_padra%CC%83o.jpg?w=2400&ssl=1](https://i0.wp.com/jornal.usp.br/wp-content/uploads/2019/07/20190820_info_modelo_padra%CC%83o.jpg?w=2400&ssl=1)

Segundo Serway (2010), os cientistas acreditam agora que as partículas elementares de fato estão em três categorias: léptons, quarks e partículas de campo. Quarks e léptons têm spin  $\frac{1}{2}$  e, portanto, são férmions, enquanto as partículas de campo têm spin 1 ou acima disso e são bósons.

Spin é a propriedade associada ao movimento de rotação devido a velocidade angular em torno do seu próprio eixo e que independe de sua velocidade linear (ABDALLA, 2006).

De acordo com Pires (2011), os léptons são partículas que parecem ser simples, sem estrutura (isto é, sem tamanho discernível), pontuais, indivisível e portando, tanto quanto sabemos, verdadeiramente fundamentais.

Os léptons até hoje identificados são: o elétron ( $e$ ), o múon ( $\mu$ ) e o taúon ( $\tau$ ), estes apresentam a mesma carga e spin do elétron diferindo na massa além destes existem o neutrino do elétron ( $\nu_e$ ), o neutrino do múon ( $\nu_\mu$ ) e o neutrino do taúon ( $\nu_\tau$ ).

Para cada lépton existe um antilépton com a mesma massa porem carga oposta. Assim como os léptons existem 6 tipos de quarks ou sabores conhecido até hoje denominados de quarks *up*, *down*, *charm*, *strange*, *bottom* e *top*.

## 7 ORGANIZAÇÃO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A metodologia utilizada no desenvolvimento desta SD foi a SAI, cujo objetivo durante o processo de ensino aprendizagem é possibilitar ao aprendiz uma maior autonomia e participação, tornando-o protagonista do seu próprio saber.

Desse modo, a sequência didática envolve diferentes atividades as quais podem ser divididas em cinco etapas. Cada etapa é composta por duas aulas de 45 minutos.

Para o desenvolvimento de cada etapa, o professor deve elaborar o seu próprio material e/ou faça a seleção de bons vídeos educativos disponíveis na internet, (há muitos na plataforma do *YouTube*) sobre a temática a ser estudada e disponibilize no ambiente virtual de aprendizagem escolhido. Para o desenvolvimento da segunda, terceira e quarta etapa, de acordo com a metodologia da SAI, leve em consideração os três momentos:

O **primeiro momento** corresponde a elaboração e organização do conteúdo de a ser ministrado para os alunos. Neste, o professor deverá confeccionar os textos dos assuntos que serão abordados, fazer a curadoria de bons vídeos educativos existentes na internet ou gravar os seus próprios vídeos além disso elaborar as atividades referentes aos materiais de estudo disponibilizados no ambiente virtual de aprendizagem.

O **segundo momento** diz respeito ao período de estudo dos alunos de todo material postado no ambiente virtual. Para este momento os alunos terão um intervalo de uma semana entre uma aula e a aula seguinte para realizar o estudo de todo material, durante o estudo os alunos deverão fazer anotações das partes que julgarem ser importantes bem como as eventuais dúvidas que forem surgindo neste momento.

Finalmente o **terceiro momento** acontecerá em sala de aula. Nesta etapa os primeiros minutos de cada aula serão utilizados para a atividade de aquecimento com o objetivo de sanar as dúvidas em seguida sugiro fazer uma breve revisão do conteúdo.

A tabela 1 apresenta divisão desta SD levando em consideração as atividades desenvolvidas e o tempo de execução, posteriormente será feito a descrição do desenvolvimento de cada etapa.

Tabela 1 – Síntese da sequência didática utilizada.

<b>Etapa</b>	<b>Descrição das Atividades</b>	<b>Tempo de duração</b>
1	Apresentação da metodologia e aplicação dos questionários: Sondagem e pré-teste.	1,5 horas
2	Estudo sobre o conteúdo teorias atômicas.	1,5 horas
3	Estudo do tópico forças fundamentais da natureza.	1,5 horas
4	Estudo da teoria modelo padrão de partículas.	1,5 horas
5	Aplicação dos questionários: pós-teste e de opinião.	1,5 horas

Fonte: Autor, 2021.

Em seguida apresento o relato das atividades didáticas desenvolvidas em cada uma das etapas que compõe a SD, utilizando a proposta da SAI para o estudo da temática escolhida. Acredita-se que, através desta estratégia, ocorra um progresso na apropriação dos conceitos estudados.

### **Etapa 1. Apresentação da proposta metodológica**

A primeira etapa da SD, tem por objetivo explicar a proposta metodológica da SAI, além disso mostrar aos alunos a importância do comprometimento com a sua aprendizagem. Após tais orientações sobre a proposta didática implementada na pesquisa, deve ser feita a aplicação de dois questionários.

O primeiro chamado de questionário de sondagem tem por finalidade averiguar a situação dos alunos em relação aos instrumentos tecnológicos como por exemplo telefone, *Notebook* e internet, ferramentas necessárias para implementação da proposta metodologia da SAI haja vista que, a SD apresenta atividades a serem realizadas dentro e fora da sala de aula que necessitam da utilização das tecnologias de informação e comunicação (TIC).

O material didático de apoio ao professor foi pensado com o propósito de trabalhar levando em consideração os subsunçores dos alunos sobre o tema a ser estudado.

