

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



Plínio Giorgio Arruda da Silva

FÍSICA MODERNA PARA O ENSINO MÉDIO: RELATO DE UMA EXPERIÊNCIA

Garanhuns

novembro – 2015

Plínio Giorgio Arruda da Silva

FÍSICA MODERNA PARA O ENSINO MÉDIO: RELATO DE UMA EXPERIÊNCIA

Dissertação de mestrado apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da UFRPE como requisito para a obtenção parcial do grau de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Caio Veloso Sátiro
Doutor em Física - UFPB

Garanhuns
novembro – 2015

Plínio Giorgio Arruda da Silva

FÍSICA MODERNA PARA O ENSINO MÉDIO: RELATO DE UMA EXPERIÊNCIA

Dissertação de mestrado apresentada ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da UFRPE como requisito para a obtenção parcial do grau de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

BANCA EXAMINADORA

Caio Veloso Sátiro
Doutor em Física - UFPB

Alberto Einstein Pereira de Araújo
Doutor em Física - UFPE

Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez
Doutor em Física - UFPE

Garanhuns
novembro – 2015

Agradecimentos

Gostaria de primeiramente agradecer a Deus por me ajudar a ter superado todas as dificuldades que foram postas no meu caminho bem como também a cada conquista.

Aos meus pais Marcos e Vera, aos meus irmãos Polline e Priscilla, a minha esposa Silvia que esteve ao meu lado e me apoiou para que eu não desistisse e aos meus filhos, Jéssica, Thalles e Lara.

Aos amigos de trabalho Leonardo Moura, Luis Augusto, Alda Cabral, Betânia Mello, Carlos Alberto, Saulo de Tarso, Gerson Souza, Litz Mozart, Marcela Pessoa e Lucas Chagas, que de alguma forma me ajudaram a conquistar este tão sonhado título de mestre.

A todos os colegas do programa: Maurício, Ronaldo, Raphael, Altenis, Marcos, Vanailson, Michelle, Moisés, Ozaías, Mário e Nívio.

Aos meus alunos do 3º Ano do ensino médio e do pré-vestibular do Colégio 3º Milênio, que contribuíram para esta pesquisa, com muita dedicação e empenho.

Por fim ao meu orientador Caio Sátiro, que me deu toda sua confiança e paciência, me ensinando a ser um professor ainda melhor e ajudando a contribuir para o ensino de Física de nosso país.

A todos vocês o meu muito obrigado.

Resumo

O ensino de Física nas escolas de ensino médio vem a cada ano se tornando desvinculado com a sociedade moderna e tomando rumos que não tem acompanhado os avanços tecnológicos que estão presentes no cotidiano de nossos alunos. Vivenciamos uma era de onde grande parte da base tecnológica está fundamentada em temas de Física Moderna como a Relatividade Restrita ou Especial e a Mecânica Quântica. Fazer com que nossos alunos sintam motivação para aprender Física, tem sido desafiador para nós professores, pois a maioria deles enxergam a Física como um emaranhado de fórmulas que servem apenas para resolver problemas de movimentos retilíneos uniformes e variados, aplicações das leis de Newton, termologia, óptica e circuito simples. Nas escolas, os professores utilizam uma sequência pedagógica de descendência estrangeira, tal que temas como: relatividade, átomo de Bohr, efeito fotoelétrico, dualidade onda-partícula, princípio da incerteza, entre outros não vem sendo abordados em sala de aula pelos nossos professores. Este projeto apresenta uma proposta para dar suporte ao professor trabalhar alguns tópicos de Física Moderna com seus alunos do ensino médio. Muitas vezes, a maioria dos professores não discutem esses temas por falta de tempo, a má formação em algumas licenciaturas e também por não ter um bom embasamento teórico. Visando ajudá-los, o nosso objetivo é oferecer uma base teórica sobre Relatividade e Mecânica Quântica fundamentado na epistemologia de Thomas Kuhn e a aprendizagem significativa de David Ausubel. Nesta proposta está incluso um texto de apoio ao professor bem como a sugestão de vídeos e simulações computacionais como organizadores prévios, possibilitando uma melhor interação entre o professor e o aluno para que o mesmo possa alcançar a transposição didática com o intuito de obter bons resultados de aprendizagem.

