



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE FORMAÇÃO DOCENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E
MATEMÁTICA

SAULO JOSÉ DE BARROS JUNIOR

**MODELOS MENTAIS E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: átomos e moléculas
para estudo de caso com licenciandos de física em curso de física moderna**

Caruaru

2021

SAULO JOSÉ DE BARROS JUNIOR

MODELOS MENTAIS E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: átomos e moléculas para estudo de caso com licenciandos de física em curso de física moderna

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Educação em Ciências e Matemática.

Área de concentração: Educação em Ciências e Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Augusto César Lima Moreira

Caruaru

2021

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva - CRB/4 - 1223

B277m Barros Junior, Saulo José de.
Modelos mentais e aprendizagem significativa: átomos e moléculas para o estudo de casos com licenciandos de física em curso de física moderna. / Saulo José de Barros Junior. – 2021.
71 f.; il.: 30 cm.

Orientador: Augusto César Lima Moreira.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Mestrado em Educação em Ciências e Matemática, 2021.
Inclui Referências.

1. Representação metal – Pernambuco. 2. Átomos – Modelo. 3. Aprendizagem.
4. Átomos. 5. Moléculas. I. Moreira, Augusto César Lima (Orientador). II. Título.

CDD 371.12 (23. ed.) UFPE (CAA 2021-275)

SAULO JOSÉ DE BARROS JUNIOR

**MODELOS MENTAIS E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: átomos e moléculas
para estudo de caso com licenciandos de física em curso de física moderna**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Educação em Ciências e Matemática.

Área de concentração: Educação em Ciências e Matemática.

Aprovada em: 14/10/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Augusto César Lima Moreira (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Tassiana Fernanda Genzini de Carvalho (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Ana Paula de Souza de Freitas (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

RESUMO

A componente curricular Física Moderna é obrigatória em todos os cursos de graduação de Licenciatura em Física. Todavia, é uma das disciplinas que apresenta elevada retenção por reprovação na graduação, gerando, conseqüentemente, problemas na prática do professor quando este está atuando no ensino médio. Vários estudos buscam compreender esse fenômeno, alguns reputam o problema às questões de metodologia de ensino, outros à precária formação em Física básica dos estudantes do ensino superior e outros ainda se remetem à cultura de o ensino da Física Moderna como algo distante e desnecessário para o conhecimento do aluno. No Centro Acadêmico do Agreste (CAA), onde há um Núcleo de Formação Docente (NFD) com curso de Física Licenciatura, observa-se, a partir de um levantamento feito nesta pesquisa, uma retenção que pode chegar até 71,43%. Em contrapartida, os modelos mentais, desenvolvidos a partir da Teoria da Aprendizagem Significativa, apresentam-se como instrumentos que buscam compreender a estrutura de significados elaborada para determinados conceitos. Diversos estudos, que utilizam modelos mentais como estratégia de estudo, demonstram que há um grande potencial nesse instrumento para analisar a aprendizagem significativa. Nesse sentido, a presente pesquisa veio com o objetivo de responder o seguinte questionamento: De que forma, os perfis cognitivos da teoria dos modelos mentais dos estudantes de Física - 'proposicionalista', 'modelizador basicamente propocional' e 'modelizador basicamente imagístico' - se relacionam e se enquadram na teoria da aprendizagem significativa? A fim de viabilizar essa pesquisa, um questionário, visando o uso de modelos mentais para o estudo de Física Moderna, foi proposto aos discentes que estavam cursando a disciplina. O questionário utilizou estratégias coletadas de outras experiências disponíveis na literatura, a fim de viabilizar a elaboração de modelos mentais, visando o ensino e aprendizagem de forma significativa dos conceitos abordados em Física Moderna. Sendo assim, a partir do questionário respondido pelos discentes, investigou-se as significações que professores de Física em formação realizaram do estudo de átomos, descrevendo como os alunos entendem e enxergam esses conceitos e traspõem isso em forma de representações mentais.

Palavras-chave: modelos mentais; modelos atômicos; aprendizagem significativa; átomo.

ABSTRACT

The Modern Physics curriculum component is mandatory in all undergraduate courses in Physics. However, it is one of the subjects that presents high retention due to failure in graduation, consequently generating problems in the teacher's practice when he is working in high school. Several studies seek to understand this phenomenon, some consider the problem to be issues of teaching methodology, others to the precarious training in Basic Physics of higher education students, and still others refer to the culture of the teaching of Modern Physics as something distant and unnecessary for the student knowledge. At the Academic Center of Agreste (CAA), where there is a Teacher Training Nucleus (NFD) with a Licentiate Physics course, it is observed, from a survey carried out in this research, a retention of up to 71.43%. On the other hand, mental models, developed from the Meaningful Learning Theory, are presented as instruments that seek to understand the structure of meanings developed for certain concepts. Several studies that use mental models as a study strategy demonstrate that there is great potential in this instrument to analyze meaningful learning. In this sense, the present research came with the objective of answering the following question: In what way, the cognitive profiles of the theory of mental models of Physics students - 'propositionalist', 'basically propositional modeler' and 'basically imagistic modeler' - become do they relate to and fit into the theory of meaningful learning? In order to make this research feasible, a questionnaire, aimed at the use of mental models for the study of Modern Physics, was proposed to students who were taking the course. The questionnaire used strategies collected from other experiences available in the literature, in order to enable the development of mental models aimed at teaching and learning significantly of the concepts addressed in Modern Physics. Thus, from the questionnaire answered by the students, the meanings that Physics teachers in training carried out in the study of atoms were investigated, describing how students understand and see these concepts and transpose this in the form of mental representations.

Keywords: mental models; atomic models; meaningful learning; atom.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Ensino de física moderna.....	13
2.1.1	Física moderna na UFPE - CAA.....	15
2.2	Modelos atômicos através dos séculos	19
2.2.1	Modelo atômico de Dalton(1766 – 1844)	21
2.2.2	Modelo atômico de Thomson(1856 – 1940)	22
2.2.3	Modelo atômico Rutherford (1871 – 1937)	24
2.2.4	Modelo atômico Bohr (1885 – 1962)	26
2.2.5	Modelo atômico quântico	27
2.3	Aprendizagem significativa	29
2.4	Modelos mentais	30
2.4.1	Modelo conceitual	33
2.4.2	Modelo conceitual x Modelo mental	35
2.4.3	Modelos mentais para aprendizagem significativa	36
3	OBJETIVOS	38
3.1	Geral	38
3.2	Específicos	38
4	METODOLOGIA	39
4.1	Desenho da pesquisa	39
4.2	Local da pesquisa	40
4.3	Amostra de participantes	40
4.4	Crítérios de inclusão e exclusão	40
4.5	Recrutamento dos participantes	41
4.6	Instrumentos de coleta de dados	42
4.6.1	Questionário	42

4.6.2	Construção dos modelos mentais	42
5	ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS	43
6	CONCLUSÃO	63
	REFERÊNCIAS	66
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO	69
	ANEXO A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO	70

1 INTRODUÇÃO

O interesse pelo estudo do aprendizado da componente curricular Física Moderna 2 vem das minhas experiências enquanto estava na graduação de Licenciatura em Física e de uma pesquisa que realizei em outro momento durante o primeiro semestre de 2019. A pesquisa, foi feita com alunos da turma de Física Moderna 2 da Universidade Federal de Pernambuco do Centro Acadêmico do Agreste, a fim de verificar se a utilização de analogias ajuda os alunos a entender o conceito de Superposição de estados na Física Quântica.

Por se tratar de uma turma de Física Moderna 2, ou seja, que já havia passado pela componente curricular Física Moderna 1, era de se esperar que os alunos tivessem um domínio conceitual sobre questões básicas advindo da disciplina Física Moderna 1, como, por exemplo, o conceito de orbital e a melhor forma de se representar um átomo ao olhar da Física Quântica. Por esse motivo, foi aplicado um pré-teste, os resultados indicaram que 56,25% da turma não conseguiam desenvolver respostas satisfatórias, que diziam respeito às questões básicas.

A partir desse teste foi possível constatar, para minha surpresa, que os alunos possuíam um alto grau de dificuldade no reconhecimento de conceitos básicos, teoricamente já trabalhados na componente Física Moderna 1. Dessa forma, aumentando ainda mais as motivações da necessidade desta pesquisa.

Trazendo as experiências pessoais de aluno e autor deste trabalho, tanto na graduação de Física Licenciatura, quanto no Programa de Iniciação à Docência (PIBID) e nos estágios supervisionados, um dos motivos para as dificuldades apresentadas pelos alunos envolvendo os conceitos básicos da Física Moderna pode ser a falta de preparação dos discentes da graduação no que se refere ao estudo dos conteúdos de Física Moderna. A qual é vista muitas vezes como um campo de estudo localizado na fronteira do conhecimento humano e, portanto, desnecessário para os padrões nos quais os estudantes de ensino médio são regularmente exigidos (SANTOS, 2016).

Este pensamento perpassa as mentes dos professores da educação básica, causando um distanciamento entre os conhecimentos da Física Moderna e discentes

de Licenciatura em Física que, na visão de Moreira e Ostermann (2001), é possível citar como duas das principais causas desse distanciamento:

- i) As lacunas conceituais na formação do professor e;
- ii) O grau de abstração dos assuntos abordados.

Ao passar pelo processo de formação, ou os professores não tiveram acesso aos conteúdos de Física Moderna, ou o viram de forma superficial e propedêutica (MOREIRA; OSTERMANN, 2001). Isso é o mais provável. Junta-se a isso uma desconexão entre a formação acadêmica da universidade com a formação que é trabalhada atualmente no ensino médio e o fato de os alunos, muitas vezes, nunca terem tido um contato prévio com os assuntos de física moderna na sua escolarização anterior. Se a ausência total deste conteúdo veta sua abordagem em sala de aula por parte do docente, uma apreensão mnemônica, propedêutica e não-significativa, impede a transposição didática para níveis mais básicos de ensino e, como consequência, o professor tende a não se sentir seguro ao abordar este conteúdo específico.

O grau de abstração é outro fator associado ao não desenvolvimento de temas de Física Moderna em sala de aula. Neste caso, segundo Moreira e Ostermann (2001), as dificuldades encontradas residem na contextualização dos conteúdos de Física Moderna no Ensino Médio. Essa característica tende a gerar um alto grau de desconfiança quanto à natureza das entidades presentes nesses estudos, levando assim ao descrédito dos objetos-modelo que constituem os modelos teóricos (BUNGE, 1974). Dito de outra forma, a “realidade oculta” que subjaz os modelos teóricos na Física Moderna, por romperem com a lógica clássica do conceito de realidade – supostamente auto-evidente –, podem vir a tornar-se obstáculos epistemológicos para a apreensão dessas teorias.

A partir das observações pessoais trazidas desde o PIBID até o ingresso na Pós-graduação, foi possível fazer uma autorreflexão sobre as vivências durante o curso de Licenciatura na componente Física Moderna 2 nessa mesma universidade (UFPE) no ano de 2017. E isso só se acrescentou aos meus motivos e desejos por pesquisar ainda mais sobre a aprendizagem na formação do professor e, dessa vez, a caráter de dissertação.

Após as observações, é apontada a possibilidade de uma investigação que utilizasse modelos mentais (JOHNSON-LAIRD, 1983) tratando-as como estratégia investigativa para Aprendizagem Significativa (AUSUBEL, 2000; MOREIRA, 2011), ou seja, como instrumento para análise, no estudo de Física Moderna II, envolvendo mais precisamente o conceito átomo, de modo que seja possível alcançar uma aprendizagem potencialmente significativa.

Diante do exposto, mesmo com todas essas dificuldades, defende-se que vários conceitos presentes na Física Moderna podem ser assimilados, tanto por docentes cujo tema representa uma lacuna em sua formação, quanto por estudantes do ensino básico. Para tal é necessário que haja uma transposição didática dispondo das ferramentas matemáticas adequadas (ao nível de aprofundamento que se quer), juntamente com uma estratégia que lhes permitam dar significados aos modelos teóricos – altamente idealizados – da Física Moderna. O presente trabalho constitui-se em uma proposta neste sentido. Nele, foram utilizadas técnicas da linha de pesquisa referente ao desenvolvimento de modelos mentais onde, puderam ser trabalhados conceitos de Física Moderna de forma adequada ao grau de formação desejado.

De modo mais técnico, a estratégia consistiu em tomar como ponto de partida a construção de modelos mentais, transpor modelos conceituais em modelos mentais. Fazendo-se uso dos conceitos de modelos atômicos e suas propriedades como ponto de partida, pôde-se investigar, por meio da construção de um modelo mental (JOHNSON-LAIRD, 1983), para se abordar e transpor obstáculos epistemológicos para a apreensão de conteúdos de Física Moderna.

Dentro do campo de estudo de modelos mentais há alguns trabalhos que contribuíram para esta pesquisa, são eles: Modelos Mentais (JOHNSON-LAIRD, 1983), assim como, Teorias de Aprendizagem (MOREIRA, 2011) e Representações mentais dos alunos em mecânica clássica (LAGRECA; MOREIRA, 1998).

Nesta pesquisa, os Modelos Mentais foram utilizados na tentativa de acompanhar os alunos na disciplina de Física Moderna II, contribuindo para uma potencial construção de significados e domínio dos conceitos do curso em questão. Espera-se que o aluno, demonstre na sua vivência no curso de Física Moderna II, um perfil propenso a aprendizagem significativa.

Pensando nisso, na presente pesquisa foi elaborado um questionário utilizando as ideias dos Modelos Mentais no processo de estudo de Física Moderna, que foi ofertado para os estudantes de Física Licenciatura, que estavam cursando a disciplina de Física Moderna II. O questionário utilizou estratégias distintas apresentadas na sessão de Metodologia. A partir do material produzido pelos alunos na disciplina de Física Moderna II do semestre em questão, investigou-se as significações e os perfis que professores em formação apresentam no estudo da componente curricular Física Moderna II.

A fim de compreender o que a literatura traz sobre Física Moderna e sua relação com Modelos Mentais e Aprendizagem Significativa, o trabalho recorreu a quatro bases de pesquisas: o portal de Periódicos da Capes, Scielo, Google Acadêmico e Attena – Repositório Digital da UFPE.

Realizando a busca com “Ensino de Física Moderna”, em seguida incrementando “Modelos Mentais” e, para refinar, adicionando “Aprendizagem Significativa”, encontrou-se 1.231, 111 e 73 trabalhos, respectivamente, distribuídos como mostra a Tabela 1.

Tabela 1 – Levantamento bibliográfico nas principais plataformas sobre “Ensino de Física Moderna”, “Ensino de Física Moderna e Modelos Mentais” e “Ensino de Física Moderna, Modelos Mentais e Aprendizagem Significativa”.

Plataforma	Ensino de Física Moderna	Ensino de Física Moderna + Modelos Mentais	Ensino de Física Moderna + Modelos Mentais + Aprendizagem Significativa
CAPES	9	0	0
SCIELO	10	0	0
Google Acadêmico	1.210	111	73
ATTENA	2	0	0
TOTAL	1.231	111	73

Fonte: O Autor (2021)

Desses 73 trabalhos, existem 5 que se destacam por darem uma perspectiva semelhante ao que foi realizado nesta pesquisa, referente aos modelos mentais, tratando no ensino de modelos mentais, e que trazem, mencionam ou sugerem modelos mentais e/ou aprendizagem significativa de alguma forma. Esses trabalhos, todos em forma de artigos, são de Errobidart *et al.* (2013), o de Borges (1997), o de Moreira e Lagreca (1998), o de Junior e Colvara (2010) e o de Arruda (2003).

A pesquisa em questão tem características semelhantes com trabalhos já encontrados na literatura, citados no parágrafo anterior. Tomou-se como base muitos caminhos já trilhados por essas pesquisas, porém entende-se que, para responder à pergunta norteadora deste trabalho, uma intervenção mais específica e efetiva do uso de modelos mentais e uma investigação na formação do professor de Física, que não houve nos trabalhos supracitados, é necessária.