Nesse sentido, o questionário denominado Pré-Teste é composto de 10 questões de múltipla escolha com uma alternativa correta em cada questão relacionadas aos assuntos a serem estudado. Sua aplicação tem como objetivo investigar os conhecimentos prévios dos alunos.

As teorias da aprendizagem significativa de Ausubel e a teoria de ensino em espiral, ambas as teorias usadas como referencial teórico deste trabalho, levam em consideração aquilo que o aluno já sabe sobre um conteúdo, ou seja, os conhecimentos prévios para a partir destes ser introduzido novos conceitos.

Após a aplicação dos questionários o professor deverá fazer as orientações sobre a necessidade de os alunos estudarem em casa com antecedência os matérias da aula seguinte disponibilizados no ambiente virtual da turma.

Nesse sentido foram disponibilizados vídeos sobre o tópico teorias atômicas e uma atividade sobre o conteúdo para a etapa seguinte.

## **Etapa 2. Tópico Teorias Atômicas**

Na segunda etapa foi tratado o tópico teorias atômicas com o objetivo de mostrar o processo evolutivo acerca do entendimento dos constituintes da matéria partindo da concepção que tinham os filósofos gregos chegando à concepção atual.

Após o estudo em casa do material sobre as teorias atômicas disponibilizados no AVA foi viabilizado no *Google Forms* uma atividade contendo 10 questões objetivas sobre o conteúdo para ser resolvida pelos alunos.

Na sala de aula inicialmente será feita a atividade de aquecimento, procurando sanar as dúvidas existente sobre o material estudado em seguida, sugiro fazer uma revisão, em harmonia com a teoria do ensino em espiral utilizando para este momento as perguntas da própria atividade realizada pelos alunos, momento de socialização dos resultados com toda a turma.

No final da aula precisa ser feito as orientações acerca da próxima etapa da sequência didática.

## **Etapa 3. Interações fundamentais da natureza**

Para esta etapa o tópico trabalhado foi forças fundamentais da natureza que teve como objetivo apresentar as interações fundamentais da natureza: eletromagnética, forte, fraca e gravitacional destacando as partículas mediadoras de cada interação.

Após o estudo previamente dos vídeos sobre a temática, o professor em sala de aula realiza uma revisão do conteúdo e em seguida dividi a turma em grupos. Para

este momento cada grupo terá como tarefa a construção de um mapa conceitual sobre o tópico estudado.

Mapas conceituais são diagramas hierárquicos de conceitos e relações entre conceitos, que procuram refletir a estrutura conceitual hierárquica de um corpo de conhecimentos (MOREIRA, 2011). Os mapas de conceitos podem ser usados em diversas situações para diferente finalidade neste caso, foi utilizado como uma ferramenta de avaliação da aprendizagem.

Vale ressaltar que nesta pesquisa no momento da realização da tarefa, foi criado uma sala virtual para cada grupo, dessa forma os integrantes de cada grupo puderam discutir e desenvolver a tarefa. As atividades desenvolvidas em grupo nesta SD tem como finalidade diminuir a sobrecarga cognitiva em simbiose com a TCC.

De acordo com esta teoria, o aprendizado colaborativo é mais eficiente para tarefas de aprendizagem complexas e solução de problemas que provavelmente excederão os recursos da memória de trabalho do indivíduo.

#### **Etapa 4. Teoria do modelo padrão de partículas**

Nesta etapa foi tratado o tópico modelo padrão de partículas com a finalidade de apresentar os constituintes elementares da matéria de acordo com a teoria modelo padrão além disso mostrar para os alunos como são realizadas as experiências para descobrir novas partículas.

No ambiente virtual de aprendizagem, foram disponibilizados três vídeos abordando a temática das partículas elementares segundo o MP e um vídeo referente as experiências realizadas nos aceleradores de partículas para ser estudado antes do encontro em sala de aula.

Segundo a teoria de ensino de Bruner, o processo de aprendizagem em espiral permitem que os alunos vejam os mesmos tópico várias vezes em diferentes níveis de profundidade e em diferentes modos de representação possibilitando ir de um conhecimento mais geral para específico, para isto inicia-se com conceitos simples e vai aprofundando acrescentando novas informações aos conceitos anteriores.

Nesse sentido esta SD, iniciou com o estudo sobre os constituintes básicos da matéria que inicia com os filósofos gregos, abordado na segunda etapa sendo retomado neste momento.

Na sala de aula a turma deverá ser dividida em grupo e cada grupo discutir sobre duas perguntas: Quais os constituintes elementares da matéria de acordo com o modelo padrão? Essa é a primeira questão a ser discutida e a segunda, como são realizadas as experiências para descobrir novas partículas? Posto isso na forma de problemas os alunos precisam ser instigados a pensar sobre o assunto.

A discussão em grupo está em conformidade com o referencial teórico que dar suporte a esta SD, posteriormente o professor deve fazer uma revisão sobre a temática utilizando um mapa conceitual. A utilização do mapa conceitual foi utilizado neste momento como ferramenta de aprendizagem e as atividades em grupo foram utilizadas como estratégia com o objetivo de promover o aprendizado colaborativo, de acordo com a teoria da carga cognitiva para o estudo de tópicos complexos está estratégia é bem avaliada.