Palavras chave: Física Moderna, proposta pedagógica, relatividade e mecânica quântica.

Abstract

The teaching of physics in secondary schools comes every year become disconnected with modern society and taking directions that have not followed the technological advances that are present in the daily lives of our students. We live in an era where much of the technological base is based on themes of modern physics like relativity or quantum mechanics and special. To make our students feel motivated to learn physics, has been challenging for us teachers, since most of them they see physics as a tangle of formulas that serve only to solve problems of uniform and varied rectilinear motions, applications of Newton's laws, thermology , optics and simple circuit. In schools, teachers use a teaching sequence of foreign descent, such that subjects such as relativity, Bohr atom, photoelectric effect, wave-particle duality, uncertainty principle, among others has not been addressed in the classroom by our teachers. This project presents a proposal to support teacher work some topics of modern physics with their high school students. Often, most teachers do not discuss these issues for lack of time, poor training in some degrees and also for not having a good theoretical foundation. Aiming to help them, our goal is to provide a theoretical basis about Relativity and Quantum mechanics based on the epistemology of Thomas Kuhn and meaningful learning of David Ausubel. This proposal is included a text teacher support as well as the suggestion of videos and computer simulations as previous organizers, enabling better interaction between the teacher and the student so that it can reach the didactic transposition in order to get good results learning.

Key words: modern physics, pedagogical proposal, relativity and quantum mechanics

Sumário

1	INTRODUÇÃO	8
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E EPISTEMOLÓGICA	13
2.1	Introdução	13
2.1.1	Um breve relato sobre Thomas Kuhn	13
2.1.1.1	As revoluções científicas na visão de Thomas Kuhn	14
2.1.2	Um breve relato sobre David Ausubel	16
2.1.2.1	A aprendizagem significativa de Ausubel	17
2.1.3	Utilizando mapas conceituais como ferramenta de aprendizagem	19
3	METODOLOGIA DA PESQUISA	22
	Metodologia	22
3.1	Introdução	22
3.2	Desenvolvimento da pesquisa	23
3.2.1	Primeiro encontro	23
3.2.2	Segundo encontro	25
3.2.3	Terceiro encontro	28
3.2.4	Quarto encontro	29
3.2.5	Quinto encontro	32
3.2.6	Sexto encontro	33
3.2.7	Sétimo encontro	36
3.2.8	Oitavo encontro	37
3.2.9	Nono encontro	39
3.2.10	Décimo encontro	43
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1	Introdução	44
4.2	Análise dos mapas conceituais sobre Relatividade Restrita	45
4.2.1	Mapa conceitual 1	45
4.2.2	Mapa conceitual 2	46
4.2.3	Mapa conceitual 3	46
4.2.4	Mapa conceitual 4	47
4.2.5	Mapa conceitual 5	48
4.2.6	Análise geral dos mapas conceituais sobre Relatividade	48
4.2.7	Análise dos resultados do pós-teste	48

4.3	Análise dos mapas conceituais sobre Mecânica Quântica	49
4.3.1	Mapa conceitual 1	50
4.3.1.1	Redação dos alunos do mapa 1	50
4.3.1.2	Comentário sobre a redação dos alunos do mapa 1	51
4.3.2	Mapa conceitual 2	51
4.3.2.1	Redação dos alunos do mapa 2	52
4.3.2.2	Comentário sobre a redação dos alunos do mapa 2	52
4.3.3	Mapa conceitual 3	53
4.3.3.1	Redação dos alunos do mapa 3	53
4.3.3.2	Comentário sobre a redação os alunos do mapa 3	53
4.3.4	Mapa conceitual 4	54
4.3.4.1	Redação dos alunos do mapa 4	54
4.3.4.2	Comentário sobre a redação os alunos do mapa 4	55
4.3.5	Mapa conceitual 5	55
4.3.5.1	Redação dos alunos do mapa 5	56
4.3.5.2	Comentário sobre a redação do mapa 5	56
4.3.6	Análise geral dos mapas conceituais sobre Mecânica Quântica	57
4.3.7	Análise dos resultados do pós-teste	57
4.4	Síntese final	59
5	CONCLUSÃO	61
	REFERÊNCIAS	64
	APÊNDICES	65
	APÊNDICE A – PRÉ-TESTE 1	66
	APÊNDICE B – PRÉ-TESTE 2	67
	APÊNDICE C – PRÉ-TESTE 3	68
	APÊNDICE D – 1º PÓS-TESTE	69
	APÊNDICE E – 2º PÓS-TESTE	74
	APÊNDICE F – PRODUTO DA DISSERTAÇÃO	78