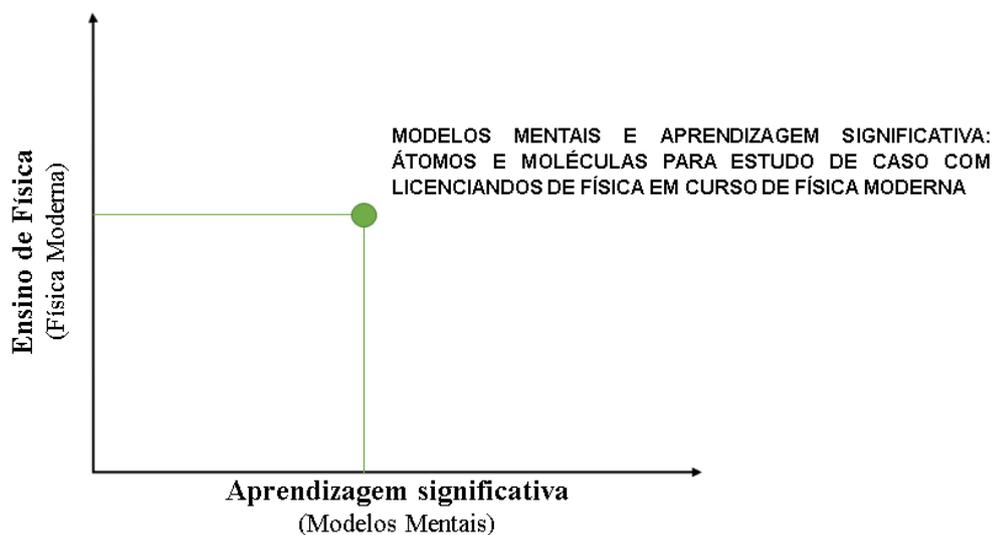
Desta forma, a pergunta proposta que norteia a problemática é:

“De que forma, os perfis cognitivos da teoria dos modelos mentais dos estudantes de Física - ‘proposicionalista’, ‘modelizador basicamente propocional’ e ‘modelizador basicamente imagístico’ - se relacionam e se enquadraram na teoria da aprendizagem significativa?”

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Segundo Gaston Bachelard (2006), para que um estudo seja considerado pesquisa científica deve-se reduzir a realidade ao estudo de duas dimensões, pois a realidade estudada por vários aspectos é um campo muito vasto. Por esse motivo, este trabalho buscou minimizar os campos de estudo de forma a serem organizados por meio da ilustração da Figura 1.

Figura 1 – Ilustração das duas dimensões abordadas nesta pesquisa.



Fonte: O Autor (2021)

As próximas sessões foram reservadas para esclarecer e explicar os conceitos definidos de forma a compreender como eles se relacionam e se intersectam para o desenvolvimento da pesquisa.

2.1 Ensino de física moderna

Dentre os referenciais teóricos citados na introdução, destaca-se aqui as pesquisas que apresentam pontos em comuns com a mesma, seja pelo problema no ensino de Física Moderna ou pelo uso de Modelos Mentais, apontando tanto as dificuldades que estão presentes no ensino, quanto as pesquisas que buscam minimizá-las.

Como já mencionado, problemas esses que se dividem, segundo Ostermann (2001), na formação do professor e na abstração dos conceitos que regem a Física Moderna.

Algo que contribui para agravar esses problemas, é, possivelmente, a característica da Física Moderna. Esta vem para romper a lógica advinda da Física Clássica, o que agrava o problema do alto grau de abstração e, para Bunge (1974), gera desconfiança por parte do aprendiz quanto à natureza das entidades presentes nesses estudos, levando assim ao descrédito do objeto a ser estudado.

O que foi dito também vai de encontro à formação vivenciada na Educação Básica, reforçando o que foi trazido por Santos (2016) na introdução referente ao distanciamento da Física Moderna no ensino Médio, pautada na rotina de resolução de problemas em que o aluno deve apenas identificar qual fórmula deve ser utilizada para desenvolver a resolução das questões (MONTEIRO; NARDI; BASTOS FILHO, 2009).

Por esse motivo, é necessário que os alunos da graduação, consigam enxergar a necessidade de exigir de si mesmos uma preparação mais adequada para enfrentar as complexidades da Física Moderna, não se limitando a meras reproduções

“ Uma característica da Física que a torna particularmente difícil para os alunos e o facto de lidar com conceitos abstractos e, em larga medida, contra-intuitivos. A capacidade de abstracção dos estudantes, em especial os mais novos, é reduzida. Em consequência, muitos deles não conseguem apreender a ligação da Física com a vida real. ” (FIOLHAIS.; TRINDADE. 2003, p. 260)

Desta forma, não tendo uma formação reflexiva sobre os conceitos Físicos, surgem os efeitos na Física Moderna, como as reprovações. Mas vale reforçar que a reprovação é um fenômeno muito mais complexo do que apenas um problema do aluno. Esta envolve uma série de fatores como, por exemplo, a metodologia do professor ou as formas de avaliação. No entanto, o foco deste trabalho é sugerir que este déficit dos alunos é apenas um dos fatores que tem como consequência o mau desenvolvimento do aluno na disciplina.

Alunos do ensino superior não teriam, ou não deveriam ter, tantas dificuldades como esta suposta capacidade de abstração. Porém, ela não foi desenvolvida antes. E no ensino superior, a disciplina dá uma forte ênfase matemática e de modelos que os alunos ainda não são capazes de acessar com suas estruturas cognitivas.

Essa consequência pode se configurar como sendo um fracasso no ensino e aprendizagem de Física, havendo a necessidade de uma investigação que busque contribuir com essa falha no ensino, apontada por Fiolhais e Trindade (2003, p. 259) que

“O elevado número de reprovações em Física, nos vários níveis de ensino e em vários países, mostra bem as dificuldades que os alunos encontram na aprendizagem dessa ciência. As causas deste problema não estão devidamente esclarecidas. E, por isso, as soluções também o não estão. Contudo, entre as razões do insucesso na aprendizagem em Física, são em geral apontados aos professores métodos de ensino desajustados das teorias de aprendizagem mais recentes [...]”

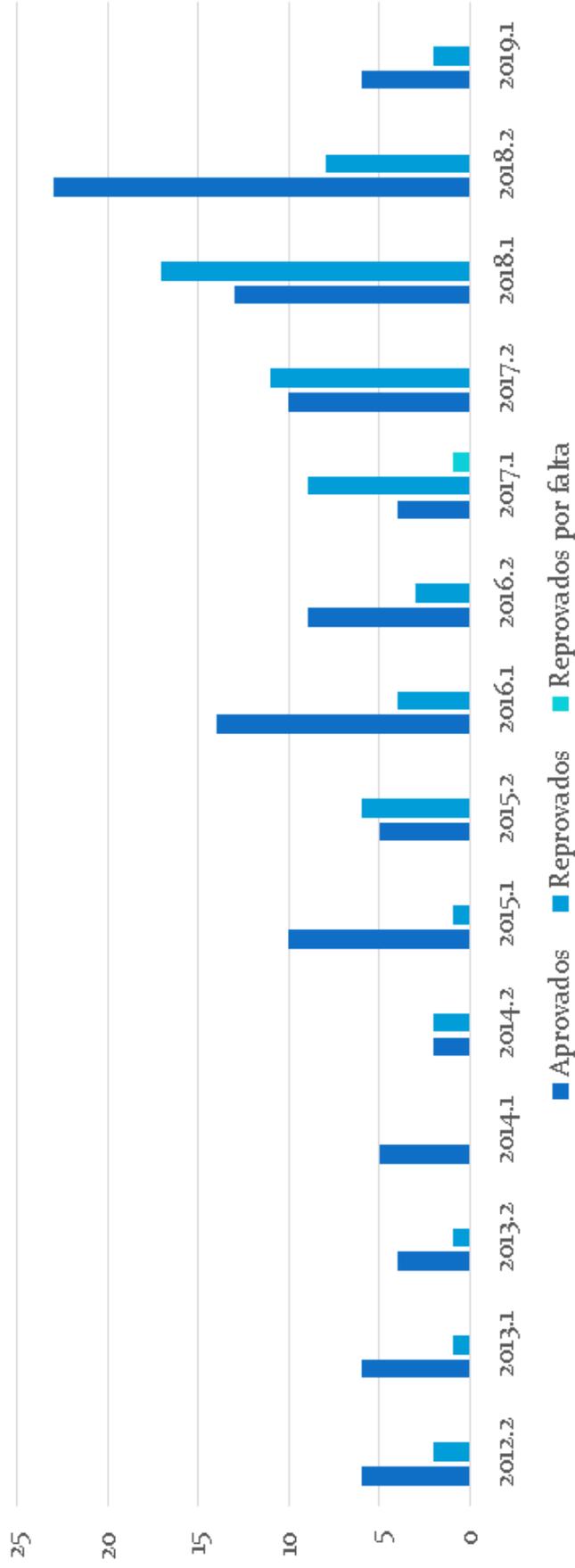
A partir disso, buscou-se conhecer dados sobre reprovações e evasões nas disciplinas de Física Moderna. Para isso foram utilizados os mesmos canais (o portal de Periódicos da Capes, Scielo, Google Acadêmico e Attena - Repositório Digital da UFPE). No entanto, não foi possível encontrar trabalhos investigativos sobre as reprovações ou evasões dos alunos nas disciplinas de Física Moderna. Carecendo assim, de uma pesquisa prévia realizada na instituição que serviu de campo de pesquisa para este trabalho, encontrada na sessão a seguir.

2.1.1 Física moderna na UFPE – CAA

Para reforçar a justificativa da pesquisa, foi realizado, com o auxílio do coordenador Prof. Dr. João Eduardo Ramos, um levantamento das reprovações de todas as turmas de Física Moderna do Curso de Física Licenciatura do NFD. O levantamento abrange desde a primeira turma ofertada, segundo semestre de 2012, até o primeiro semestre de 2019. No geral, foram oferecidas, de 2012.2 até 2019.1, 14 turmas de Física Moderna, entre as turmas regulares e turmas especiais, e as taxas de reprovação são apresentadas no gráfico 1.

Gráfico 1 – Levantamento da taxa de reprovação das turmas de Física Moderna nos períodos de 2012.2 a 2019.1.

Histórico de aprovação e reprovação da disciplina Física Moderna no curso de Licenciatura em Física na UFPE-CAA



Fonte: O Autor(2021)

A partir dos dados apresentados nos Gráficos, foi formulada a Tabela 2 com a taxa de reprovações em cada semestre para dar continuidade as discussões.

Tabela 2 – Taxas de Não-Aprovação em Física Moderna de 2012.2 a 2019.1

Semestre Letivo	Taxa de não aprovação (%)
2012.2	28,57
2013.1	14,29
2013.2	20,00
2014.1	0,00
2014.2	50,00
2015.1	9,09
2015.2	54,54
2016.1	22,22
2016.2	25,00
2017.1	71,43
2017.2	52,38
2018.1	56,67
2018.2	25,81
2019.1	25,00

Fonte: O Autor (2021)

Nota: Em vermelho valores das turmas que tiveram acima de 50% de reprovação no semestre.

É, de fato, perceptível que há um alto grau de reprovações na disciplina de Física Moderna, obtendo uma média de 32,5% de não aprovações, e destacando semestres como 2014.2, 2015.2, 2017.1, 2017.2 e 2018.1, como semestres onde o percentual de reprovações foi acima de 50%; e chamando atenção para os números de alunos evasivos (que reprovaram por falta), sendo este último de apenas 1 em todos os semestres. Compreendendo, assim, que a não aprovação está, em sua maioria, possivelmente direcionada ao processo de ensino e aprendizagem da componente curricular em questão.

Por fim, fazendo o balanço das 14 turmas oferecidas no período de tempo que foi apontado anteriormente, das 185 matrículas realizadas o número de não aprovados foi de 68. Em porcentagens, tem-se que em média 36,76% dos matriculados não obtiveram êxito.

Buscando compreender esses dados de reprovações e, juntamente, um processo de ensino mais significativo para Física Moderna, mais uma vez utilizando das palavras de Fiolhais e Trindade (2003, p. 259):

“É da responsabilidade dos docentes proporcionar aos seus alunos experiências de aprendizagem eficazes, combatendo as dificuldades mais comuns e atualizando, tanto quanto possível, os instrumentos pedagógicos que utilizam.”

Foi mencionado o interesse por abordar conteúdos de Átomos e Moléculas, pois são conceitos que tangem a maior parte dos conteúdos advindos da Física Moderna. Para isso é possível ver, no Quadro 1, as ementas das componentes curriculares Física Moderna encontrada no PPP (Projeto Político Pedagógico) do curso de Física Licenciatura, disponível no site da UFPE.

Quadro 1 - Ementa das componentes curriculares Física Moderna I e II encontradas no PPP do curso de Física Licenciatura.

EMENTA: Física Moderna I
Teoria da Relatividade. Quantização da carga, luz e energia. Modelos atômicos. Propriedades ondulatórias das partículas. A equação de Schroedinger. Física atômica. Física estatística.
EMENTA: Física Moderna II
Propriedades e espectros das moléculas. Física do estado sólido. Física nuclear. Física de partículas. Astrofísica e cosmologia.

Fonte: <https://www.ufpe.br/fisica-licenciatura-caa> (2021)

Após localizar o problema discutido no ensino e aprendizagem de Física Moderna, e concentrar esse problema no centro que servirá de campo de estudos, as sessões posteriores irão explanar os conceitos de átomos que tangem os conteúdos das ementas de Física Moderna, dos quais são necessários para decorrer da pesquisa.

2.2 Modelos atômicos através dos séculos

Os átomos são unidades fundamentais para o estudo das ciências - a Física e a Química -, que, por décadas empenham-se em descrever e decifrar todas as propriedades que os envolvem, procurando desvendar todos os mistérios da sua composição, do seu comportamento e de suas interações.

O conjunto de estudos e teorias advindas do século XX, denominada de Física Moderna, faz uso direto desses estudos. Entretanto, os átomos ou os modelos atômicos não são assuntos recentes a serem discutidos pelas ciências.

Os primeiros indícios de reflexões sobre os átomos vieram dos filósofos gregos por volta do século V a.C., como Tales de Mileto, Anaxímenes e Heráclito. Eles

acreditavam, respectivamente, que os elementos água, ar e fogo eram a base constituinte de tudo que existia no universo. Já Empédocles dizia que toda a matéria era formada pelos quatro elementos, fogo, terra, água e ar (Figura 2), ideia essa compartilhada pelo grande filósofo Aristóteles (ASIMOV, 1965).

Figura 2 – Representação do pensamento de Aristóteles baseado nas ideias de Empédocles sobre a formação da matéria.



Fonte: O Autor (2021)

Nota: Adaptado de Lopes e Gomes (2018)

Essas ideias perduraram por séculos, até que os filósofos Leucipo e Demócrito formularam uma teoria atômica, que enunciava o átomo como partícula indivisível da matéria (PEDUZZI, 2005). Em resumo, a matéria poderia ser fracionada indefinidamente até que não houvesse mais como dividi-la e, assim, chegar à sua unidade indivisível, a qual eles chamavam de átomo.

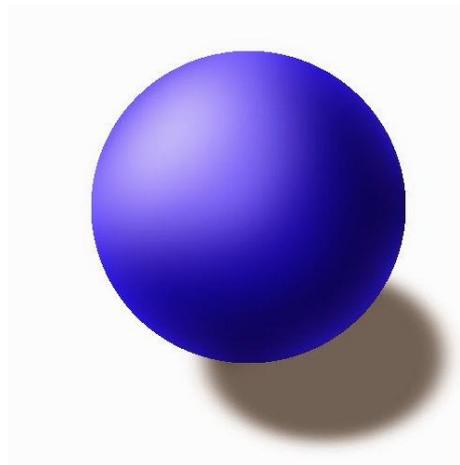
Mediante ao exposto, é possível ver que essas teorias, apesar de perdurar muitos séculos, não se mantiveram até os dias de hoje. Isto porque, com o avanço da

ciência e da tecnologia por volta do século XXVIII, novos estudos, mais elaborados e mais minuciosos, referentes às propriedades da matéria, foram ganhando espaço, junto com novos conceitos e novos modelos representativos. Assim, na continuidade, serão apresentadas cinco sessões, cronologicamente organizadas com um breve esclarecimento dos modelos atômicos mais comuns que se desenvolveram nas últimas décadas.

2.2.1 Modelo atômico de Dalton (1766-1844)

O cientista John Dalton, mesmo estando muito à frente dos filósofos gregos, utilizou de suas ideias para recriar uma proposta de um modelo atômico que serviria de apoio para explicar a constituição da matéria. Dalton criou este modelo com o intuito de incentivar a comunidade científica a pesquisar com mais afinco as propriedades dos átomos (HEWITT, 2002).

Figura 3 – Representação do modelo atômico de Dalton.