### **Etapa 5. Aplicação do Questionário pós-teste / Questionário de opinião**

Na última etapa desta SD corresponde a aplicação de dois questionários o primeiro denominado pós-teste contendo 10 questões de múltipla escolha, tendo uma alternativa correta para cada questão e o segundo chamados de questionário de opinião.

O Pós-Teste deve ser realizado individualmente e a finalidade deste será de investigar se houve uma melhora com relação a aprendizagem dos conteúdos ministrados durante o desenvolvimento deste produto. Vale ressaltar que as questões do pós-teste são as mesmas do pré-teste.

Este momento deve ser concluído com a aplicação do questionário de opinião, utilizado para coletar informações dos alunos a respeito da forma como foram desenvolvidas as etapas deste produto e de posse dessas informações fazer uma avaliação sobre a estratégia metodológica adotada levando em consideração os pontos positivos e negativos apontados pelos alunos para que nos trabalhos futuros sejam feitas as adaptações necessária para alcançar melhores resultados.

## **8 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este produto educacional, foi desenvolvido em uma escola da rede pública estadual no município de Tucuruí-PA. A partir dos resultados obtidos, considera-se

que a SD foi bem aceita pelos alunos participantes. Também os objetivos pretendidos foram alcançados de forma satisfatória.

Um ponto considerado negativo foi a falta de internet de boa qualidade em alguns momentos, isto certamente impediu que os resultados fossem melhores.

Diante do contexto atual, se faz necessário uma reflexão para a forma como a maioria das escolas brasileiras tem trabalhado o currículo de física.

Espera-se que esta pesquisa possa despertar o interesse para o desenvolvimento de outros trabalhos acerca do ensino de tópicos de Física atuais, com o uso de SDs que privilegiem ferramentas tecnológicas, aliadas a metodologias ativas, que certamente permitirão o aprendiz ter uma participação mais ativa e uma aprendizagem mais eficiente.

Por fim, acredita-se que as contribuições deste trabalho possam auxiliar professores na aplicação de outros conteúdos durante a sua prática docente não somente em Física, mas também em outras disciplinas do currículo escolar.

## 9 REFERENCIAS

ABDALLA, M. C. B. **O discreto charme das partículas elementares**. UNESP, 2006.

BACICH, L.; NETO, A. T.; DE MELLO TREVISANI, F. **Ensino híbrido: personalização e tecnologia na educação**. Penso Editora, 2015.

BACICH, L.; MORAN, J. **Metodologias ativas para uma educação inovadora: uma abordagem teórico-prática**. Penso Editora, 2018.

BAKER, J. **Ideias de física quântica que você precisa conhecer**. Trad. Rafael Garcia. São Paulo: Planeta, 2015.

BARBOSA, F. G; FEITOSA, E. M. A; FORTE, C. M. S. **Química geral I**. 3. ed. Fortaleza : EdUECE, 2016.

BERGMANN, J.; SAMS, A. **Sala de aula invertida uma metodologia ativa de aprendizagem**. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

BISCOLA, G. J; BÔAS, N. V; DOCA, R. H. **Tópicos de física**. 18. Ed. São Paulo. Saraiva, 2012.

BORGES, T. S.; ALENCAR, G. **Metodologias ativas na promoção da formação crítica do estudante**: o uso das metodologias ativas como recurso didático na formação crítica do estudante do ensino superior. Cairu em revista, v. 3, n. 4, p. 119-143, 2014.

CAMARGO, F.; DAROS, T. **A sala de aula inovadora-estratégias pedagógicas para fomentar o aprendizado ativo**. Penso Editora, 2018.

GASPAR, A. **Compreendendo a física**. 3ª Edição. São Paulo: Ática, 2016.

HEWITT, P. **Física Conceitual**. Bookman Editora, 2015.

MOREIRA, M. A. **Física de Partículas**: uma abordagem conceitual e epistemológica. São Paulo: editora livraria da física, v. 3, p. 4, 2011.  
**O modelo padrão**. Disponível em: < <https://home.cern/science/physics/standard-model> >. Acesso em: 04 de abr. de 2022.

**Modelo Padrão**. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-exatas-e-da-terra/maior-acelerador-de-particulas-do-mundo-passa-por-um-upgrade-o-que-vem-por-ai/>. Acesso em:08 de Abr 2022.

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

PIMENTA, J. JR. M. *et al.* **O bóson de Higgs**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 2, p. 1-14, 2013.

PIRES, A. S. T. ***Evolução das ideias da física***. 2.ed. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

PREPARA ENEM. ***O átomo de Rutherford***. Disponível em: <https://www.preparaenem.com/quimica/o-atomo-rutherford.htm>. Acesso em: 04. Abr 2022.

RUSSEL, J. B. ***Química Geral***, Volume 1, 2.ª Edição. 1994.

SCHMITZ, E. X. S. *et al.* ***Sala de aula invertida***: uma abordagem para combinar metodologias ativas e engajar alunos no processo de ensino-aprendizagem. 2016.

SCHNEIDERS, L. A. ***O método da sala de aula invertida (flipped Classroom)***. Lajeado: ed. da UNIVATES, 2018.

SERWAY, R. A.; JOHN JR, W. ***PRINCÍPIOS DE FÍSICA - ÓPTICA E FÍSICA MODERNA***-VOLUME 4. Cengage Learning Edições Ltda., 2010.

YAMAMOTO, K.; FUKU, Luiz Felipe. Física para o ensino médio: Eletricidade e Física Moderna. Editora: Saraiva, 4ª ed. São Paulo, 2016.