1 Introdução

A comunidade científica sofreu uma grande reviravolta no tocante ao surgimento de novas teorias que revolucionaram as concepções clássicas no universo da Física. Com a modificação nos conceitos de tempo, espaço, massa e energia, Albert Einstein apresentou ao mundo uma de suas teorias que hoje serve de base para estudo de movimento de corpos que se deslocam com velocidade próxima a da luz, provando que os conceitos clássicos deveriam ser reformulados. A relatividade restrita de Einstein é hoje utilizada como um dos princípios funcionais do GPS(Global Positioning System). Anterior a Einstein, no ano de 1900, o físico alemão Max Planck propõe uma nova teoria que explica de forma satisfatória o espectro de emissão do corpo negro, marcando assim o nascimento da Mecânica Quântica. A Relatividade Restrita e Mecânica Quântica fazem parte do que chamamos de Física Moderna. Apesar de ser do início do século, a Física Moderna e Contemporânea (FMC) como é conhecida, ainda não é muito difundida nas aulas de física no ensino médio. Com um currículo desatualizado nas escolas de nível médio, os professores de Física têm usado suas aulas para aprofundar em temas como cinemática, aplicações da leis de Newton (como plano inclinado por exemplo), terminologia e circuitos simples. Isso mostra que trabalhar conceitos de Relatividade Restrita e Mecânica Quântica ainda estão longe de acontecer em algumas escolas de nosso país. O ensino de FMC para alguns professores do ensino médio tem sido muito desafiador e também complexo, devido a abstração das teorias, dos modelos experimentais e do embasamento teórico e matemático.

Apesar de sabermos da existência de todos esses obstáculos, devemos transmitir para o aluno a importância do tema, pois para (MOREIRA, 2000) é imprescindível que o estudante do ensino médio conheça os fundamentos da tecnologia atual, já que ela atua diretamente em sua vida e pode definir seu futuro profissional. A inserção dos conceitos básicos de FMC é de grande relevância para os alunos do nível médio fazendo com que o professor possa ensinar de forma significativa interligando a física da sala de aula com a física do cotidiano. Os alunos do ensino médio, mostram-se motivados a conhecer como funciona algumas tecnologias que estão presentes no seu dia a dia, na qual podemos destacar algumas delas como o GPS, a computação quântica, sensores fotoelétricos, entre outros. Todos esses exemplos necessitam da compreensão dos conceitos fundamentais de FMC e de sua importância para a sociedade de uma forma geral.

Apesar disso, alguns docentes ministram em suas aulas temas de FMC nas escolas de nível médio. De uma forma ou de outra, é sabido das dificuldades encontradas em algumas escolas como o número reduzido de aulas e também da insegurança por parte dos professores sobre o assunto. Todavia o professor deve incentivar seus alunos para que eles atentem para a importância desta ciência em suas vidas e tentar modificar a concepção de

que o ensino de Física se resume apenas a aplicações de fórmulas e resolução de problemas.