Fonte: <https://www.caracteristicass.de> (2021)

Durante o processo de criação de seu modelo, na busca de explicar e descrever um átomo e suas características, Dalton usou de suas pesquisas referentes ao comportamento físico dos gases, que o levou a realizar experimentos sobre proporções múltiplas, e agregou na lapidação de seu modelo atômico. Além disso, as proposições de Dalton aplicadas aos sistemas químicos permitiram compreender a

estequiometria das reações. Em resumo, a proposta de Dalton deveria respeitar as seguintes condições (SOUZA, 2019, p.279):

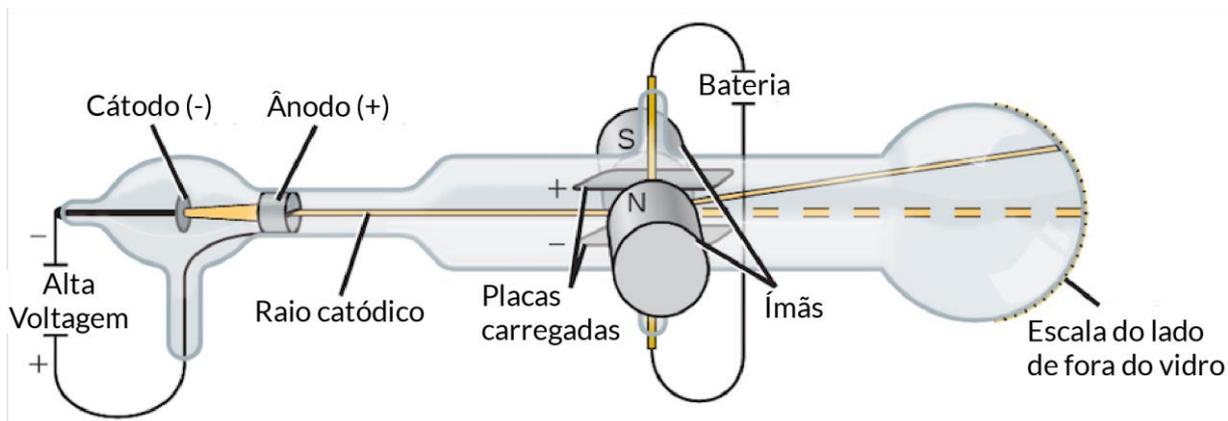
- Toda matéria é composta por partículas fundamentais chamadas de átomos;
- Os átomos são indivisíveis, não podem ser criados nem destruídos;
- Um mesmo elemento químico é constituído por átomos que apresentam as mesmas propriedades químicas;
- Para formação de um composto químico, ocorre a união de dois ou mais tipos diferentes de átomos, numa proporção fixa e característica do mesmo composto;
- As transformações químicas consistem em combinação, separação ou rearranjo de átomos;

Contudo, o modelo de Dalton ainda tinha limitações que o impossibilitava de explicar fenômenos, como por exemplo, a natureza elétrica da matéria.

2.2.2 Modelo atômico de Thomson (1856-1940)

A partir da insuficiência apresentada pelo modelo de Dalton, o cientista Joseph Thomson passou a estudar o comportamento de gases submetidos a uma descarga elétrica e experimentos com tubos de raios catódicos. Este experimento consiste em um tubo de vidro com dois eletrodos acoplados, um cátodo e um ânodo ligado a um gerador de voltagem variável, e uma bomba de vácuo ligada ao sistema (Figura 4).

Figura 4 – Diagrama do tubo de raios catódicos de Thomson.

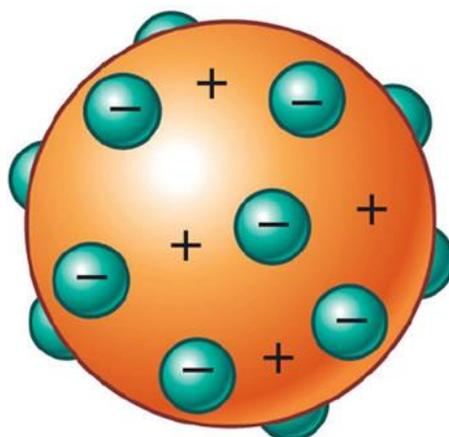


Fonte: <https://pt.khanacademy.org> (2021)

O raio origina-se no cátodo e passa através de uma fenda no ânodo. O raio catódico é desviado da placa elétrica de carga negativa, e em direção à placa elétrica de carga positiva. O tamanho do desvio do raio pelo campo magnético ajudou Thomson a determinar a razão entre massa e carga das partículas (HARTWIG *et. al.*, 1999; HALLIDAY *et. al.*, 2008).

A partir destes experimentos Thomson propôs que o átomo seria constituído por uma esfera carregada positivamente, na qual os elétrons estariam incrustados em sua superfície e as cargas positivas estariam misturadas ao núcleo (HALLIDAY *et. al.*, 2008). Tendo, ele mesmo, feito uma analogia a um pudim de passas (Figura 5).

Figura 5 – Representação do modelo atômico de Thomson.



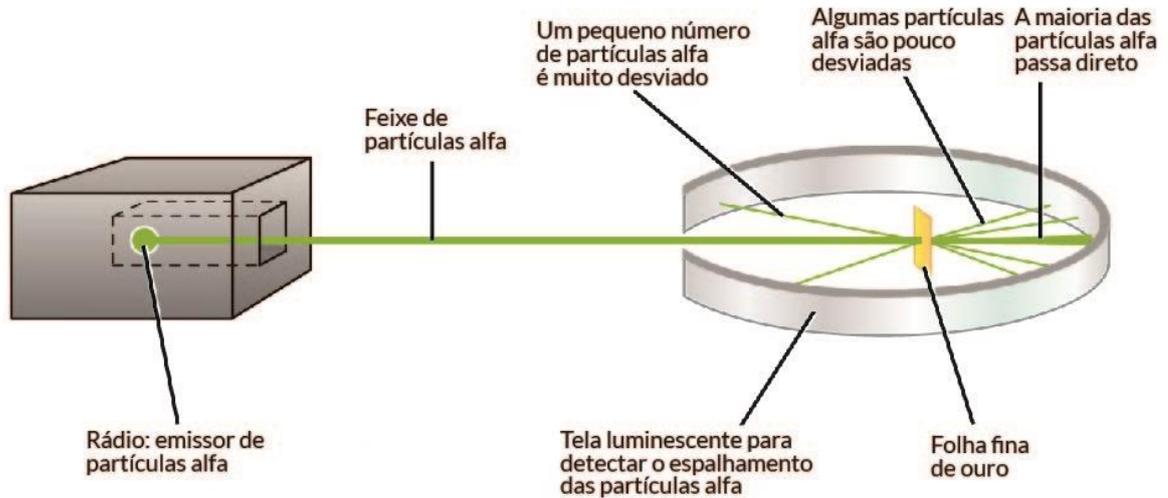
Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br> (2021)

Todavia, os acontecimentos referentes à radioatividade no século XIX levantaram questões que apontavam que o modelo pudim de passas não se sustentava. Dando espaço para mais pesquisas sobre a natureza do átomo.

2.2.3 Modelo atômico de Rutherford (1871-1937)

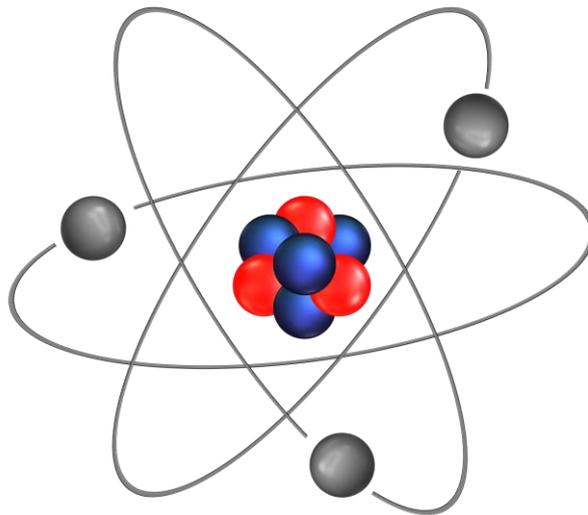
O Físico Ernest Rutherford, a partir de seus estudos referentes a radioatividade, elaborou um experimento (Figura 6) que consistia em emitir um feixe de partículas positivamente carregadas contra uma folha de ouro (material pouco reativo) com uma espessura muito fina. Esperava-se, de acordo com o modelo de Thomson, que o feixe de partículas não conseguisse atravessar os átomos da folha de ouro, pois as partículas alfas possuem massa milhares de vezes maior do que a dos elétrons. Entretanto, foi observado que a maioria das partículas alfa atravessavam completamente a placa de ouro, algumas sofriam desvios e poucas não atravessavam a placa, ou seja, eram desviadas na direção em que eram geradas. Diante disso, foi possível perceber que a folha de ouro funcionava, analogamente, a uma peneira, pois haviam espaços vazios nos átomos sendo, assim, a maior parte da sua massa concentrada na sua região central (HARTWIG *et. al.*, 1999; HALLIDAY *et. al.*, 2008), dando origem a uma representação muito comum nos livros, o modelo atômico de Rutherford (Figura 7).

Figura 6 – Diagrama do experimento da folha de ouro.



Fonte: <https://pt.khanacademy.org> (2021)

Figura 7 – Representação do modelo atômico de Rutherford.



Fonte: <https://conhecimentocientifico.r7.com> (2021)

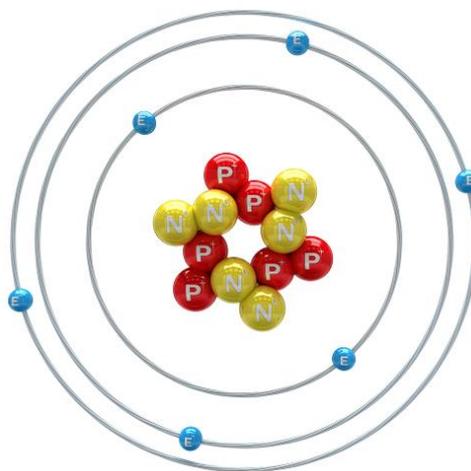
Este modelo atômico se sustentava bem em explicar a composição dos átomos, com um núcleo composto por partículas positivas, os prótons, e uma eletrosfera composta por partículas negativas, os elétrons. Mas ainda falhava quando tentava explicar o porquê dos elétrons se manterem na eletrosfera sem sofrer atração pelo

núcleo, pois naturalmente por serem cargas opostas deveriam se atrair ao ponto de colidirem.

2.2.4 Modelo atômico de Bohr (1885-1962)

O modelo atômico de Niels Bohr, veio para agregar ao modelo atômico de Rutherford, passando a ser denominado de modelo de Rutherford-Bohr (Figura 9). Propondo a existência de níveis de energia, dos quais cada elétron teria uma quantidade energética particular que determinaria sua posição em uma região da eletrosfera, na tentativa de aplicar as ideias de quantização de Planck e Einstein ao modelo nuclear de Rutherford. A partir disto, Bohr construiu postulados que buscavam auxiliar na descrição da natureza dos átomos (PEDUZZI, 2005).

Figura 8 – Representação do modelo atômico de Rutherford-Bohr.



Fonte: <https://www.manualdaquimica.com> (2021)

O primeiro, já comentado, diz que os elétrons descrevem uma órbita circular ao redor do núcleo com energia fixa e determinada. No segundo os elétrons não emitem energia enquanto se movimentam nessas órbitas e o terceiro, diz que quando ele recebe energia suficiente ele desloca-se para outro nível, porém, após receber essa energia, ele tende a voltar para seu nível de energia original dissipando-a, podendo essa emissão ser em forma de luz ou calor (PARTINGTON, 1960; MACEDO; CARVALHO, 2000).

Contudo, assim como seus precedentes, as conclusões de Bohr não satisfazem inteiramente o comportamento dos átomos, pois ele explica de forma satisfatória o átomo de hidrogênio e não explica por qual motivo o elétron apresenta energia constante, além de possuir a restrição de que os elétrons nem sempre apresentam uma órbita circular ou elíptica ao redor do núcleo (LOPES, 2018).

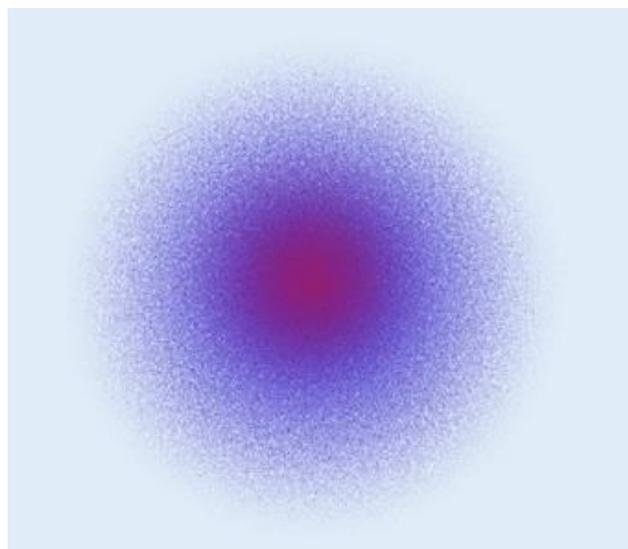
2.2.5 Modelo atômico quântico

Em 1926, Erwin Schrödinger, apoiando-se nos estudos do comportamento dual da onda-partícula proposto por De Broglie, e no princípio da incerteza postulado por Heisenberg, mostrou que as funções de onda do sistema e suas energias associadas podiam ser obtidas resolvendo uma equação de onda (Eq.1 - Equação de Schrödinger).

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\left(\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}\right) + V\psi = E\psi \quad (\text{Eq. 1})$$

No entanto, uma vez que esta função tenha sido integrada ao espaço Ψ^2 em um ponto (x, y, z) nos permite determinar a probabilidade de encontrar o elétron naquela região específica e, assim, a posição exata desses elétrons não pode ser definida, apenas as regiões onde há maior probabilidade de se encontrar o elétron.

Figura 9 – Representação do modelo atômico de quântico.



Fonte: <https://www.todamateria.com.br> (2021)

Este modelo (Figura 8), conhecido também como nuvem eletrônica ou nuvem de probabilidade, possui um núcleo com a maior concentração de massa do átomo, carregado positivamente, formado por prótons e nêutrons, e os elétrons movimentando-se em orbitais, que é definido como um espaço tridimensional com regiões de maior densidade de probabilidade de se encontrar o elétron (HALLIDAY *et. al.*, 2008).

Ao longo dos anos, é possível encontrar uma serie de modelos atômicos na literatura científica. Com o passar dos séculos cientistas como Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr e Schrödinger tentaram explicar e criar representações dos átomos. A partir disto, para o questionário foram escolhidos, dentre os modelos atômicos, os modelo de Thomson, Rutherford-Bohr e o da nuvem eletrônica (HEWITT, 2002; TIPLER; LLEWELLYN, 2014; HALLIDAY *et al*, 2016):

- I. o átomo do modelo atômico quântico (modelo nuvem eletrônica ou nuvem de probabilidade) por ser o modelo mais recente e que descreve melhor as características do átomo pela Física Moderna, com o núcleo possuindo a maior concentração de massa do átomo, carregado positivamente formado por prótons e nêutrons, e os elétrons movimentando-se em orbitais (espaço tridimensional com regiões de maior densidade de probabilidade de se encontrar os elétrons). A posição exata desses elétrons não pode ser definida, apenas há regiões onde há uma maior probabilidade de se encontrar o elétron;
- II. o modelo mais comum encontrado em livros didáticos, o átomo de Rutherford, apresenta uma região central com alta concentração de carga positiva, composto por um núcleo que detém a maior concentração da massa do átomo com prótons e nêutrons, e os elétrons localizados ao redor do núcleo;
- III. o átomo de Thomson, por ser um modelo muito comum e comentado nas salas de aula, o pudim de passas é eletricamente neutro por possuir o mesmo número de prótons e elétrons, e os mesmos se encontram num fluído continuo com os elétrons que estão espalhados apresentando a mesma carga, se repelindo e se distribuindo uniformemente na esfera.

Os modelos atômicos são apenas uma parte correlacionada com a Física Moderna que serviu de apoio para esta pesquisa. Nas próximas sessões foi abordado como o sujeito aprende o olhar da aprendizagem significativa, para que mais adiante seja possível relacionar os modelos atômicos e a forma como eles são compreendidos pelos sujeitos que os estuda.

2.3 Aprendizagem significativa

O conceito central da teoria da aprendizagem de Ausubel, a Aprendizagem Significativa e, especialmente, a busca por esta aprendizagem é o que move muitos trabalhos acadêmicos voltados para educação. Como aprender significativamente? Como verificar se o estudante aprendeu de forma significativa? Como tornar a aprendizagem potencialmente significativa? Como dar significado ao que se aprende/ensina? Essas e outras perguntas circundam essa teoria em busca de compreender de que forma o sujeito aprenderá de mais significativamente, a ponto de atribuir novos significados aos seus conhecimentos prévios ao mesmo tempo em que novos conhecimentos tomam forma e também adquirem significado, dando ao sujeito maior estabilidade cognitiva (MOREIRA, 2011).