## APÊNDICE A

### AULA 1 - TESTE DE SONDAGEM

**I. Conteúdo:** Conhecimentos diversos da realidade do aluno.

**II. Objetivo:**

- Levantar informações sobre a realidade dos alunos consideradas relevantes para a aplicação da metodologia da sala de aula invertida durante o estudo dos conteúdos teoria atômica, forças fundamentais da natureza, modelo padrão de partículas.

**III. Duração:** 45 minutos.

**IV. Recursos didáticos:** AVA (*Google Forms*).

**V. Desenvolvimento da aula:** O questionário de sondagem pode ser criado utilizando o *Google Forms* e disponibilizado no AVA para que no momento em sala de aula os alunos respondam o questionário. Uma alternativa é levar o questionário impresso para que seja respondido em sala de aula

**VI. Questionário de Sondagem:**

Dados pessoais e da escola

Nome da escola:

Nome do aluno:

Série:

E-mail:

Série (ensino médio)

1º ano     2º ano     3º ano

01- Na sua casa tem celular?

sim                       não

02- Na sua casa tem computador

sim                       não

03- Na sua residência tem internet?

sim                       não

04 – Se você tem internet na sua residência qual o tipo de conexão?

wifi                       cabo                       chip de celular

05- Você tem acesso a internet diariamente?

sim                       não

06- Você usa a internet para estudos?

sim                       não

07- Conhece alguma plataforma de ensino?

sim                       não

08- Você é acostumado a estudar sozinho(a) em casa?

sim                       não

09- Costuma estudar os conteúdos antecipados em casa?

sim                       não

10- Onde as dúvidas são maiores, quando você está estudando?

na escola                       em casa

11 – Você tem cadastro em redes sociais?

sim                       não

12- Caso tenha quais redes sociais você mais utiliza?

facebook                       whatsapp                       Instagram                       outros

13 – Para que você mais utiliza o *notebook* ou o celular

pesquisas de trabalho na internet                       acessar as redes sociais

jogos online                       Outros

14 – Você leva celular ou outro equipamento de comunicação para a escola?

Sim                       Não

15 – A escola permite o uso de celular por alunos na escola?

Sim                       Não

<b>I. Conteúdo:</b> teoria atômica, forças fundamentais da natureza, modelo padrão de partículas.
<b>II. Objetivo:</b> 2 Diagnosticar os conhecimentos prévios dos alunos sobre os conteúdos teoria atômica, forças fundamentais da natureza, modelo padrão de partículas que serão ministrados posteriormente.
<b>III. Duração:</b> 45 minutos para cada teste.
<b>IV. Recursos didáticos:</b> AVA / <i>Google Forms</i> / <i>notebook</i> / celular.
<b>V. Desenvolvimento da aula:</b> O questionário intitulado de pré-teste/pós-teste é o mesmo, cuja finalidade é verificar a evolução da aprendizagem dos alunos no início e no final da aplicação da SD e pode ser criado utilizando o <i>Google Forms</i> e disponibilizado no AVA ou impresso numa folha de papel A4 para que no 1º momento e no 5º momento em sala de aula os alunos respondam.
<b>VI. Questionário de conhecimentos prévios sobre teoria atômica, forças da natureza e modelo padrão de partículas:</b> Apresenta como objetivo averiguar os conhecimentos prévios dos alunos acerca da temática.

Nome da Escola: \_\_\_\_\_

Nome do aluno: \_\_\_\_\_

Série: \_\_\_\_\_ Turma: \_\_\_\_\_

### **Pré-Teste/Pós-Teste**

1 - A estrutura básica da matéria sempre foi motivo de curiosidades para filósofos e cientistas. De acordo com os seus conhecimentos, quais são as partículas elementares constituintes da matéria?

- a. Prótons, nêutrons e elétrons.
- b. Elétrons apenas.
- c. Elétrons e quarks.
- d. Os elementos químicos.
- e. Nenhuma das anteriores.

Gabarito letra C.

2 - O Modelo Padrão de Partículas é uma teoria das mais sofisticadas que tenta descrever a natureza da matéria, identificando as partículas básicas. O modelo padrão de partículas pode ser subdividido em dois grupos. São eles:

- a. hádrons e léptons.
- b. bósons e férmions.
- c. mésons e bárions.
- d. táuons e múons.
- e. bósons e quarks.

Gabarito letra B.

3 - Os léptons, palavra que em grego significa "leve", são partículas que não são formadas por quarks. Assinale a alternativa abaixo que apresenta somente léptons:

- a. Nêutrons, prótons e elétrons
- b. Elétrons, múons e táuons
- c. Fótons, bósons de Higgs e glúons
- d. Neutrinos, quarks e bósons Z e W
- e. Nêutrons e neutrinos

Gabarito letra B.

4 - James Clerk Maxwell (1831-1879) descreveu, em sua teoria sobre o eletromagnetismo, que cargas elétricas aceleradas emitem radiação eletromagnética e, conseqüentemente, energia eletromagnética. Como os elétrons no modelo de Rutherford possuem uma aceleração resultante radial, deveriam emitir energia e, com isso, sua velocidade tenderia a diminuir a cada volta. Neste caso, sua trajetória tenderia a diminuir de raio até o colapso do átomo. Sabemos que essa situação não é a que ocorre na natureza e, por isso, o átomo de Rutherford precisou passar por uma reformulação. Foi Niels Bohr que, em 1913, resolveu esse problema. Assinale a alternativa que mostra a modificação feita por Bohr para adequar o modelo de Rutherford a essa realidade experimental.