A relatividade einsteiniana possui um certo grau de dificuldade de ser trabalhada com os alunos do ensino médio devido a abstração das teorias, que de certa forma é acompanhada de modelos mentais que o próprio Einstein utilizava para explicar, ou seja, não havia comprovações experimentais. O experimento de Michelson e Morley, que é usado nos livros, passa uma ideia de que foi importante para a concretização da relatividade restrita no qual o mesmo só comprova a não existência de um meio (éter) que seria necessário para a propagação da luz. A nova concepção de conceitos como espaço e tempo, que na visão clássica eram tidos como absolutos, vem a confrontar com o senso comum a ideia de que agora eles não são mais absolutos e sim dependem do referencial. A quebra deste paradigma, para a ciência vigente, foi de difícil aceitação, pois não havia naquela época experimentos que comprovassem sua veracidade e talvez por isso Einstein não tenha contemplado o Prêmio Nobel pela relatividade restrita e geral. Porém a Mecânica Quântica, possui conceitos que são melhor compreendidos pelos alunos quando comparado com a relatividade restrita, e suas comprovações experimentais obtiveram êxito pela facilidade da interpretação, no qual se utiliza uma abordagem matemática simples, isto faz com que a aprendizagem dos alunos se torne mais fácil. A teoria quântica surgiu com o físico Max Planck em 1900, onde o mesmo propõe que a emissão e a absorção da radiação do corpo negro não se dão de forma contínua e sim discreta com uma quantidade mínima de energia ΔE no qual ele define como *quantum de energia* onde a mesma era proporcional a frequência da radiação dada pela equação $E = h\nu$, no entanto só obteve sucesso e aceitação pela comunidade científica após ter sido utilizada, pela primeira, para explicar o efeito fotoelétrico por Einstein em 1905. Um outro exemplo que podemos tomar sobre a comprovação da teoria quântica é o modelo do átomo de Hidrogênio, no qual Bohr após ter se aprofundado no campo da espectroscopia e com o conhecimento da quantização da energia e depois várias tentativas de explicar a estabilidade da matéria utiliza a quantização do momento angular orbital e com isso ele chega a uma expressão matemática semelhante a equação (empírica) de Balmer que foi comprovada experimentalmente. Segundo (ABDALLA, 2006) Balmer engenhou uma fórmula empírica para descrever as quatro linhas espectrais do átomo de hidrogênio, e esta fórmula só foi consolidada posteriormente quando ele mesmo provou que 12 novas linhas conhecidas de observações astronômicas, satisfaziam a mesma fórmula. Bohr descobriu também que o elétron emite ou absorve energia (um fóton) quando faz uma mudança de órbita, o qual ele denominou de *salto quântico* e concluiu que este fato é aplicável a todos os elementos e não só ao hidrogênio. Em tudo isso que foi relatado, comportam apenas uma parte dos temas de FMC que conhecemos e sabemos o quanto são importantes essas teorias para a sociedade e a formação científica do cidadão. Não podemos deixar que nossos alunos do ensino médio não tenham conhecimento sobre esses importantes temas que os levam a compreender os avanços tecnológicos que vem acontecendo em seu dia a dia.

Mesmo assim, podemos afirmar que hoje no nosso país o ensino de Física tem uma grande lacuna no tocante as transformações ocorridas no mundo e nossos alunos não possuem essas informações, ou seja, não conhece esses conceitos ligados a Física Moderna que possam motivá-los a se interessar em aprender Física. Baseando-se em experiências vividas em salas de aula, o objetivo deste trabalho é auxiliar o professor de Física das escolas do ensino médio com uma proposta de ensino que foi testada, com uma apresentação de resultados de aprendizagem. Como professor de Física em uma escola particular e em cursos de pré-vestibular, tenho acompanhado alunos provenientes de outras escolas, tanto públicas como particulares e a maioria deles alegam nunca terem tido contato com os temas de FMC em suas aulas de Física. Uma realidade que vem aumentando, onde as pesquisas em ensino apontam para a falta de preparação e conhecimento sobre o tema, tornando cada vez mais escassa a abordagem da FMC em nossas escolas. Sendo assim propomos fornecer de forma clara e detalhada todo o embasamento teórico e metodológico, fundamentado na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel e na epistemologia de Thomas Kuhn, onde o aluno obteve o conhecimento acerca da evolução das ciências e foi confrontado com situações-problema na perspectiva de superação de obstáculos previamente observado em suas respostas dos pré-testes aplicados. Com esta proposta metodológica, procuramos simplificar os temas de uma forma significativa fazendo com que professores de Física do ensino médio possam se sentir motivados e que busquem discutir não só Física Moderna, mas sim que ele abranja todos os campos possíveis da Física passando uma imagem de que esta bela ciência seja expandida e difundida pelos alunos. No tocante a aprendizagem significativa, (MOREIRA, 2011) diz que:

[...] a aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não- literal, não ao pé da letra, e não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende.