O déficit no desenvolvimento desses alunos presentes na sessão 2.1, ao olhar da Aprendizagem Significativa, indica que a interação entre o conhecimento prévio e os novos conhecimentos dão-se de forma literal e arbitrária. Dessa forma, os novos conhecimentos não vão adquirir significado para o sujeito, e os conhecimentos prévios não vão servir de ponte para que o sujeito atribua novos significados ao que ele conhecia previamente (MOREIRA, 2011). Esses conhecimentos prévios, chamados por Ausubel (2000) de subsunçores, auxiliam na ancoragem de novos conhecimentos, onde, neste processo, estas estruturas serão modificadas para que ocorra a aprendizagem significativa.

É extremamente difícil garantir que uma aprendizagem, de fato, significativa, mas a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (1980, 2000) se apoia em três pilares para que haja um aumento no potencial da sua manifestação, são eles: os conhecimentos prévios; os materiais potencialmente significativos e a motivação do aprendiz.

Os conhecimentos prévios dizem respeito às representações que podem servir de ancoradouro para novos conhecimentos. Dizer que um material é potencialmente significativo, pressupõe que não existe, de fato, um material significativo, pois quem atribui significado a tal material é o próprio estudante e não o material em si. Portanto, o material apresenta apenas potencialidades capazes de proporcionar a eficácia do processo de ensino e aprendizagem. Já com relação à motivação do aprendiz, esta não deve ser entendida como a vontade ou desejo em aprender, mas sim como um conjunto de condições necessárias capazes de proporcionar ao estudante a aprendizagem significativa. Portanto, o objetivo deste trabalho está na busca, a partir dos modelos mentais elaborados pelos licenciandos, de estabelecer uma relação entre os perfis cognitivos descritos por Lagreca e Moreira (1999), buscando analisar aspectos desses perfis que remetem às características apontadas pela teoria da aprendizagem de Ausubel.

2.4 Modelos mentais

Se um determinado sujeito se depara com a proposição “A cadeira está no canto da sala”, ao lê-la o sujeito irá criar um modelo desta situação em sua mente. Este modelo criado provavelmente assumirá, neste exemplo, a forma específica de uma cadeira e uma sala. Pode ser uma cadeira de plástico, uma cadeira de madeira, uma sala de estar, uma sala de aula, a cadeira pode estar virada para diferentes direções, a sala pode estar vazia ou contendo outros objetos, ou seja, o modelo criado na mente do sujeito referente a essa proposição pode assumir diferentes formas. Assim, pode-se dizer que ao criar um *modelo mental* (JOHNSON-LAIRD, 1989) o que o determina é o entendimento do sujeito que o constrói.

Isto se deve ao pressuposto apontado por Arruda que diz que “as pessoas não captam o mundo exterior diretamente, na realidade constroem representações mentais dele” (2003, p. 5-6). Por este motivo o sujeito é quem determina como irá representar determinada situação, pois um modelo mental apenas existe na mente de alguém (BORGES, 1997).

Na literatura, não existe uma definição exata do que seja um modelo mental, assim há apenas tentativas de compreender e se aproximar, por meio de

características, de um conceito que possa ser entendido. Desta forma, esta sessão destina-se a trazer os principais estudos correspondentes à teoria dos modelos mentais de Johnson-Laird para que sirva de guia teórico para esta pesquisa.

A dificuldade de entender os modelos mentais, possivelmente vem da sua origem de construção, pois entender como funciona individualmente a mente de um sujeito não é algo simples de se executar, mas a orientação teórica básica para as teorias cognitivas vem do tratamento da mente como um sistema de processamento de informações (ARRUDA, 2003). Assim é pressuposto que para um melhor entendimento da mente, são necessárias representações mentais.

- A mente do indivíduo se constitui de um sistema de processamento de símbolos de propósito geral e que possui limitações estruturais e de recursos.
- Símbolos são manipulados por processos capazes de transformá-los em outros símbolos.
- O sistema de símbolos depende de um substrato neurológico. (ARRUDA, 2003, p. 5).

Os *modelos mentais* segundo Johnson-Laird (1989) são apenas um tipo de representação mental, totalizando, junto com *representações proposicionais* e *imagens*, três tipos de representações, que serão explanadas a seguir.

- I. **Representações proposicionais:** São construídas de forma individual, regidas por regras e possuem um alto grau de abstração. São traduzidas em forma de linguagem ou símbolos e são pouco flexíveis, pois são exclusivamente referenciais (MOREIRA, 2011). Um exemplo típico deste tipo de representação são as fórmulas e leis matemáticas, uma vez que essas proposições são enquadradas como ‘verdadeira’ ou ‘falsa’ dado um modelo específico.
- II. **Modelos mentais:** Johnson-Laird entendia que as representações podiam ser divididas em *proposicionais* (descrita no tópico anterior) e *analógicas*, que descrevem bem o construto de *modelos mentais*, dado que essas estruturas representam internamente analogias daquilo que está sendo representado. Essas representações utilizam-se de associações específicas do mundo exterior, por esse motivo quando dito a proposição que iniciou a discussão “A

cadeira está no canto da sala”, pensa-se em uma cadeira específica, não virada, não de cabeça para baixo e não quebrada, pois não dispõem aspectos distintos de um dado domínio de um evento ou objeto.

III. Imagens: Essas representações são apontadas por Moreira (2011) como muito polemicas no campo cognitivo, pois muitos teorizam que as imagens não são um tipo específico das representações mentais. No entanto, como esse não é o foco desta pesquisa, entende-se por *imagens* as representações, assim como modelos mentais, análogas e específicas de uma perspectiva única que é construída a partir da imaginação individual por meio da percepção de detalhes particulares de um evento ou objeto. Para que não haja confusão entre os *modelos mentais* e as *imagens*, é importante destacar que elas se diferem segundo Johnson-Laird (1989) com imagens sendo a visão de um modelo mental à uma perspectiva específica, no exemplo da cadeira, pode-se construir um modelo mental de uma cadeira, mas não uma cadeira geral, sempre é formado a imagem de uma cadeira específica, portanto é possível imaginar infinitas imagens de cadeiras, porém nunca uma cadeira em geral, pois a mente já tem formado um modelo mental de uma cadeira.

Apesar da complexidade que envolve o conceito de modelos mentais, encontra-se na literatura definições que tentam reunir as principais características deste tipo de representação. Como Moreira e Lagreca, que o definem como “análogos estruturais do mundo” (1998, p. 85); ou Sternberg que aponta o como “representações analógicas, um tanto quanto abstraídas, de conceitos, objetos ou eventos que são espacial e temporalmente análogos a impressões sensoriais” (1996, p. 181).

Posto isto, extrai-se que palavras chaves como: representação, analogias, construção e mundo, indicam que um modelo mental é um constructo de uma representação por meio de uma analogia que se desenvolve de forma individual na mente do sujeito, na tentativa de compreender os eventos e objetos do mundo “real”, pois o ser humano não enxerga o mundo como ele realmente é, e sim por meio de um modelo puramente mental que sofre influência a partir dos conhecimentos prévios do sujeito.

Para reforçar, Moreira (1996) traz características específicas apresentadas pelos modelos mentais, são elas:

- a) modelos mentais são incompletos;
- b) a habilidade das pessoas para executá-los é limitada;
- c) são estáveis;
- d) não tem fronteiras bem definidas;
- e) não são científicos, refletindo as superstições e crenças do indivíduo sobre o sistema físico;
- f) são parcimoniosos, ou seja, que age de forma ponderada, que tentam agir de forma a simplificar.

No estudo da Física, os modelos mentais vêm como uma tentativa de explicar os modelos conceituais aceitos cientificamente, de forma que o conteúdo a ser estudado faça sentido para o sujeito que o estuda, sendo uma maneira de desenvolver significados que o ajudem a aprender de forma significativa. Em resumo, na escola são apresentados ao estudante um modelo conceitual, o estudante por sua vez cria para si um modelo mental daquele modelo inicialmente explicitado.

Logo nas sessões a seguir são elucidados os conceitos que envolvem os modelos conceituais e algumas diferenças entre um modelo conceitual e um modelo mental.

2.4.1 Modelo conceitual

Na área das ciências, trabalhar com conceitos abstratos é algo rotineiro. Professores estão, constantemente, ensinando conceitos que não são “visíveis” na realidade dos estudantes. Um exemplo disto são os conceitos de átomos e moléculas, apesar de termos as teorias que descrevem o comportamento dos átomos, transpor isto para que se torne algo concreto não é uma missão fácil, cabendo esta tarefa destinada aos modelos conceituais ou objetos-modelos.

Bunge (1974), traz que os modelos são desenvolvidos nas relações entre as teorias e os dados empíricos de determinado conceito. Servindo, assim, como um mediador entre as limitações trazidas pelos conhecimentos empíricos que não são

capazes de serem dispostos em um sistema lógico (PAZ, 2005) e o conhecimento dos modelos teóricos.

Estes modelos teóricos são para Bunge (1974, p.20) “parcial e aproximativo”, pois apesar de bem elaborado, os modelos não são capazes de descrever o conhecimento do *real*. Assim, o modelo conceitual ou objeto-modelo age como o produto de uma análise na busca de entender e explicar a realidade.

Quando o ser humano se depara com uma situação e/ou um problema, ele constrói uma idealização de forma simplificada, chamada de objeto-modelo ou modelo conceitual, que o permite compreender um pouco mais sobre os fenômenos da realidade. O produto deste modelo pode resultar em uma imagem ou proposição que representa o real, e à esta representação estão constantemente sendo atribuídas propriedades, sempre buscando inseri-las em uma teoria capaz de sustentar este modelo matematicamente (BUNGE, 1960, 1974).

“Objetos-modelo são representações esquemáticas de objetos reais” (MACHADO; BRAGA, 2020, p. 9). Entretanto, isso não quer dizer que sempre serão formados por imagens ou figuras. Eles são predominantemente conceituais, isto porque são formados a partir das ideias dos seus referenciais. Desta forma, criar uma explicação requer a elaboração de modelos teóricos, que são criados a partir da compreensão de um objeto-modelo em uma teoria geral. Bunge (1973) traz um quadro (Quadro 2) com exemplos destas relações.

Quadro 2 - Relações de modelização

Sistema	Objeto-modelo	Modelo teórico	Teoria Geral
Lua	Sólido esférico rotacionando em torno de seu eixo, girando em torno de um ponto fixo, etc.	Teoria Lunar	Mecânica clássica e teoria da gravitação
Luar	Onda eletromagnética plano-polarizada	Equações de Maxwell para o vácuo	Eletromagnetismo clássico

Pedaço de vidro	Cadeia de contas linear e aleatória	Mecânica estatística de cadeias aleatórias	Mecânica Estatística
Cristal	Cadeia de contas linear e aleatória	Teoria de Bloch	Mecânica Estatística

Fonte: O Autor (2021)

Nota: Traduzido e adaptado de Bunge (1973, p. 43).

Trazendo isto para o olhar da Física, estes modelos conceituais consistem em criar instrumentos para compreensão, estudo e ensino de sistemas reais, em busca de representações que sejam completas, consistentes e acuradas e, trazendo a relação com a discussão da sessão anterior, os modelos mentais são criados nas cabeças das pessoas servindo de guia e ferramenta para suas ações, apresentando uma funcionalidade.

2.4.2 Modelo conceitual x Modelo mental

Os modelos conceituais são, em sua essência, modelos mentais, pois esses modelos físicos conhecidos como modelos conceituais, nada mais são do que modelos construídos por pesquisadores, como professores, investigadores entre outros profissionais para facilitar e representar buscando a forma que mais se aproxime da precisão, consciente e completa de eventos e objetos do mundo real.

Os modelos mentais que são considerados e validados a ponto de se tornarem modelos conceituais não são à prova de falhas, mas devem ser funcionais (MOREIRA; LAGRECA, 1998), evoluindo conforme interação com o sistema, e sofrendo, assim, modificações sucessivas de forma a manter sua funcionalidade.

Dito isso, conclui-se que o propósito de um modelo mental é ser funcional e que, quanto mais acurado é, mais próximo está de um modelo conceitual. Para isso os modelos precisam atender a certas características apontadas por Mayer (1989, 1992), são elas:

- a) representar todos os elementos estruturais e exibir todas as relações entre eles para que possa ser usado produtivamente pelo estudante;

- b) o nível de detalhe e as relações, estruturas e ações das partes do modelo devem ser adequados ao nível de compreensão do estudante;
- c) o modelo deve ser claro a respeito do seu escopo e limitações para representar o sistema alvo;
- d) usar um vocabulário adequado aos estudantes.

[...] pessoas instruídas com a ajuda de um modelo do sistema mostram sensível ganho em desempenho, inclusive ao imaginar alternativas e procedimentos mais eficientes. [...] ter um modelo do sistema ajuda os indivíduos a inferir o funcionamento do sistema e a explicar o seu funcionamento em termos do modelo. (BORGES, 1997, p. 214).

Atendendo à essas características, os modelos permitem que os estudantes consigam reter mais informações e construir modelos mentais mais criativos adaptando-os a novos problemas, em novas situações.

2.4.3 Modelos mentais para a aprendizagem significativa

Por meio das sessões anteriores, entende-se que os modelos mentais estão diretamente relacionados à forma como as pessoas entendem o mundo e, conseqüentemente, à forma como aprendem sobre o mundo também.

Na escola, ensina-se por meio de modelos conceituais, e presume-se que os alunos vão criar seus modelos mentais semelhantes aos modelos conceituais ensinados pelos professores. Entretanto, Errobidart *et. al* (2013) comenta que os estudantes, na verdade, assimilam os elementos mais importantes que formam o modelo conceitual e associam ao conhecimento que eles mesmos já possuem, criando modelos mentais bem distantes daquilo que se é aceito cientificamente.

Isso acontece, ao olhar da aprendizagem significativa, porque quando se ensina, é necessário levar em conta os conhecimentos prévios dos alunos e utilizar os modelos conceituais como formas de reforçar o conhecimento de mundo deles. Pois, apesar de termos como prioridade o ensino de modelos conceituais dentro das

escolas, o modelo mental vem como ponte para construção da aprendizagem significativa dos modelos conceituais ensinados.

Logo, esses modelos conceituais servirão de apoio para tornar os subsunçores, apontados por Ausubel como elementos para alcançar uma aprendizagem significativa, mais sofisticados e elaborados. Estes auxiliam no desenvolvimento psicológico, por meio de instruções, atribuindo novos significados aos seus conhecimentos prévios enquanto novos conhecimentos tomam forma e adquirem significado (MOREIRA, 2011) e fazendo parte de um processo também importante para aprendizagem significativa, conhecido como mudança conceitual (Borges, 1996).

Outra relação dos modelos mentais com aprendizagem significativa vem da fala de Arruda “nós só podemos aprender o novo a partir daquilo que já conhecemos” (2003, p. 13).

[...] a habilidade de um indivíduo em explicar e prever eventos e fenômenos que acontecem a sua volta evolui à medida que ele adquire modelos mentais mais sofisticados dos domínios envolvidos. Tais modelos evoluem com o desenvolvimento psicológico. (BORGES, 1997, p. 8).

Fazendo menção a principal função dos conhecimentos prévios apontados pela teoria da aprendizagem significativa, indicando que, quanto mais completo e elaborado o subsunçor, melhor e mais elaborado o modelo mental que será construído individualmente pelo sujeito. Assim, apesar da mente humana só funcionar por meio de modelos mentais, são os modelos conceituais que podem ajudar na construção deles, auxiliando-os a evoluírem e adquirirem significado.

3 OBJETIVOS

3.1 Geral

Compreender como os perfis cognitivos 'proposicionalista', 'modelizador basicamente propocional' e 'modelizador basicamente imagístico' descritos por Lagreca e Moreira estão relacionados com a aprendizagem significativa de Ausubel a partir de modelos mentais elaborados por licenciandos em física.

3.2 Específicos

- ✓ Analisar os modelos mentais elaborados para moléculas por licenciandos em física a partir das categorizações descritas por Moreira e Lagreca (1998) e Arruda (2003);
- ✓ Analisar as respostas dos alunos referentes aos conceitos do modelo atômico em consonância com os modelos mentais de moléculas criado por eles;
- ✓ Identificar no processo de elaboração dos modelos mentais aspectos que remetam as características da aprendizagem significativa nos conceitos de Física Moderna;

4 METODOLOGIA

4.1 Desenho da pesquisa

Neste trabalho o interesse foi de investigar a aprendizagem significativa que pode ser analisada por meio do estudo de Física Moderna utilizando Modelos Mentais. A fim de alcançar esse objetivo, foi aplicado um questionário em uma turma de estudantes que estavam cursando a disciplina de Física Moderna. Foi analisada a compreensão do processo de uso de Modelos Mentais no estudo de Física Moderna e dos seus possíveis efeitos sobre a significação dos conceitos envolvidos que nos interessam, tornando assim a pesquisa de cunho qualitativo. Apesar do uso do instrumento prova (o questionário aplicado), taxado como instrumento antiquado de avaliação quantitativo (HOFFMANN, 2001; LUCKESI, 2002; PERRENOUD, 1999), é possível por meio de provas, com cunho construtivista, alcançar avaliações qualitativas, segundo Oliveira (2017, p. 13)

[...] é possível trabalhar com esse instrumento sem gerar impasses expressando características qualitativas, transparecendo o perfil do sujeito, mostrando os avanços, as dificuldades e aquilo em que se pode melhorar, tanto professor em sua prática pedagógica quanto o próprio aluno. Por empregar questões em diferentes níveis, pode-se notar quais são as questões em que os alunos apresentam maior dificuldade e trabalhá-las [...]