- a. Os elétrons podem ocupar qualquer posição ao redor do núcleo sem emitir energia.
- b. Os elétrons só podem ocupar posições bem definidas, chamadas de estados estacionários, onde não perdem energia.
- c. Os elétrons não perdem energia ao passar de um orbital para outro.

- d. Os elétrons não obedecem à lei de conservação da energia.  
e. Os elétrons não podem emitir radiação eletromagnética.

Gabarito letra B.

5 - (Ufla-MG) No modelo atômico atual, o nêutron tem a seguinte composição (u, d, d), na qual (u) representa o quark up e (d) representa o quark down. O quark up (u) tem carga elétrica positiva e igual a  $\frac{2}{3}$  do valor da carga elétrica do elétron. A alternativa que apresenta corretamente a carga elétrica do quark down (d) é:

- a. carga positiva e igual a  $\frac{1}{3}$  do valor da carga elétrica do elétron.  
b. carga positiva e igual a  $\frac{2}{3}$  do valor da carga elétrica do elétron.  
c. carga negativa e igual a  $\frac{1}{3}$  do valor da carga elétrica do elétron.  
d. carga negativa e igual a  $\frac{2}{3}$  do valor da carga elétrica do elétron.  
e. carga nula.

Gabarito letra C.

6 - (PUC - RS) O átomo, na visão de Thomson, é constituído de:

- a. níveis e subníveis de energia.  
b. cargas positivas e negativas.  
c. núcleo e eletrosfera.  
d. grandes espaços vazios.  
e. orbitais.

Gabarito letra B.

7- (ESPM-SP) O átomo de Rutherford (1911) foi comparado ao sistema planetário (o núcleo atômico representa o sol e a eletrosfera, os planetas): Eletrosfera é a região do átomo que:

- a. contém as partículas de carga elétrica negativa.  
b. contém as partículas de carga elétrica positiva.  
c. contém nêutrons.  
d. concentra praticamente toda a massa do átomo.  
e. contém prótons e nêutrons.

Gabarito letra A.

8 - De acordo com o modelo padrão de partículas, assinale a alternativa que apresenta somente partículas elementares:

- a. Elétrons e quarks  
b. Nêutrons e prótons  
c. Átomos e moléculas  
d. Múons e nêutrons  
e. Táuons e prótons

Gabarito letra A.

9 - Os bárions são partículas formadas pela ligação de, no mínimo, três quarks marque a opção, entre as alternativas abaixo, que apresenta apenas bárions:

- a. Fótons e glúons  
b. Prótons e elétrons  
c. Nêutrons e prótons  
d. Neutrinos e nêutrons  
e. Glúons e bósons de Higgs

Gabarito letra C.

10 - O LHC (*Large Hadron Collider*), maior acelerador de partículas do mundo, foi inaugurado em setembro de 2008, após 20 anos de intenso trabalho. Sua função é acelerar feixes de partículas, de tal forma que estes atinjam uma velocidade estimada em cerca de 99,99% da velocidade da luz. A colisão entre prótons será tão violenta que a expectativa é de se obterem condições próximas àquelas que existiram logo após o Big Bang. A primeira missão desse novo acelerador é estudar partículas indivisíveis (elementares) e as forças (interações) que agem sobre elas. Quanto às forças, há quatro delas no Universo:

- I. a....., responsável por manter o núcleo atômico coeso;
- II. a....., que age quando uma partícula se transforma em outra;
- III. a....., que atua quando cargas elétricas estão envolvidas.
- IV. a quarta força é a .....(a primeira conhecida pelo ser humano).

BEDIAGA, I. LHC: o colosso criador e esmagador de matéria. *Ciência. Hoje*. n. 247, v. 42. abr. 2008. p. 40.

No texto, foram omitidas as expressões correspondentes às nomenclaturas das quatro forças fundamentais da natureza, de acordo com a teoria mais aceita no meio científico hoje. Assinale a alternativa que apresenta, correta e respectivamente, os nomes dessas forças.

- a. Força gravitacional, força nuclear fraca, força eletromagnética e força nuclear forte
- b. Força nuclear forte, força eletromagnética, força nuclear fraca e força gravitacional
- c. Força nuclear forte, força nuclear fraca, força eletromagnética e força gravitacional
- d. Força gravitacional, força nuclear forte, força eletromagnética e força nuclear fraca
- e. Força nuclear fraca, força gravitacional, força nuclear forte e força eletromagnética .

Gabarito letra C.

## APÊNDICE B

### AULA 02 – Teoria Atômica

**I. Conteúdo:** Breve revisão sobre a teoria atômica desde os filósofos gregos ao modelo atômico atual.

**II. Objetivo:** Estudar a evolução do processo de construção a cerca da concepção da ideia de átomo, levando em consideração as teorias atômicas elaboradas desde os gregos a teoria atual.

**III. Duração:** 90 minutos.

**IV. Recursos didáticos:** AVA / *Google Forms* / *notebook* / celular.

**V. Desenvolvimento da aula:**

1º Etapa (Fora da sala de aula).

- O professor organiza o conteúdo a ser estudado pelo aluno;
- O professor deve fazer a curadoria de bons vídeos educativos já existentes na internet na plataforma do *YouTube* ou pode criar seus próprios vídeos.

2ª Etapa (AVA).

- Todo o material para ser estudado pelos alunos, deve ser postado na plataforma Google sala de aula;
- Os alunos terão um período de 7 dias para fazer o estudo do material postado no ambiente virtual;
- Após ser feito o estudo do material será solicitado aos alunos nesse período que respondam uma atividade referente aos vídeos postado na plataforma;

3ª Etapa (Em sala de aula).

**Na sala de aula virtual**

- Os primeiros minutos da aula será feito a atividade de aquecimento onde será sanada as dúvidas sobre o conteúdo estudado e o professor aproveitará o momento para fazer uma breve revisão do conteúdo;
- Posteriormente será feito, a socialização dos resultados da atividade.

**VI. Teste de vídeo: Teorias Atômicas**

**Link do Vídeo 1:** <https://www.youtube.com/watch?v=IDrKlqubzdw>

**Sinopse do Vídeo:** Neste vídeo do canal Descomplica, é feito uma explicação dos Modelos Atômicos de Dalton, Thomson, Rutherford, Rutherford-Bohr e as Partículas Subatômicas de um jeito fácil.

**Duração do vídeo:** 4 minutos e 37 segundos.

**Link do Vídeo 2:** <https://www.youtube.com/watch?v=MtBbVt7eInE>

**Sinopse do Vídeo:** Nesse vídeo do canal *Stoodj*, o prof. Igor trata da temática atomística, explicando, os modelos de Dalton, Thomson, Rutherford e Rutherford-Bohr.

**Duração do Vídeo:** 6 minutos e 54 segundos.

**Link do Vídeo 3:** <https://www.youtube.com/watch?v=6xorXFXqM3U>

**Sinopse do Vídeo:** O modelo atômico atual surgiu porque o modelo de Bohr tinha limitações graves do ponto de vista científico. O modelo dele servia somente para átomos hidrogenóides, além disso ele se utilizou de uma imposição matemática que precisava de uma justificativa. Podemos dizer que Bohr utilizou a teoria correta, mas justificou com a matemática "errada". Daí surgiu a mecânica quântica. Este vídeo do canal mapa de química, explica os principais conceitos da mecânica quântica de forma ilustrativa e animada.

**Duração do Vídeo:** 8 minutos e 49 segundos.

Nome da Escola: \_\_\_\_\_

Nome do (a) Professor (a): \_\_\_\_\_

Nome do (a) Aluno (a): \_\_\_\_\_

Série/Turma: \_\_\_\_\_

### ATIVIDADE DE APLICAÇÃO

**QUESTÃO 01-UFTM-MG** - O ser humano, desde a Antiguidade, questionou-se a respeito do que é feito o mundo em que vive. As primeiras ideias que explicavam essa indagação datam do século V a.C. quando os filósofos gregos elaboraram as primeiras noções a respeito da natureza do mundo que os cercava. Um dos pensamentos mais antigos de que se tem registro em relação à matéria é dado por Demócrito e Leucipo. Eles afirmavam que:

- tudo que existia era formado por fogo, água, terra e ar.
- a matéria possui carga positiva e negativa.
- qualquer material poderia ser dividido infinitamente.
- um material transforma-se em outro após algum tempo.
- a matéria é formada por pequenas partes indivisíveis.

Gabarito letra E.

**QUESTÃO 02** - Qual das afirmativas a seguir melhor descreve o comportamento de um elétron, comparado com partículas e ondas tradicionais?

- É uma partícula que, em certas circunstâncias especiais, se comporta como uma onda.
- É uma onda que, em certas circunstâncias, se comporta como partícula.
- À medida que passa o tempo, ora se comporta como partícula, ora como onda.
- É uma partícula que anda em torno do núcleo, numa trajetória ondulada.
- Seu comportamento pode ser interpretado como o de partícula ou de onda.

Gabarito letra E.

**QUESTÃO 03** - O átomo, na visão de Thomson, é constituído de:

- níveis e subníveis de energia.
- cargas positivas e negativas.
- núcleo e eletrosfera.
- grandes espaços vazios.
- orbitais.

Gabarito letra B.

**QUESTÃO 04** - (UFPA-PA) O modelo probabilístico utilizado para o problema velocidade-posição do elétron é uma consequência do princípio de:

- Bohr
- Aufbau
- De Broglie
- Heisenberg
- Pauling

Gabarito letra D.

**QUESTÃO 05** - A lâmpada de vapor de sódio, utilizada na iluminação pública, emite luz amarela. Esse fenômeno ocorre, porque o átomo emite energia quando o elétron

- passa de um nível de energia mais externo para um mais interno.
- passa de um nível mais interno para um mais externo.
- colide com o núcleo.
- é removido do átomo para formar um cátion.
- permanece em movimento em um mesmo nível de energia.

Gabarito letra A.

**QUESTÃO 06** - O elétron foi descoberto por Thomson no fim do século XIX, o que lhe rendeu o Prêmio Nobel. Qual a característica do modelo atômico proposta por ele?

- O átomo é indivisível.
- Os elétrons ocupam orbitais com energias bem definidas.
- O átomo sofre decaimento radioativo naturalmente.
- O átomo é maciço e poderia ser associado a um “pudim de passas”.
- N.D.A

Gabarito letra D.