Algumas características das pesquisas qualitativas que contribui para a visão deste trabalho, são:

1. Na investigação qualitativa a fonte direta de dados é o ambiente natural, construindo o investigador o instrumento principal [...]
2. A investigação qualitativa é descritiva [...]
3. Os investigadores qualitativos interessam-se mais pelo processo do que simplesmente pelos resultados ou produtos [...]
4. O significado é de importância vital na abordagem qualitativa [...]. (BOGDAN; BIKLEN, 1994, pp. 47 – 51).

A partir do que foi dito, é possível caracterizar esta pesquisa no que diz respeito aos seus procedimentos metodológicos, que serão tratados mais adiante, com a proposta de uma intervenção qualitativa, e o pesquisador utiliza-se de instrumentos apropriados para a coleta e análise dos dados, a fim de potencializar a aprendizagem significativa dos conhecimentos do estudo de Física Moderna.

4.2 Local da pesquisa

A pesquisa aconteceu na Universidade Federal de Pernambuco- Campus Agreste, especificamente considerando o curso de Física Licenciatura, porém aconteceu de forma remota seguindo a Resolução CEPE nº 08/2020, que regulamenta o Calendário Acadêmico Suplementar (CAS) para os cursos presenciais de graduação na Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, frente ao contexto de Pandemia da Covid-19.

4.3 Amostra de participantes

Participaram efetivamente da pesquisa 16 licenciandos em física, selecionados mediante intencionalidade e conveniência, que concordaram em participar da pesquisa diante da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido - TCLE (ANEXO A), como umas das condições à participação. O TCLE foi disponibilizado pelo Google Forms, assim os alunos que desejaram participar responderam ao formulário marcando a opção “Li o TCLE e concordo em participar como voluntário(a)”.

Demos prioridade aos participantes que estavam cursando a disciplina de Física Moderna II. Escolhemos realizar o estudo, abordando conteúdos de Física Moderna, mais especificamente Átomos e Moléculas, como já justificado nas sessões 1 e 2 deste trabalho.

4.4 Critérios de inclusão e exclusão

- Critério de inclusão – Os sujeitos selecionados para a pesquisa deveriam atender, cumulativamente, aos seguintes critérios:

- a) Ser aluno(a) devidamente matriculado em Física Licenciatura do NFD, levando em conta que a investigação é feita na formação do professor de Física;
 - b) Estar matriculado(a) e cursando a componente curricular Física Moderna II no semestre que será realizado a pesquisa.
 - c) Aceitar e assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (ANEXO A).
- Critérios de exclusão – foram considerados excluídos da pesquisa os sujeitos que:
 - a) Alunos que não estiverem devidamente matriculados no curso de Física Licenciatura do NFD
 - b) Não estar matriculado(a) e cursando a componente curricular Física Moderna II;

4.5 Recrutamento dos participantes

Para os licenciandos que atendem aos itens listados na sessão 7.4, previstos nos critérios de inclusão, foram enviados e-mails apresentando a temática da pesquisa e detalhando os critérios de inclusão e exclusão. Os discentes que atendiam a todos os critérios estabelecidos e que desejavam participar da pesquisa deveriam responder ao e-mail. Posteriormente, os licenciandos receberam o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) por e-mail.

Após a concordância com o TLCE, deu-se início às etapas a serem desenvolvidas para a produção dos dados.

4.6 Instrumentos de coleta de dados

Para a produção dos dados utilizou-se um questionário, neste os alunos deveriam responder algumas questões e construir modelos mentais sobre o átomo.

4.6.1 Questionário

O questionário (APÊNDICE A) serviu como instrumento para a produção de dados. Neste, os alunos deveriam responder algumas questões e construir modelos mentais sobre os conceitos de átomos e moléculas ao olhar da Física Moderna. Contudo, seu formato pode ser construído por perguntas fechadas, abertas ou mistas, dependendo do objetivo do pesquisador. O questionário em questão foi composto por uma pergunta fechada, limitando a escolha do estudante ao selecionar uma alternativa, seguido de perguntas abertas, com o objetivo de permitir que os licenciandos ficassem livres para responder. Dessa forma é possível entender a familiaridade que eles possuem com os termos que circundam a Física Moderna.

4.6.2 Construção dos modelos mentais

A construção dos modelos mentais, por parte dos participantes, foi alvo de análise, avaliando de que forma eles selecionaram o melhor modelo teórico ao trabalhar determinado conceito. Foram tópicos analisados nas construções dos modelos mentais: como os conceitos estão dispostos; qual o modelo alvo; como foi escolhido o modelo análogo; quais as características em comum entre os modelos; se as relações de semelhança e as diferenças entre o modelo alvo e análogo estão coerentes. Primeiramente, foi feito um levantamento dos alunos que responderam o questionário de forma completa. Após esse levantamento, os participantes foram divididos em grupos baseados nas respostas da questão 1.4 (APÊNDICE A) a partir dos perfis cognitivos apontados por Moreira e Lagreca (1998) e Arruda (2003): *proposicionalistas*, *modelizadores basicamente proposicionais* e *modelizadores basicamente imagísticos*; e ,finalizando a análise dos modelos mentais, foi feita uma associação com os conceitos de modelos mentais em consonância com os conceitos da teoria da aprendizagem significativa.

5 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS DADOS

Os participantes responderam à um questionário (APÊNDICE A), afim de avaliar o seu entendimento do modelo conceitual de átomo para que, dessa forma, fosse possível extrapolar esse conceito para uma situação diferente (ARRUDA, 2003), a construção do modelo mental de molécula. As perguntas que guiaram o questionário, são encontradas a seguir.

Primeiramente, é importante a informação de que a turma ficou totalmente dividida na questão 1, apresentada a seguir.

1) Um átomo de hidrogênio é composto por um próton e um elétron. Qual das figuras a seguir você considera que melhor representa esse átomo?

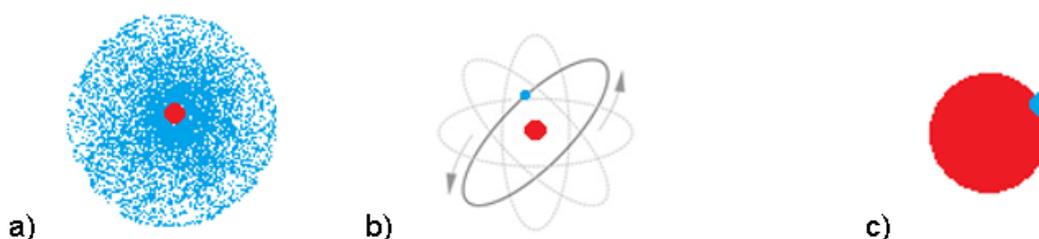
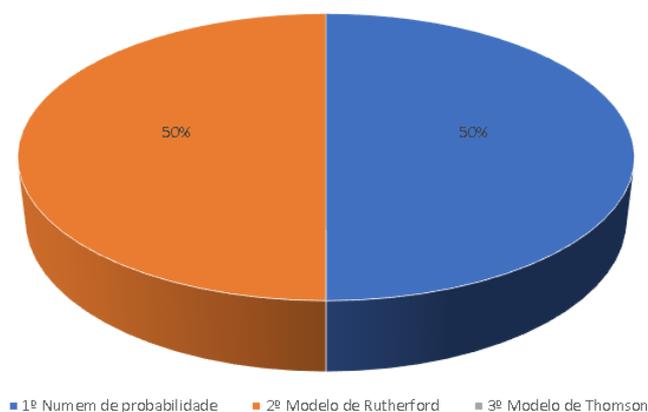


Gráfico 2 – Gráfico da porcentagem de alunos referente as respostas da questão 1.

REPOSTAS DOS ALUNOS REFERENTE AO PRIMEIRO PROBLEMA



Fonte: O Autor (2021)

Para melhor compreensão das análises futuras nesta sessão, dos 16 alunos que responderam ao questionário, foram selecionados 7 alunos, nomeados de alunos A, B, C, D, E, F e G, que apresentam características bem definidas quanto aos perfis cognitivos que foram analisados. Outro critério que contribuiu para que apenas 7 alunos fossem amostra de análise da pesquisa, foi o fato de que os outros 9 alunos que participaram da pesquisa não responderam todas as questões, impossibilitando assim, obter uma análise completa do seu desenvolvimento. Dessa forma, é importante deixar explícito em que região do gráfico, na figura 9, estes alunos se encontram. A tabela 3 traz as escolhas dos alunos referentes ao problema 1.

Tabela 3 – Modelo atômico selecionado pelos alunos que serviram de exemplo para análise dos dados

Alunos	Resposta do problema 1 do questionário
Aluno A	Modelo de Rutherford
Aluno B	Modelo de Rutherford
Aluno C	Modelo de Rutherford
Aluno D	Modelo Nuvem de Probabilidade
Aluno E	Modelo Nuvem de Probabilidade
Aluno F	Modelo Nuvem de Probabilidade
Aluno G	Modelo Nuvem de Probabilidade

Fonte: O Autor (2021)

Os estudantes que participaram desta pesquisa podem ser caracterizados quanto a sua forma de trabalhar cognitivamente, para Moreira e Lagreca (1998), estes sujeitos podem ser categorizados em grupos baseados no tipo de modelo mental, construído a partir de um modelo conceitual apresentado previamente ao aluno. A seguir, as categorizações descritas por Moreira e Lagreca (1998) e Arruda (2003): *proposicionalistas*, *modelizadores basicamente proposicionais* e *modelizadores basicamente imagísticos*, estão dispostas e considerando as respostas dos alunos ao questionário.

ALUNO PROPOSICIONALISTA

Esses sujeitos tratam, de forma predominante, os conceitos trabalhados como um estudo de proposições específicas e isoladas, sem a articulação de um modelo mental, os impossibilitando de extrapolar e articular o que aprenderam referente ao modelo conceitual. Assim, trabalhando apenas cognitivamente em uma área específica de conhecimento (ARRUDA, 2003), são indivíduos que sabem as proposições advindas de um modelo conceitual como fórmulas e equações matemáticas, porém possuem extrema dificuldade em compreender e estender tais proposições para explicar a teoria e/ou fenômenos ligados a ela. Na grande maioria, as respostas do questionário aplicado são, em resumo, réplicas do que se encontra em livros de Física básica.

As respostas dos alunos apresentadas a seguir, juntamente com os seus perfis das representações mentais elaboradas por cada um, são exemplos de perfis proposicionalistas.

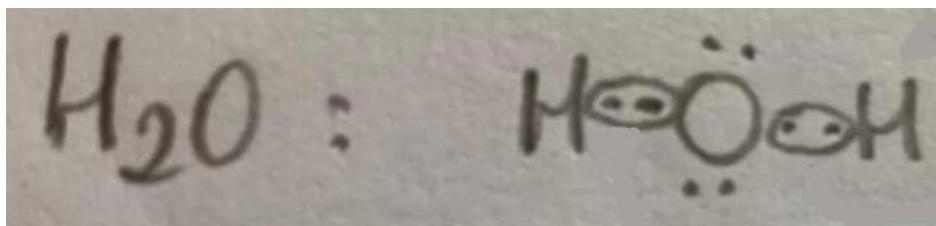
Aluno A:

No questionário, o aluno resolveu a questão 1.4, apresentada a seguir, a partir do modelo conceitual de Lewis ou Fórmula eletrônica. O estudante utilizou um exemplo que, basicamente, se resume a uma proposição não vinculada a modelos, pois sua explicação se resumia a um modelo conceitual aplicado, sem a intenção de explicar nada além disso.

Questão: *Uma molécula é formada pela ligação entre dois ou mais átomos. De acordo com a figura que você selecionou, como você imagina essas ligações? Faça um desenho utilizando o modelo da figura que você selecionou para ilustrar a sua explicação.*

Resposta do aluno A:

Figura 10 – Foto retirada do questionário do aluno A, referente a questão 1.4.



Fonte: O Autor (2021)

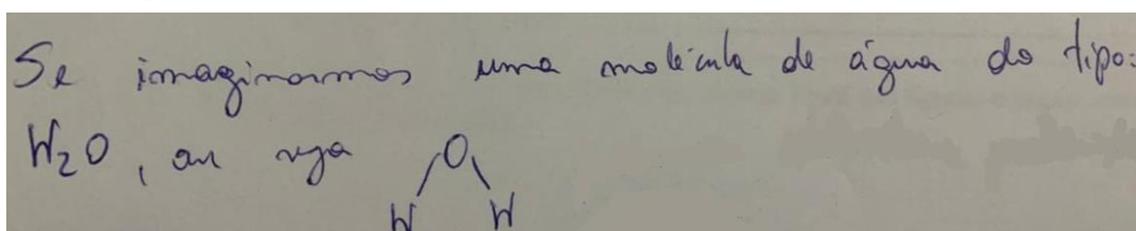
Vejamos na figura 10 que o aluno A utilizou uma fórmula conhecida e específica (H_2O – Molécula de água) para representar a construção de uma molécula, essa representação é conhecida por Fórmula eletrônica, e pode ser encontrada em inúmeros livros de ensino básico, tanto de Física quanto de Química. Assim, tornando sua resolução uma mera associação entre o modelo conceitual e a situação exigida na questão.

Aluno B:

A resposta do aluno B, se assemelha a do aluno A, quando resolve a questão 1.4 a partir do modelo conceitual de Lewis. O estudante também utiliza do exemplo conhecido H_2O , sendo assim uma proposição que não se resumiu a uma modelo conceitual aplicado, não tendo a intenção de explicar nada além disso.

Resposta do aluno B:

Figura 11 – Foto retirada do questionário do aluno B, referente a questão 1.4.



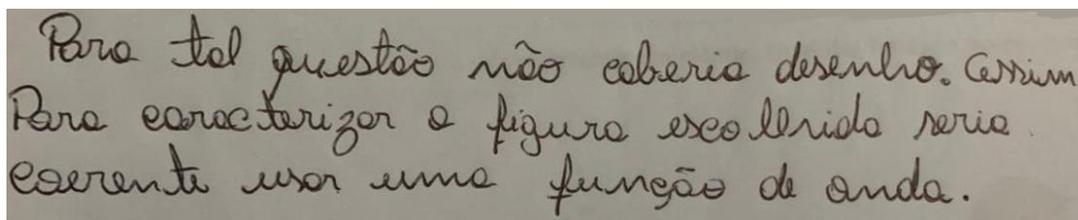
Fonte: O Autor (2021)

Aluno C:

Diferente dos alunos A e B, o aluno C não utilizou um modelo conceitual e acabou se abstendo de ilustrar o que era pedido na questão 1.4. O estudante alegou que a melhor representação para uma molécula seria uma função de onda, se prendendo a uma proposição advinda de uma equação ou de forma gráfica, assim trazendo uma simples menção de um modelo conceitual para explicar a situação proposta pela questão.

Resposta do aluno C:

Figura 12 – Foto retirada do questionário do aluno C, referente a questão 1.4.



Para tal questão não caberia desenho. Corrim,
Para caracterizar a figura escolhida seria
coerente usar uma função de onda.

Fonte: O Autor (2021)

De acordo com as respostas do questionário aplicado, os alunos identificados que se adequaram a essa categoria apresentaram respostas mecânicas, meras reproduções de modelos conceituais encontradas em livros, sugerindo assim que seu aprendizado está disposto de forma arbitrária, não adquirindo um significado para estes sujeitos (MOREIRA, 2011).

Para reforçar a produção dos dados utilizou-se um questionário e neste os alunos deveriam responder algumas questões e construir modelos mentais sobre o átomo. Nos alunos dessa categoria, as respostas das questões abertas indicam que estes estudantes têm, não apenas dificuldade na construção de seus modelos mentais, como também dificuldade de entender os conceitos dos modelos que eles mesmos apontam como a “melhor maneira de representar um átomo”.

É importante ressaltar que o questionário se desenvolve a partir do modelo conceitual de átomo que o aluno acredita ser o mais adequado, as escolas dos alunos estão dispostas na Tabela 1. Após selecionar o modelo ele é questionado sobre determinadas características desse modelo, para que seja avaliado o nível de

conhecimento do aluno e o que o levou a selecionar determinada opção. Todos os alunos dessa categoria seguiram um padrão básico de suas respostas ao longo do questionário. Um exemplo simples foi quando esses alunos foram questionados do porquê que escolheram suas respectivas respostas (quadro 3).

Quadro 3 – Respostas dos alunos A, B e C referente ao problema 1.1 do questionário.

De acordo com a opção escolhida, explique porque você escolheu essa figura em específico para representar o átomo?

Aluno A: *Como se trata de apenas um próton e um elétron, logo não poderia ser a letra a).*

Aluno B: *Porque a figura é semelhante com um átomo.*

Aluno C: *O modelo atômico de Rutherford é o melhor modelo que representa, pois ele é uma representação do sistema planetário, onde o elétron orbita elipticamente ao redor do núcleo.*

Fonte: O Autor (2021)

Por outro lado, na questão 2 do questionário, quando os alunos foram solicitados a explicar o que eles entendiam sobre o conceito de orbital, obtivemos as seguintes repostas, quadro 4.

Quadro 4 - Respostas dos alunos A, B e C referente ao problema 2 do questionário.

O que você entende por orbital?

Aluno A: *Seria o nível quântico (s, p, d, f) referente a energia para cada elétron.*

Aluno B: *Segundo Pauling são as “bandas” (s, p, d, f).*

Aluno C: *É a trajetória que uma partícula ou objeto realiza em volta de um outro objeto de massa dominante ou de maior massa.*

Fonte: O Autor (2021)

Por meio dessas justificativas fica claro que os alunos não dominam de forma satisfatória o conceito proposto, impedindo-os de construir um modelo mental apropriado. Por outro lado, na questão 2 do questionário, quando os alunos foram solicitados a explicar o que eles entendiam sobre o conceito de orbital, obtivemos as seguintes repostas, apresentadas no quadro 4. Isso acontece, pois, a partir do que se vê no referencial teórico sobre aprendizagem significativa, estes alunos se restringiram a uma aprendizagem mecânica, apenas reproduzindo o que existe nos materiais de estudo.

Dando continuidade, na questão 1.2 do questionário, quando os alunos foram solicitados a explicar o que eles entendiam sobre a representação dos elétrons na figura da questão 1, obtivemos as seguintes respostas, mostradas no quadro 5.

Quadro 5 - Respostas dos alunos A, B e C referente ao problema 1.3 do questionário.

O que a circunferência azul representa na figura que você selecionou?

Aluno A: *Representa o elétron em órbita em um nível de energia possivelmente fundamental.*

Aluno B: *Os elétrons, que orbitam o núcleo.*

Aluno C: *O elétron que está em órbita em volta do próton.*

Fonte: O Autor (2021)

De acordo com o quadro 3 vemos que o aluno A, interpreta os pontos azuis como uma infinidade de elétrons orbitando o núcleo, e não como uma área de densidade de probabilidade de se encontrar o elétron, assim, ele opta por escolher o modelo de Rutherford, apenas por eliminação. O aluno B dá uma resposta vaga, mostrando, assim, que reproduziu o modelo que é mais comum nos livros didáticos do ensino médio. Já o aluno C se apropriou da usual analogia ÁTOMO – SISTEMA SOLAR (o núcleo se assemelha com o sol e o elétron com os planetas orbitando o núcleo, assim como os planetas orbitam o sol) como sendo um modelo ideal para representar o átomo.

Ainda assim, o modelo mental do aluno C é qualitativamente superior em relação aos demais, pois ele traz a questão das analogias e das funções de onda. E apesar de ser uma reprodução, ele consegue trazer essas informações para a discussão, algo que os alunos A e B não conseguiram.

Dessa forma, esses alunos trabalharam com proposições isoladas e não foram capazes de transferir os conhecimentos a situações diferentes, mesmo que referente ao conceito trabalhado.

ALUNO MODELIZADOR BASICAMENTE PROPOSICIONAL

Trata-se de alunos que operam de forma articulada, utilizando proposições e regras para construção dos seus modelos mentais. Diferentemente dos alunos proposicionalistas, esses indivíduos não se limitam apenas ao conhecimento de proposições de forma mecânica, mas utilizam as preposições de modelos conceituais sob a forma de regras articuladas, interligando diferentes conceitos referentes ao conteúdo trabalhado, estes possuem a dinâmica de expandir os modelos conceituais a novas propostas de situações (LAGRECA, 1998). De acordo com Borges (1997) o propósito básico dos modelos mentais é compreender a funcionalidade de determinado conceito por parte do sujeito ou, em outros termos, entender, por mais abstrato que seja, o que está sendo estudado. Mesmo que os modelos mentais não sejam os cientificamente mais aceitos, estes alunos constroem modelos que satisfazem aos compromissos de um modelo mental.

Durante a análise das respostas dos questionários, para a identificação desta categoria, foi estabelecido o critério de alunos que partiram de uma proposição para construção dos seus modelos mentais, em outras palavras, primeiro o aluno identifica um modelo conceitual (proposição) e após estabelecer qual proposição se adequa aquela situação ele cria um modelo mental.

Diferente das categorias anteriores, os alunos modelizadores basicamente proposicionais demonstram um potencial significativo no desenvolvimento de sua aprendizagem. Eles conseguem atribuir significado aos modelos conceituais, sabem os limites das representações conceituais e conseguiram estender esse conceito

modificando suas estruturas (AUSUBEL, 2020), dando assim indicativos de ocorrência da aprendizagem significativa.

As respostas dos alunos apresentadas a seguir juntamente com os seus perfis das representações mentais elaboradas por cada um são exemplos de perfis proposicionalistas.

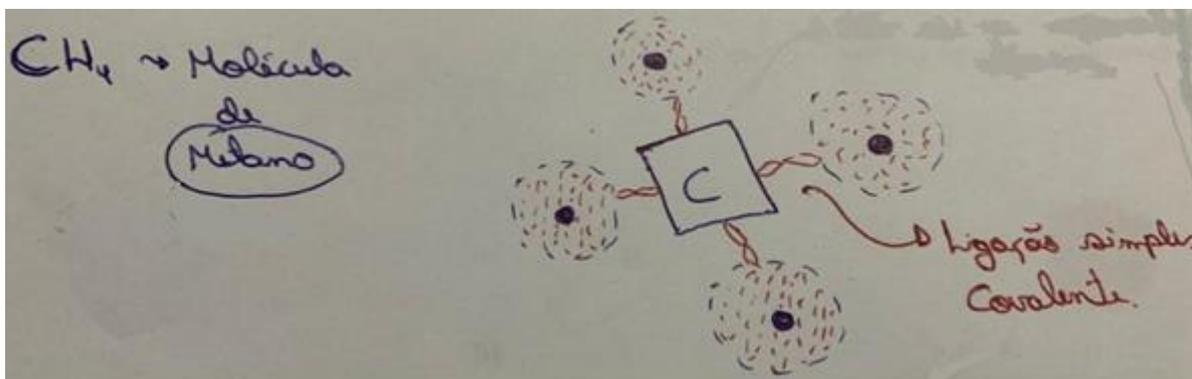
Aluno D:

O aluno resolveu a questão 1.4 apresentada a seguir, utilizando o conhecimento da fórmula eletrônica de uma molécula (CH_4 – Molécula de metano). Apesar de utilizar uma preposição conhecida em livros, e se prender a dar um exemplo isolado de uma molécula específica, o estudante foi além, pois construiu um modelo mental para representar a ligação dos átomos dessa molécula, também identificou o tipo de ligação (covalente).

Questão: *Uma molécula é formada pela ligação entre dois ou mais átomos. De acordo com a figura que você selecionou, como você imagina essas ligações? Faça um desenho utilizando o modelo da figura que você selecionou para ilustrar a sua explicação.*

Resposta do aluno D:

Figura 13 – Foto retirada do questionário do aluno D, referente a questão 1.4.



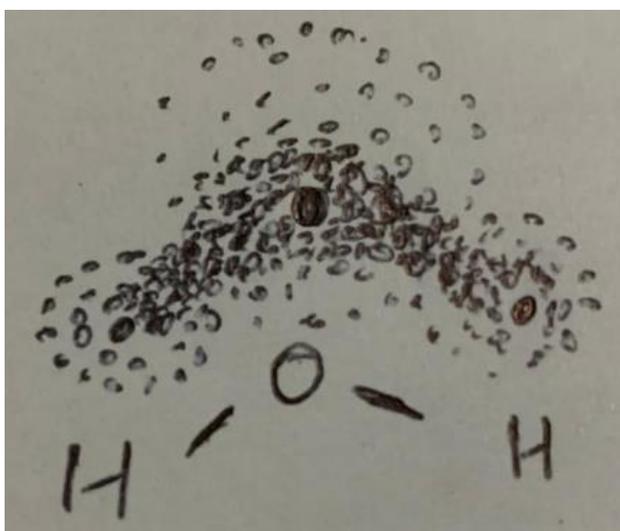
Fonte: O Autor (2021)

Aluno E:

Semelhante ao aluno D, o estudante E interligou a fórmula eletrônica da molécula da água (H_2O) com o modelo conceitual de átomo que selecionou previamente na questão 1 (nuvem de probabilidade). E, a partir disso, construiu um modelo mental para representar a ligação dos átomos dessa molécula.

Resposta do aluno D:

Figura 14 – Foto retirada do questionário do aluno E, referente a questão 1.4.



Fonte: O Autor (2021)

Além disto, o aluno demonstrou um certo domínio do modelo conceitual da nuvem de probabilidade, pois no seu modelo mental houve o cuidado de representar uma área com uma densidade maior de elétrons para indicar o orbital, e isso foi possível de verificar por meio de suas respostas na questão 1.3 e 2, veja a seguir.

Quadro 6 - Respostas dos alunos D e E referente aos problemas 1.3 e 2 do questionário.

O que a circunferência azul representa na figura que você selecionou?

Aluno D: *Representa a região mais provável de encontrar o elétron, regiões mais densas são mais fáceis de encontrar o elétron.*

Aluno E: *Possíveis elétrons.*

O que você entende por orbital?

Aluno D: *É a região do átomo que tem uma maior probabilidade de encontrar o elétron.*

Aluno E: *Região da qual o elétron pode ser encontrado probabilisticamente.*

Fonte: O Autor (2021)

Todos os alunos dessa categoria demonstraram um nível de compreensão satisfatória sobre o fenômeno estudado, para ver isto basta analisar quando eles foram questionados sobre o motivo de escolherem suas respectivas respostas com relação a escolha do melhor modelo atômico, respostas essas dispostas na Tabela 3.

Quadro 7 - Respostas dos alunos D e E referente ao problema 1.1 do questionário.

De acordo com a opção escolhida, explique porque você escolheu essa figura em específico para representar o átomo?

Aluno D: Sendo o elétron representado pela cor azul, pela equação de Schrodinger não sabemos determinar com exatidão a posição do elétron, mas sim uma região de probabilidade.

Aluno E: Pensando que você não pode ter um local específico para encontrar o elétron e sim nuvens de probabilidade, a opção a) representa melhor essa ideia.

Fonte: O Autor (2021)

A partir das respostas reescritas no quadro 5, fica evidente que os alunos não apenas dominam o modelo conceitual proposto e escolhido por eles mesmos encontrados na tabela 3, como são capazes de extrapolar este conceito para novas situações, articulando o que é estudado para novas situações e construindo modelos mentais que se aproximam do que se estuda do modelo conceitual.

Apesar dos modelos mentais dos alunos D e E serem bem distintos (figuras 13 e 14), e não serem necessariamente modelos cientificamente utilizados, eles conseguiram entender e interpretar a situação, manipulando o modelo conceitual e externando isso em forma de um modelo mental que, junto com as demais questões respondidas por eles, tomam forma e sentido para os sujeitos.

Semelhante aos alunos proposicionalistas, os modelizadores basicamente proposicionais trabalharam com proposições, mas não de forma isoladas, mecânica e memorizada. Eles são capazes de interpretar fisicamente os conceitos, e articulam as regras em modelos mentais interligando diferentes conceitos em volta do fenômeno estudado.

ALUNO MODELIZADOR BASICAMENTE IMAGÍSTICOS

São os estudantes que criam seus modelos mentais com presença de analogias, atribuindo significado as imagens (ARRUDA, 2003). Esses alunos se

desapropriam de proposições e pensam além de casos isolados, com um forte poder dedutivo, utilizando imagens e relacionando-as com modelos conceituais sem a necessidade de proposições iniciais. Assim como os modelizadores basicamente proposicionais, resolvem bem os problemas, e possuem um bom conhecimento prévio definido, são capazes de explicar e resolver diferentes situações, estendendo um modelo conceitual para um modelo mental satisfatório.

A categorização dos estudantes imagísticos é algo muito sutil quando comparada com ao modelizadores basicamente proposicionais, pois em ambos há indícios de aprendizagem significativa, e nas duas categorias os alunos conseguem chegar à solução do problema.

O critério nesta pesquisa para identificar os alunos imagísticos foi que, estes alunos, diferentemente dos modelizadores basicamente proposicionais, não partiram de uma proposição para construção de seus modelos, ou seja, eles construíram o modelo mental imaginando a situação proposta, não fizeram menção a nenhuma proposição (tanto nas respostas das questões abertas quanto na resposta da questão de construção do modelo mental) demonstrando apenas um pensamento dedutivo baseado no modelo conceitual que estava sendo estudado.

Assim como na categoria anterior, os alunos conseguem atribuir significado aos modelos conceituais, sabem os limites das representações conceituais e conseguem estender esse conceito para uma nova situação. Indicando que seus conhecimentos prévios são bem elaborados dando suporte a novos conhecimentos, sendo o completo oposto dos alunos proposicionalistas que se restringem a um conhecimento mnemônico, como consequência estes alunos imagísticos se aproximam muito do que sugere a aprendizagem significativa.

Apesar de serem categorias bem distintas (os modelizadores basicamente proposicionais e os imagísticos), pois são alunos que pensam de forma bem diferentes, é extremamente delicado categorizar, como observador, estes alunos, pois a diferença está na forma que o aluno pensa. Se primeiro o aluno forma em sua mente a proposição e parte dela para construção do seu modelo mental ou se primeiro ele constrói a imagem da situação em sua mente e identifica alguma proposição que se adequa aquela situação.

As respostas dos alunos apresentadas a seguir juntamente com os seus perfis das representações mentais elaboradas por cada um são exemplos de perfis proposicionalistas.

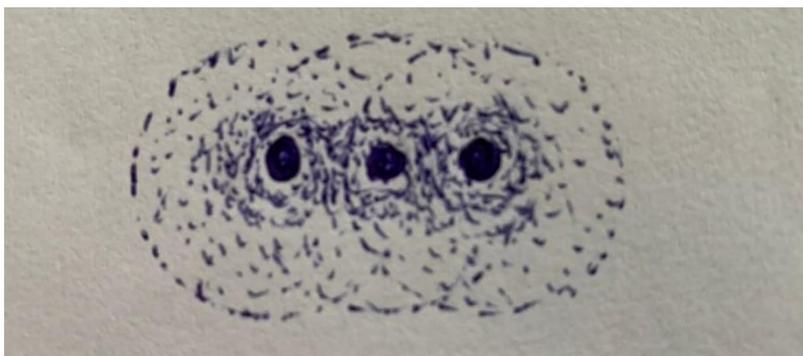
Alunos F e G:

Os alunos resolveram a questão 1.4 utilizando apenas um pensamento dedutivo, ambos não se prenderam a casos específicos como todos das categorias anteriores que se embasaram de proposições advindas de modelos teóricos conceituais e trouxeram exemplos isolados de moléculas de água e metano, estes apresentaram uma solução que se adapta a qualquer situação.