**QUESTÃO 07** - UCBA - Uma semelhança entre os modelos atômicos de Dalton e de Thomson está no fato de ambos considerarem que o átomo

- é maciço.
- é constituído por prótons, nêutrons e elétrons.
- apresenta elétrons em camadas.
- é semelhante ao Sistema Solar.
- apresenta núcleo e eletrosfera.

Gabarito letra A.

**QUESTÃO 08** - (ESPM-SP) O átomo de Rutherford (1911) foi comparado ao sistema planetário (o núcleo atômico representa o sol e a eletrosfera, os planetas): Eletrosfera é a região do átomo que:

- contém as partículas de carga elétrica negativa.
- contém as partículas de carga elétrica positiva.
- contém nêutrons.
- concentra praticamente toda a massa do átomo.
- contém prótons e nêutrons.

Gabarito letra A.

**QUESTÃO 09** - O colorido dos fogos de artifício resulta da absorção ou da emissão de energia pelos elétrons. Ao absorverem energia, os elétrons saltam de uma órbita de energia mais baixa para outra mais elevada. Ao retornarem a órbitas de menor energia, emitem radiação eletromagnética, ou seja, de determinada frequência. A cor (frequência) da luz emitida depende dos átomos cujos elétrons são excitados. É correto afirmar que esse fenômeno pode ser explicado, satisfatoriamente, pelo modelo atômico de

- Bohr.
- Dalton.
- Rutherford.
- Thomson.
- Newton.

Gabarito letra A.

**QUESTÃO 10** - Rutherford, ao fazer incidir partículas radioativas em lâmina metálica de ouro, observou que a maioria das partículas atravessava a lâmina, algumas desviavam e poucas refletiam. Assinale, dentre as afirmações a seguir, aquela que não reflete as conclusões de Rutherford sobre o átomo.

- a. Os átomos são esferas maciças e indestrutíveis.
- b. No átomo há grandes espaços vazios.
- c. No centro do átomo existe um núcleo pequeno e denso.
- d. O núcleo do átomo tem carga positiva.
- e. Os elétrons giram ao redor do núcleo para equilibrar a carga positiva.

Gabarito letra A.

## APÊNDICE C

<b>AULA 03 - Forças fundamentais da natureza</b>
<b>I. Conteúdo:</b> força eletromagnética, forte, fraca e gravitacional.
<b>II. Objetivo:</b> Apresentar as interações fundamentais da natureza e suas partículas mediadoras.
<b>III. Duração:</b> 90 minutos.
<b>IV. Recursos didáticos:</b> AVA / <i>Google Forms</i> / <i>notebook</i> / celular.
<p><b>V. Desenvolvimento da aula:</b></p> <p style="padding-left: 40px;">1º Etapa (Fora da sala de aula)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• O professor organiza o conteúdo a ser estudado pelo aluno;</li> <li>• O professor precisa fazer a curadoria dos vídeos já existentes na internet ou criar seus vídeos próprios;</li> <li>• Todo material sobre as forças fundamentais da natureza para ser estudado pelo aluno deve ser postado na plataforma Google sala de aula;</li> <li>• A turma terá quatro dias para estudar o conteúdo no AVA;</li> </ul> <p style="padding-left: 40px;">2ª Etapa (AVA)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Todo o material para ser estudado pelos alunos, precisa ser postado na plataforma Google sala de aula;</li> <li>• Os alunos terão um período de 7 dias para fazer o estudo do material postado no ambiente virtual;</li> <li>• Solicitar aos alunos que no momento que assistirem aos vídeos façam anotações do que jugarem relevante e das dúvidas.</li> </ul> <p style="padding-left: 40px;">3ª Etapa (Em sala de aula)</p> <p style="padding-left: 40px;"><b>Na sala de aula virtual</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• A priori atividade de aquecimento;</li> <li>• Formar grupos com quatro alunos integrantes;</li> </ul> <p>Cada grupo terá que construir um mapa mental sobre as forças fundamentais da natureza.</p> <p><b>VI . Link dos vídeos sobre teorias atômicas utilizados nesta etapa:</b></p> <p><b>Link do Vídeo 1:</b> <a href="https://www.youtube.com/watch?v=Niyx6qsLhv0">https://www.youtube.com/watch?v=Niyx6qsLhv0</a></p> <p><b>Sinopse do Vídeo:</b> Quais são as interações fundamentais da natureza que explicam como os eventos ocorrem? Neste 4º vídeo da série "Em busca do constituinte fundamental", trata-se sobre estas interações e como elas funcionam.</p>

**Duração do Vídeo:** 9 minutos e 26 segundos.

**Link do Vídeo 2:** [https://www.youtube.com/watch?v=r7-cy\\_EuYpc](https://www.youtube.com/watch?v=r7-cy_EuYpc)

**Sinopse do Vídeo:** Nesse vídeo é explorado as 4 forças fundamentais e seus papéis na natureza e por fim, fala-se de uma unificação das forças.

**Duração do Vídeo:** Aproximadamente 9 minutos.

Todos os vídeos tratam do tópico teorias atômicas e foram disponibilizados na AVA para ser estudado pelos alunos participantes da pesquisa.

## APÊNDICE D

### AULA 04 – Modelo padrão de Partículas

**I. Conteúdo:** Partículas elementares e Modelo Padrão.

**II. Objetivos:**

1. Apresentar os constituintes elementares da matéria segundo a teoria do modelo Padrão
2. Mostrar como são realizados os experimentos para o descobrimento de novas partículas.