Questão: *Uma molécula é formada pela ligação entre dois ou mais átomos. De acordo com a figura que você selecionou, como você imagina essas ligações? Faça um desenho utilizando o modelo da figura que você selecionou para ilustrar a sua explicação.*

Resposta do aluno F:

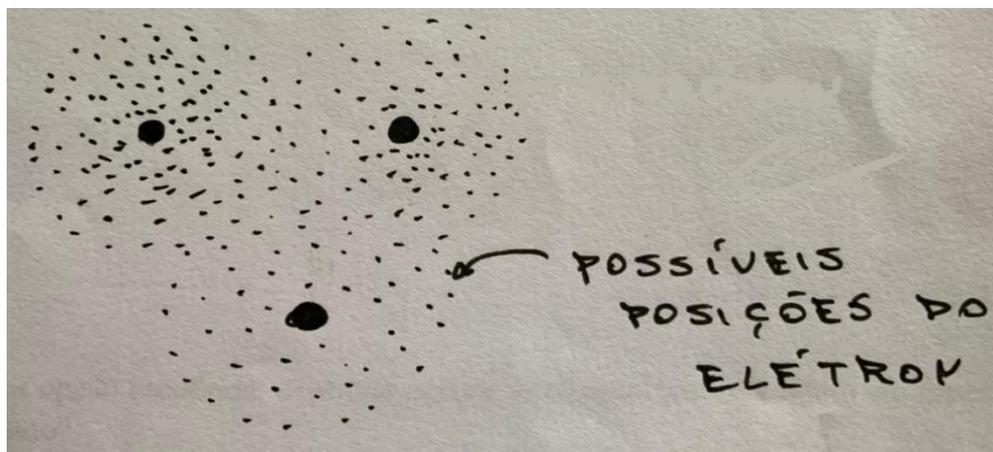
Figura 15 – Foto retirada do questionário do aluno F, referente a questão 1.4.



Fonte: O Autor (2021)

Resposta do aluno G:

Figura 16 – Foto retirada do questionário do aluno G, referente a questão 1.4.



Fonte: O Autor (2021)

Dado que a questão 1.4 pede apenas uma ilustração de uma ligação atômica, esses alunos não se preocuparam em exemplificar com um caso isolado a partir de uma fórmula eletrônica de uma substância e, utilizando o pensamento análogo e dedutivo, imaginou uma extensão do modelo conceitual da questão 1 construindo assim um modelo mental apenas por analogia.

Além da indicação do aluno G, que deixa explícito na sua imagem que entende que a parte pontilhada do modelo conceitual representa umas possíveis posições do elétron. É possível verificar o entendimento desses alunos a partir das respostas dadas nas demais questões.

Quadro 8 - Respostas dos alunos F e G referente ao problema 1.1 do questionário.

De acordo com a opção escolhida, explique porque você escolheu essa figura em específico para representar o átomo?

Aluno F: *O elétron não pode ser realmente identificado e a partir da observação do modelo apresentado na alternativa a) nos mostra algo como uma nuvem de probabilidade.*

Aluno G: *Porque ela dá à posição do elétron uma incerteza em sua posição. Mesmo havendo, na figura, diversos pontos representando o elétron, ao meu ver, eles representam possíveis posições onde o elétron possa estar.*

Fonte: O Autor (2021)

É possível ver no quadro 8 que os alunos F e G utilizam expressões como “ao meu ver” e “a partir da observação” o que indica uma forte característica dedutiva, e apesar de não trazem termos como *nuvem eletrônica* ou mencionarem as equações de Schrodinger, possuem uma compreensão prévia do conceito e conseguem explicar e analisar corretamente a situação apresentada.

Quadro 9 - Respostas dos alunos F e G referente ao problema 1.3 do questionário.

O que a circunferência azul representa na figura que você selecionou?

Aluno F: *A probabilidade do posicionamento do elétron, sendo maior próximo ao núcleo devido a densidade do átomo de hidrogênio.*

Aluno G: *O elétron, único, pois se trata do átomo de hidrogênio.*

Fonte: O Autor (2021)

Em seguida, na questão 2 do questionário, quando os alunos foram solicitados a explicar o que eles entendiam sobre o conceito de orbital, obtivemos as seguintes repostas, quadro 10.

Quadro 10 - Respostas dos alunos F e G referente ao problema 2 do questionário.

O que você entende por orbital?

Aluno F: *Orbital é a região mais provável onde o elétron encontra-se orbitando o núcleo do átomo a um certo nível de energia.*

Aluno G: *É a região que um elétron pode estar.*

Fonte: O Autor (2021)

Mesmo ao fazer modelos mentais semelhantes à categoria dos modelizadores basicamente proposicionais, os imagísticos não se prenderam a nenhum tipo de proposição ou fórmula para construção dos seus modelos mentais e sim interpretando o que o modelo conceitual parecia significar.

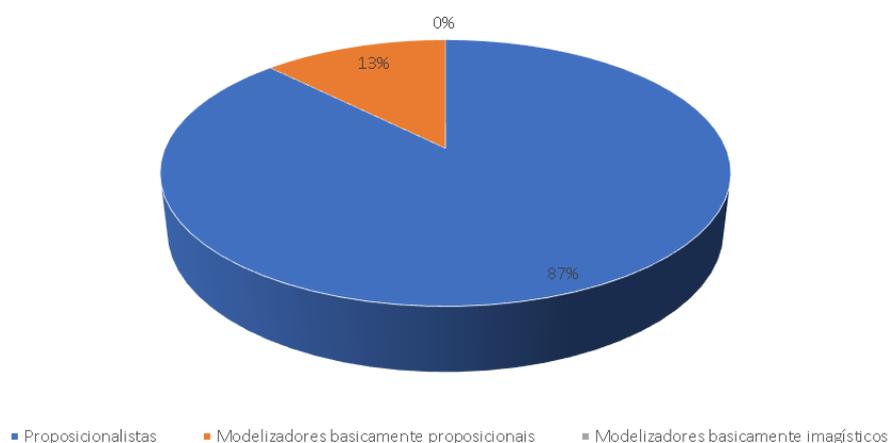
É importante salientar que quando trazemos os conceitos de átomo, são modelos conceituais encontrados na literatura e, ao estimular os alunos a construir um modelo mental de uma molécula, estamos estendendo o modelo conceitual a um modelo mental, ficando à responsabilidade do aluno entender as limitações trazidas por determinados modelos.

Isto gera um indicativo de que, quanto mais elaborado a construção de um modelo conceitual como um organizador prévio (MOREIRA, 2011), mais facilmente o aluno poderá construir modelos mentais de forma a estender os conceitos estudados em novos contextos e situações, minimizando os perfis inteiramente proposicionalistas.

Para explanar os dados analisados, distribuímos em dois gráficos, o primeiro informando estatisticamente as categorias apontadas por Moreira e Lagreca (1998) e Arruda (2003): *proposicionalistas*, *modelizadores basicamente proposicionais* e *modelizadores basicamente imagísticos*, dos alunos que selecionaram o átomo de Rutherford e dos alunos que escolheram a nuvem de probabilidade.

Gráfico 3 – Gráfico da porcentagem de alunos que selecionaram o átomo de Rutherford distribuídos em categorias.

Distribuição das categorias dos alunos que selecionaram o modelo de Rutherford

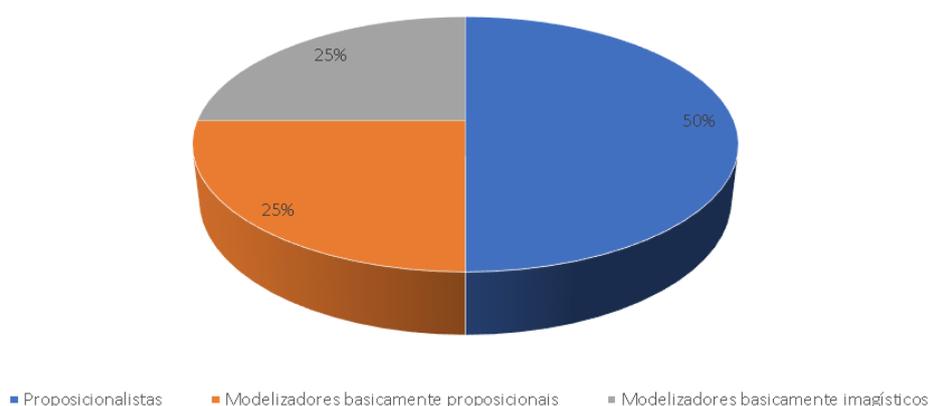


Fonte: O Autor (2021)

Todos os modelos atômicos conceituais têm suas limitações, o átomo de Thomson por exemplo foi totalmente ignorado pelos alunos, mas isto não chega a ser nenhuma novidade. Porém, algo que chama atenção é a limitação que fica clara com o levantamento desses dados no modelo de Rutherford, pois todos os alunos que selecionaram previamente este modelo como a melhor representação de átomo acabou tendo dificuldades tanto em criar o modelo mental de molécula quanto o conceito de orbital. Isto acontece pois quanto mais elaborado o modelo conceitual mais sofisticado é o modelo mental (BORGES, 1996).

Gráfico 4 – Gráfico da porcentagem de alunos que selecionaram o átomo nuvem de probabilidade distribuídos em categorias.

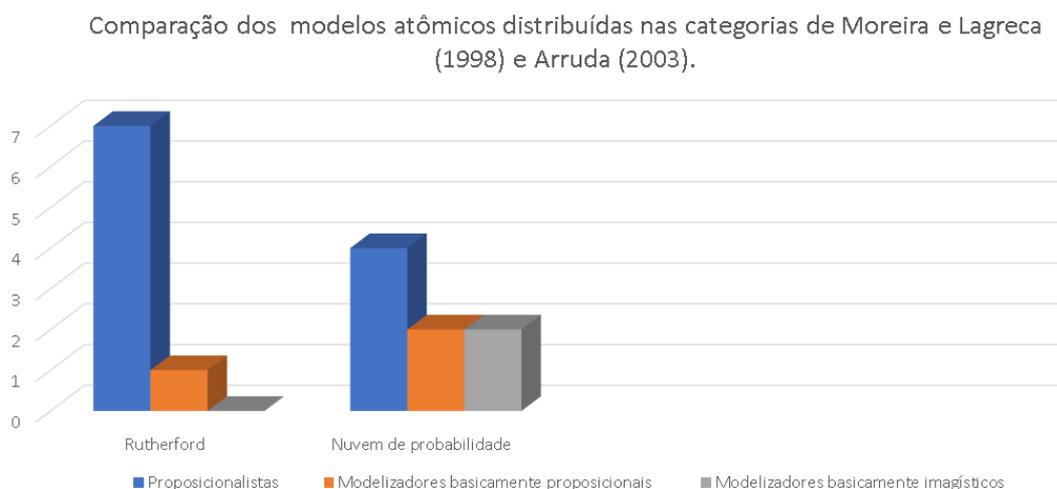
Distribuição das categorias dos alunos que selecionaram o modelo de nuvem de probabilidade



Fonte: O Autor (2021)

Por outro lado, os estudantes que escolheram um modelo conceitual mais instruído e flexível como a *nuvem de probabilidade* mostraram um sensível ganho em desempenho, pois ter um modelo mais elaborado do sistema ajuda os indivíduos a deduzir o funcionamento do sistema e a explicar o seu funcionamento em termos do modelo apresentado (BORGES, 1997).

Gráfico 5 – Comparação da distribuição das categorias referente a escolha dos modelos atômicos.



Fonte: O Autor (2021)

Como apresentado na sessão anterior, a categorização feita levou em conta não apenas o modelo mental, mas todo o entendimento referente ao modelo conceitual, que foi possível analisar por meio das questões textuais. Também é importante salientar que o intuito não era avaliar a validade dos modelos conceituais atômicos, ou seja, não consideramos modelos como *certos* ou *errados*. O que importava nesta análise era o entendimento que o aluno tinha do modelo conceitual e suas limitações e de que forma ele constrói o modelo mental, sendo possível assim, avaliar qual o perfil do aluno baseado na capacidade cognitiva de estender e representar o modelo conceitual em uma situação diferente em forma de modelo mental.

O questionário teve por objetivo investigar o raciocínio utilizado, por meio da construção dos modelos mentais, pelos estudantes do curso de física moderna quando questionados referente a um conteúdo inteiramente abstrato, pois o perfil dos cursos de Física Moderna é, de forma predominante, orientado para resoluções de problemas, deduções de equações e estudo algébrico de propriedades que fazem parte da Física Moderna. Mas além das técnicas matemáticas aprendidas, é indispensável analisar o que se mantém na aprendizagem dos alunos sobre determinados conceitos básicos, como os modelos atômicos e suas propriedades.

No questionário, alguns alunos deixaram a questão 1.4 em branco, demonstrando que não se sentiam confiantes em tentar representar o que foi pedido.

Talvez isso tenha acontecido porque esses alunos não se prepararam previamente para responder um questionário sobre os modelos atômicos especificamente, ou talvez por não terem intimidade com o avaliador (pesquisador responsável por esta pesquisa) e não se sentirem confortáveis em serem avaliados por um “estranho”. Essas adversidades não foram levadas em conta inicialmente, mas ao decorrer do projeto esses detalhes foram surgindo, e não era possível deixar de mencionar que certos aspectos externos a essa pesquisa poderiam influenciar o desempenho dos alunos.

Também foi possível observar que, possivelmente pelo questionário não ser de caráter avaliativo ou, em outras palavras, não fazer parte do critério de aprovação da disciplina, os alunos não se sentiram sujeitos a se dedicar 100% a realização do mesmo.

Assim, possivelmente o déficit encontrado, principalmente, nos alunos com o perfil proposicionalista, vem da falta de subsunções bem elaborados, de forma que esses alunos, ao estudar os conteúdos, não elaboram modelos mentais independentes dos livros e, quando necessário, não são menos propensos a extrair esse “esforço” do seu aprendizado e colocar em prática o que foi aprendido de forma significativa.

Já os alunos basicamente proposicionais e basicamente imagísticos, tem uma facilidade maior em externar o seu aprendizado, pois conseguem relacionar o conceito trabalhado com um modelo mental imaginado no momento de estudo. Pois como apontado por Laird (1983), os modelos mentais mais trabalhosos de se construir, entretanto são mais difíceis de esquecer, e como esses modelos mentais são mais difíceis de esquecer, foram capazes de relacionar muito bem os modelos conceituais trabalhados com o modelo mental criado por eles mesmos.

Sabendo disto, é possível que isso seja um indicativo de que um modelo mental mais organizado e elaborado torne o aprendizado do aluno mais fácil, ajudando-o a compreender diferentes situações em diferentes contextos, sendo capaz de imaginar e explicar o funcionamento de determinado conceito, sem necessariamente aplicar formulas e/ou recorrer a teoremas e/ou leis matemáticas.

6 CONCLUSÃO

Foram trilhados, nas páginas anteriores deste trabalho, diversos campos e conceitos que se entrelaçam e se completam produzindo, de fato, um conteúdo que estabelece uma relação entre o ensino da Física Moderna, no curso superior de Física Licenciatura (Universidade Federal de Pernambuco) e a utilização e construção de modelos mentais de Johnson Laird como instrumento de análise qualitativo de dados para determinar aspectos alusivos à teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, e o seu enquadramento aos perfis cognitivos da teoria dos modelos mentais proposicionalista, modelizador basicamente propocional e modelizador basicamente imagístico.

A relação entre esses campos de estudos foi trabalhada por meio de uma temática fundamental na Física, a dos os modelos atômicos. Apesar da existência de vários modelos ao longo das décadas, destacamos os modelos atômicos de Thomson, de Rutherford e da mecânica quântica, por serem os modelos mais recentes.

Aplicou-se um questionário com os licenciandos em Física, no qual foi solicitado que eles apontassem, dentre os três modelos atômicos sugeridos, qual modelo representa melhor um átomo, seguido de questões argumentativas que o levassem a descrever o átomo, guiando-os, de certa forma, à questão que solicitava a construção de uma molécula baseada no modelo atômico selecionado. Neste ponto da pesquisa os alunos criaram, a partir do conjunto de conhecimentos que eles possuíam, um modelo mental.

Posteriormente, estes modelos mentais foram cuidadosamente analisados, com base nos resultados obtidos a partir das análises descritas e das relações estabelecidas entre os dados e os conceitos fundamentados, inferiu-se que:

- (1) O modelo de Thomson não considerado em nenhuma situação uma representação adequada na visão dos estudantes de licenciatura, entretanto, o modelo de Rutherford que obteve 50% de “aprovação” pelos alunos não foi suficiente para que esses alunos fossem capazes de adaptá-lo e estende-lo ao conceito de molécula. Tornando assim, o modelo conceitual oferecido por Rutherford insuficiente e limitado, impedindo os

alunos de externar e Acrescentar um parágrafo introduzindo o quadro 10 e o que ele apresenta.

- (2) Analisar apenas os modelos mentais não são suficientes para entender como a cabeça dos alunos funcionam, ou quais as significações que eles produzem daquele conteúdo, para isso foi fundamental a utilização das questões discursivas, pois a partir dos argumentos dos alunos foi possível categorizar de que forma o aluno pensa. Assim, foi possível dizer se o aluno faz meras reproduções mecânicas de conteúdos de livros ou se ele demonstra domínio e argumentos completos, fazendo uma relação do problema com conteúdos pertencentes à área de conhecimento. Entretanto, haveria uma maior densidade nos dados caso houvesse questões com proposições referente a propriedades e o comportamento dos átomos, e não apenas a sua composição.
- (3) A utilização dos modelos mentais proposta por Johnson Laird (1983) apresenta-se como um bom método de classificação e análise para aprendizagem significativa. Porém em alguns casos apresentou-se como abstrata com relação a análise da compreensão dos modelos mentais construídos, pois algo que nasce na mente do ser humano não é simples de compreender, pois quando se pede a uma pessoa para externar o que ela está pensando existe uma infinidade de fatores que irão influenciar a mente daquele ser humano, um exemplo disto é o a “tensão” gerada em alunos quando estão sendo avaliados, isto era possível de ser observado quando alguns alunos deixaram a questão, em que pedia-se para eles desenharem um molécula, em branco. Dessa maneira, possivelmente mais ferramentas de análise como entrevistas, ou construção de modelos mentais comentadas oralmente possibilite uma maior compreensão da mente do aluno, ajudando assim a refinar ainda mais a categorização desses perfis cognitivos e da aprendizagem significativa.

Deve-se considerar que a teoria dos modelos mentais de Johnson Laird assim como a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel é, em sua essência, um conceito geral, assim a necessidade de outros autores, que pesquisam e fazem uso de suas teorias, essencial. Um exemplo disto, são os perfis cognitivos apontados por

Lagreca e Moreira, que ajudam a categorizar características específicas diante de um modelo mental, possibilitando clareza nos dados.

Assim, as características dos alunos com perfis cognitivos proposicionalista, modelizador basicamente propocional e modelizador basicamente imagístico se relacionam com os aspectos mais fundamentais da aprendizagem significativa, é possível observar conceitos como os de subsunçores e organizadores prévios em ação ao analisar as respostas dos alunos e como eles constroem e avaliam os conceitos, assim como da aprendizagem mecânica, quando os alunos faziam meras reproduções e apenas repetiam conceitos impressos em livros, algo inesperado para pesquisa, e isso só foi possível de analisar a partir dos modelos mentais que os alunos criaram durante o questionário.

Em conclusão, as inferências feitas nesta pesquisa em consonância com os resultados observados, analisados e classificados, tornou possível vislumbrar possibilidades de pesquisas futuras que considerem: novos instrumentos de análise além de questionários, uma relação da construção de modelos mentais com modelos de analogia, as analogias como forma de organizador prévio para potencializar os modelos mentais como forma de aprendizagem significativa, na busca de mais uma forma de parametrizar a avaliação da aprendizagem significativa de conceitos de Física.

REFERÊNCIAS

ARRUDA, D. M. **Modelos mentais**. Nota técnica. Instituto nacional de tecnologia – Ministério da ciência e tecnologia, 2003.

ASIMOV, Isaac. **A short history of chemistry**. New York: Doubleday, 1965.

AUSUBEL, D.P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, J. **Psicologia Educacional**. Rio de Janeiro: Interamericanas, 1980.

AUSUBEL, D.P. **The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2000.

BACHELARD, G. **A epistemologia**. Tradução de Fátima Lourenço Godinho e Mário Carmino Oliveira. Lisboa, Portugal: Edições 70, 2006.

BOGDAN, R.; BIKLEN, S. **Investigação Qualitativa em Educação**. Porto: Porto Editora, 1994.

BORGES, A. T. Um estudo de modelos mentais. **Investigações em Ensino de Ciências**. V2(3), pp. 207-226, 1997.

BUNGE, M. **Teoria e Realidade**. São Paulo: Editora Perspectiva. 1974.

BUNGE, M. Concepts of model. In: **Method, model and matter**. Springer Netherlands, p. 91- 113, 1973.

ERROBIDART, N. C. G, *et al.*: Modelos mentais e representações utilizadas por estudantes do ensino médio para explicar ondas. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias** Vol. 12, Nº 3, 440-457, 2013.

FIOLHAIS, C.; TRINDADE, J. Ensino no computador: o computador como uma ferramenta no Ensino e na Aprendizagem das Ciências Físicas. In: **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, pp. 259 – 272, 2003.

HALLIDAY, David. RESNICK, Robert. WALKER, Jearl. **Fundamentos da física volume 4: óptica e física moderna**. Rio de Janeiro, LTC, 2008.

HARTWIG, D. R. SOUZA, E. M. Nascimento, R. **Química: geral e inorgânica**. São Paulo: Scipione, 1999.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

HOFFMANN, J. **Avaliar para promover**. Porto Alegre: Mediação, 2001.

JOHNSON-LAIRD, P.N. **Mental models**. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

JOHNSON-LAIRD, P.N. (1989). Mental models. In Posner, Michael I. (Ed.) **Foundations of cognitive science**. Cambridge, MA: The MIT Press. pp. 469-449

JUNIOR, N. V. COLVARA, L. D. Os modelos mentais de alunos em relação a vetores em duas e três dimensões: uma análise da dinâmica da aprendizagem e da inadequação das avaliações tradicionais. **Ciências & Cognição**. Vol 15 (2): 055-069, 2010.

LAGRECA, M. C. B. MOEIRA, M. A. Tipos de Representações Mentais Utilizadas por Estudantes de Física Geral na Área de Mecânica Clássica e Possíveis Modelos Mentais nessa Área. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 21, n.1, p, 202-215, mar, 1999.

LOPES, B. E. R. GOMES, B. M. Dos filósofos gregos à Bohr: Uma revisão histórica sobre a evolução dos modelos atômicos. **Revista Ifes Ciência**, v.4, n.2, 2018.

LUCKESI, C. C. **Avaliação da Aprendizagem Escolar: Estudos e Proposições**. 2ª ed. São Paulo: Cortez, 2002.

MACEDO, M. U. CARVALHO, A. **Química**. São Paulo: IBEP, 2000

MACHADO, J. BRAGA, M. A conceitualização de modelos em física: aproximações e distanciamentos entre as visões de Mario Bunge e Gérard Vergnaud. **Pesquisa em Educação em Ciências**, 2020.

MAYER, R.E. **Models for understanding**. Review of Educational Research, Vol. 59, pp. 43-64, 1989.

MONTEIRO M. A.; NARDI R.; BASTOS FILHO J. B. **Dificuldades dos professores em introduzir a física moderna no ensino médio: A necessidade de superação da racionalidade técnica nos processos formativos. Ensino de ciências e matemática. temas sobre a formação de professores** [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: LF Editora. 2011.

MOREIRA, M.A. Modelos mentais. **Investigações em Ensino de Ciências**, 1(3): 193-232, 1996.

MOREIRA, M. A. LAGRECA, M. C. B. Representações mentais dos alunos em mecânica clássica: três casos. **Investigações em Ensino de Ciências**, V3(2), pp. 83-106, 1998.

MOREIRA, M. A., MASINI, E. A. F. S. **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

MOREIRA M. C.; OSTERMANN F. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física moderna e contemporânea no ensino médio". **Investigação em ensino de ciências**. v. 5, 2001.

OLIVEIRA, K. J. V. Prova: instrumento avaliativo antigo, mas abordado em uma perspectiva construtivista. In: **Revista Educação Pública**, v. 17, ed. 23, pp. 1 – 15, 2017.

PAZ, A. M. Modelos conceituais: A construção de modelos mentais na escola. **PPGECT/UFSC/SC**, 2005.

PARTINGTON, James Riddick. **A short history of chemistry**. Courier Corporation, 1960.

PEDUZZI, Luiz OQ. Do átomo grego ao átomo de Bohr. Florianópolis: **Departamento de Física/UFSC**, 2005

PERRENOUD, P. **Avaliação – da excelência à regulação das aprendizagens: entre duas lógicas**. Porto Alegre: ArtMed, 1999.

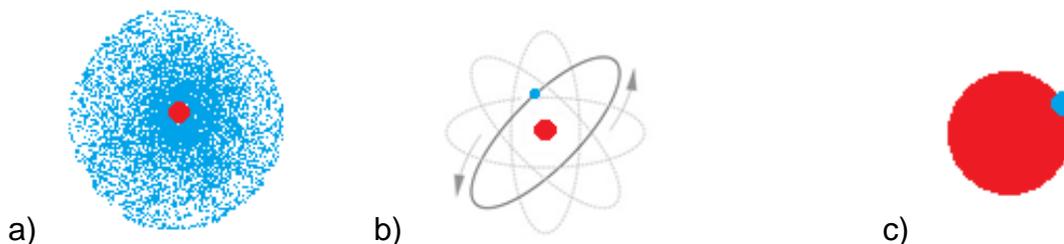
SANTOS A. C.; NASCIMENTO S. D.; SOUZA D. N. Ensino de física moderna: Perspectivas e desafios sob o olhar de alguns professores de física do ensino médio. In: **Scientia Plena**. vol. 12, 2016.

STERNBERG, R. J. **Cognitive Psychology**. Fouth Worth, TX: Harcourt Brace College Publishers. 555p, 1996.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO

Algo a ser destacado é que nenhum modelo atômico das imagens do questionário está em escala, pois representar as distâncias e as dimensões entre o núcleo e os elétrons seria inviável dado a proposta da pesquisa.

1) Um átomo de hidrogênio é composto por um próton e um elétron. Qual das figuras a seguir você considera que melhor representa esse átomo?



- 1.1) De acordo com a opção escolhida, explique porque você escolheu essa figura em específico para representar o átomo?
- 1.2) O que a circunferência laranja representa na figura que você selecionou?
- 1.3) O que a circunferência azul representa na figura que você selecionou?
- 1.4) Uma molécula é formada pela ligação entre dois ou mais átomos. De acordo com a figura que você selecionou, como você imagina essas ligações? Faça um desenho utilizando o modelo da figura que você selecionou para ilustrar a sua explicação.

2) O que você entende por orbital?

ANEXO A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO



UNIVERSIDADE
FEDERAL
DE PERNAMBUCO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(PARA MAIORES DE 18 ANOS OU EMANCIPADOS)

Convidamos o (a) Sr. (a) para participar como voluntário (a) da pesquisa **MODELOS MENTAIS E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: ÁTOMOS E MOLÉCULAS PARA ESTUDO DE CASO COM LICENCIANDOS DE FÍSICA EM CURSO DE FÍSICA MODERNA**, que está sob a responsabilidade do pesquisador Saulo José de Barros Júnior, residente à Rua Santa Maria da Boa Vista, nº 296, Bairro Boa Vista 2 - Caruaru/PE – CEP 55.038-190 – Contatos: (81) 99819-2123 (Disponível para ligações a cobrar se necessário), e-mail: saulo.b.junior@gmail.com. Esta pesquisa está sob a orientação do Prof^o Dr. Augusto Cesar Lima Moreira, Contatos: (81) 99667-5543, e-mail: aclm.ufpe@gmail.com.

Todas as suas dúvidas podem ser esclarecidas com o responsável por esta pesquisa. Apenas quando todos os esclarecimentos forem dados e você concorde com a realização do estudo, pedimos que rubriche as folhas e assine ao final deste documento, que está em duas vias. Uma via lhe será entregue e a outra ficará com a pesquisadora responsável.

O (a) senhor (a) estará livre para decidir participar ou recusar-se. Caso não aceite participar, não haverá nenhum problema, desistir é um direito seu, bem como será possível retirar o consentimento em qualquer fase da pesquisa, também sem nenhuma penalidade.

INFORMAÇÕES SOBRE A PESQUISA:

Esta pesquisa faz parte da dissertação de mestrado que está sendo desenvolvida no programa de Pós-graduação em Educação em Ciências e Matemática e tem como objetivo investigar as significações que professores de Física em formação realizam no estudo da componente curricular Física Moderna I, no que diz respeito aos conceitos mais abstratos de Probabilidade em Física Quântica, ao utilizar modelos de analogia, de forma a contribuir para o preparo da formação oferecida por cursos de Licenciatura em Física. A coleta de dados será realizada por meio de questionários no formato de questões objetivas e dissertativas aplicados antes do início do curso e após seu término afim de analisar o amadurecimento dos participantes com relação a visão principal da pesquisa, testes específicos dissertativos e objetivos aplicados por através do Google Classroom. A coleta acontecerá na Universidade Federal de Pernambuco- Campus Agreste, especificamente considerando os licenciandos do curso de Física-Licenciatura, porém acontecerá de forma remota seguindo a Resolução CEPE nº 08/2020, que regulamenta o Calendário Acadêmico Suplementar (CAS) para os cursos presenciais de graduação na Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, frente ao contexto de Pandemia da Covid-19. A coleta de dados será feita no primeiro período de 2021, intitulado 2021.1, totalizará 8 encontros a serem realizados durante os meses de fevereiro e março.

Nesta pesquisa os riscos apresentados são, sendo apenas um possível constrangimento, ansiedade,

insegurança ou incômodo durante a produção de dados por meio da observação realizadas no ambiente virtual ou por não se sentirem à vontade para responder algum questionamento da entrevista ou teste referente ao conteúdo da pesquisa. Para minimizar esses riscos explicaremos com clareza os procedimentos e a finalidade da pesquisa, garantindo o sigilo da identidade dos participantes e das informações coletadas e esclareceremos que os dados somente serão utilizados para os fins dessa pesquisa científica. Iniciaremos as observações em sala de aula antes de dar início ao processo de produção dos dados, afim de que os sujeitos se acostumem com a presença do pesquisador, deixando dessa forma o participante livre para responder ou não a algum questionamento que julgue constrangedor. Caso venha a ocorrer alguma dessas situações interromperemos o trabalho para ser realizado em outro momento e garantiremos a todos os participantes da pesquisa que poderão retirar o consentimento para participação, a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

Como benefício desta pesquisa considera-se que a partir do estudo sobre o uso dos modelos de analogia como forma de organizador prévio, os participantes possam refletir sobre sua prática docente, aprendendo o uso técnico e específico da analogia, levando essas novas estratégias para sala de aula do ensino básico e para o seu uso pessoal de estudo. Assim como adotar novos métodos que possibilitem ao estudante assimilar bem o conteúdo estudado e melhorando sua prática, se tornando capaz de dominar os conteúdos ministrado de forma diferenciada, sendo levado a refletir, formular estratégias, verificar suas conclusões e assim construir conceitos físicos e pensamentos análogos adequados aos conceitos estudados.

Esclarecemos que os participantes dessa pesquisa têm plena liberdade de se recusar a participar do estudo e que esta decisão não acarretará penalização por parte dos pesquisadores. Todas as informações desta pesquisa serão confidenciais e serão divulgadas apenas em eventos ou publicações científicas, não havendo identificação dos voluntários, a não ser entre os responsáveis pelo estudo, sendo assegurado o sigilo sobre a sua participação. Os dados coletados nesta pesquisa, ficarão armazenados em pastas de arquivos, HD externo e no computador pessoal do pesquisador, sob a responsabilidade do pesquisador Saulo José de Barros Júnior, no endereço: Rua Santa Maria da Boa Vista, nº 296, Bairro Boa Vista 2 - Caruaru/PE – CEP 55.038-190, pelo período mínimo de 5 anos após o término da pesquisa.

Nada lhe será pago e nem será cobrado para participar desta pesquisa, pois a aceitação é voluntária, mas fica também garantida a indenização em casos de danos, comprovadamente decorrentes da participação na pesquisa, conforme decisão judicial ou extra-judicial. Se houver necessidade, as despesas para a sua participação serão assumidas pelos pesquisadores (ressarcimento de transporte e alimentação).

Em caso de dúvidas relacionadas aos aspectos éticos deste estudo, o (a) senhor (a) poderá consultar o Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos da UFPE no endereço: (**Avenida da Engenharia s/n – 1º Andar, sala 4 - Cidade Universitária, Recife-PE, CEP: 50740-600, Tel.: (81) 2126.8588 – e-mail: cephumanos.ufpe@ufpe.br**).

CONSENTIMENTO DA PARTICIPAÇÃO DA PESSOA COMO VOLUNTÁRIO (A)

Eu, _____, CPF _____, abaixo assinado, após a leitura deste documento e de ter tido a oportunidade de conversar e ter esclarecido as minhas dúvidas com a pesquisadora responsável, concordo em participar do estudo: **MODELOS MENTAIS E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA: ÁTOMOS E MOLÉCULAS PARA ESTUDO DE CASO COM LICENCIANDOS DE FÍSICA EM CURSO DE FÍSICA MODERNA,** como voluntário (a). Fui devidamente informado (a) e esclarecido (a) pela pesquisadora sobre a pesquisa, os procedimentos nela envolvidos, assim como os possíveis riscos e benefícios decorrentes de minha participação. Foi-me garantido que posso retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem que isto leve a qualquer penalidade.

- () Li o TCLE e concordo em participar como voluntário(a)
() Li o TCLE e não concordo em participar como voluntário(a)