**III. Duração:** 90 minutos.

**IV. Recursos didáticos:** AVA / Google Forms / notebook / celular.

**V. Desenvolvimento da aula:**

1º Etapa (Fora da sala de aula)

- O professor organiza o conteúdo a ser estudado pelo aluno;
- O professor deve fazer a curadoria dos vídeos já existentes na internet ou criar seus próprios vídeos;
- Será postado na plataforma Google sala de aula o conteúdo sobre partículas elementares do modelo padrão.

2ª Etapa (AVA)

- Todo o material para ser estudado pelos alunos, deve ser postado na plataforma Google sala de aula;
- Os alunos terão um período de 7 dias para fazer o estudo do material postado no ambiente virtual.
- Solicitar aos alunos que no momento que assistirem aos vídeos façam anotações do que julgarem relevante e das dúvidas.

3ª Etapa (Em sala de aula)

**1. Na sala de aula virtual**

- Inicialmente atividade de aquecimento (sanar as dúvidas revisando o conteúdo);
- Dividir a turma em grupos;
- Responder aos questionamentos sobre o conteúdo tratado;

Após a resolução das perguntas será feito o reforço da aprendizagem.

**VI. Teste de vídeo: Partículas elementares; Modelo padrão de partículas; LHC.**

**Link do Vídeo 1:** [https://www.youtube.com/watch?v=0wniWqjwt\\_8](https://www.youtube.com/watch?v=0wniWqjwt_8)

**Sinopse do Vídeo:** Para uma compreensão melhor de como a matéria e a energia é formada, a física através da teoria do modelo padrão definiu todas as partículas em categorias como Bósons e Férmions

**Duração do Vídeo:** 7 minutos e 52 segundos.

**Link do Vídeo 2:** <https://www.youtube.com/watch?v=88ksNaLSF3Q>

**Sinopse do Vídeo:** O vídeo trata da teoria modelo padrão, elencando as partículas fundamentais, dividindo em três categorias: bósons, quarks e léptons. Além disso o vídeo apresenta uma outra divisão para as partículas de acordo com o modelo padrão a saber: férmions e bósons.

**Duração do Vídeo:** aproximadamente 6 minutos.

**Link do Vídeo 3:** <https://www.youtube.com/watch?v=PyW0FI4-Toc>

**Sinopse do Vídeo:** Neste vídeo o último episódio da serie, A busca pelo constituinte fundamental, trata de agrupar as partículas de acordo com o Modelo Padrão e para isso faz uso de uma analogia com a natureza, com a floresta e à esse episódio foi denominado de Selva de Partículas.

**Duração do Vídeo:** 7 minutos e 41 segundos.

**Link do Vídeo 4:** <https://www.youtube.com/watch?v=74NjzNHeAq8>

**Sinopse do Vídeo:** Neste vídeo do canal mundo das curiosidades, o autor explica de forma resumida como funciona um acelerador de partículas e como são feitas as experiências para descobrir novas partículas.

**Duração do Vídeo:** 2 minutos e 35 segundos.

Nome da Escola: \_\_\_\_\_

Nome do (a) Professor (a): \_\_\_\_\_

Nome do (a) Aluno (a): \_\_\_\_\_

Série/Turma: \_\_\_\_\_

### ATIVIDADE DE APLICAÇÃO

**Questão 01-** Quais os constituintes elementares da matéria de acordo com o modelo padrão?

**Questão 02 –** Como são realizadas as experiências para descobrir novas partículas?

## APÊNDICE E

### AULA 05 – QUESTIONARIOS PÓS-TESTE E DE OPINIÃO

**I. Conteúdo:** Teoria atômica, forças fundamentais da natureza e modelo padrão de partículas.

**II. Objetivos:**

1. Averiguar se houve uma melhora na aprendizagem dos conteúdos ministrados.
2. Sondar qual a opinião dos discentes sobre a metodologia empregada no desenvolvimento das aulas.

**III. Duração:** 90 minutos.

**IV. Recursos didáticos:** AVA / *Google Forms* / *notebook* / celular.

**V. Desenvolvimento da aula:**

**Na sala de aula virtual**

1. O questionário pós – teste deve ser aplicado com o propósito de verificar se houve ou não uma melhora na aprendizagem dos conteúdos ministrados;
2. O questionário de opinião deve ser aplicado com o objetivo de sondar qual a opinião dos discente referente a metodologia adotada no desenvolvimento das aulas levando em consideração quais pontos positivos e negativos.

### QUESTIONÁRIO DE OPINIÃO

Questão 1. Você gostou da metodologia de aula?

Sim       Não

Questão 2. Qual a sua avaliação sobre a forma como foram ministrados os conteúdos?

positiva       negativa

Questão 3. Em relação a metodologia da sala de aula invertida qual/quais pontos positivos você destacaria?

Questão 4. Em relação a metodologia da sala de aula invertida qual/quais pontos negativos você destacaria?

Questão 5. O que você mais gostou nas atividades desenvolvidas em sala de aula?

Questão 6. Você acredita que o uso desta metodologia poderia ser aplicado em outros conteúdos ou em outras disciplinas?

Sim       Não

Questão 7. Você acha que o uso de vídeo-aulas facilita sua aprendizagem? Por quê?

Questão 8. Você acredita que a aplicação desta metodologia contribuiu para seu aprendizado?