Aqui percebemos um fator relevante que vem acontecendo na maioria das salas de aula que o que chamamos de aprendizagem mecânica. O professor trabalha com sua turma com o intuito apenas que os alunos saibam mecanicamente resolver os exercícios sem ao menos conhecer a teoria que existe por trás dele. Desta forma, é notável a importância que o professor possui em suas aulas e que não pode se ater apenas a resoluções de exercícios como forma de treinamento matemático, mas sim de maneira que faça com que o aluno veja significado no que ele está fazendo na escola. Para (SOARES, 2009) a aprendizagem significativa resulta então da interação de novos conceitos com a bagagem cognitiva dos alunos, porém se torna necessário fazer uma análise do contexto do aluno e verificar se o tema abordado faz significado para ele. O produto desta dissertação consiste em um texto que servirá de base para a fundamentação teórica bem como a aplicação de exemplos propostos para outros professores de Física do nível médio possam utilizar em suas aulas de FMC com o intuito de fortalecer o conhecimento aprofundando também no contexto histórico.

A importância das diretrizes apresentadas nos Parâmetros Curriculares Nacionais

(PCN), vem com o objetivo de construir uma visão da Física como ferramenta para o entendimento do mundo atual ou contemporâneo, seguindo uma série de competências que tornam-se significativas quando relacionadas com os avanços tecnológicos. O estudante deve ter a concepção de que a Física não é apenas um aglomerado de fórmulas matemáticas, que são utilizadas para resolver problemas de vestibulares de uma forma mecânica sem uma aprendizagem significativa. De acordo com o PCN, vemos que:

A Física deve apresentar-se, portanto, como um conjunto de competências específicas que permitam perceber e lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, presentes tanto no cotidiano mais imediato quanto na compreensão do universo distante, a partir de princípios, leis e modelos por ela construídos. Isso implica, também, na introdução à linguagem própria da Física, que faz uso de conceitos e terminologia bem definidos, além de suas formas de expressão, que envolvem, muitas vezes, tabelas, gráficos ou relações matemáticas. Ao mesmo tempo, a Física deve vir a ser reconhecida como um processo cuja construção ocorreu ao longo da história da humanidade, impregnado de contribuições culturais, econômicas e sociais, que vem resultando no desenvolvimento de diferentes tecnologias e, por sua vez, por elas impulsionado.

Com isso, percebemos que o ensino de Física deve trilhar por caminhos que levem o aluno a pensar de forma significativa no qual ele deve ao responder algum exercício saber relacionar o conteúdo (teoria) com a matemática necessária para a resolução do mesmo e não de uma forma mecânica, com o intuito de "jogar" um monte fórmulas para atingir seu objetivo de resolver o problema. Vivemos em um país onde o ensino está longe do ideal, ou seja, escolas em perfeitas condições de ensino, professores capacitados, laboratórios equipados e principalmente alunos com vontade de aprender. Para termos melhorias no ensino de uma forma geral, é necessário algumas mudanças onde uma delas seria a criação de propostas pedagógicas que facilitem a aprendizagem do aluno e o trabalho do professor em sala de aula, ampliando seus conhecimentos tanto teórico quanto prático e a possibilidade de uma aprendizagem significativa. De uma forma geral, tanto o PCN quanto a LDB (Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional) sintetizam no fato que o aluno do ensino médio deve ter uma formação geral e não específica, para que o mesmo possa ser capaz de pesquisar, analisar as informações, ter a capacidade de aprender, criar e até mesmo elaborar fórmulas para que eles possam ser de certa forma autodidatas, absorvendo uma aprendizagem significativa e não mecanizada como acontece em alguns casos. A proposta no qual este trabalho está oferecendo, tenta colocar no aluno uma visão de mundo com uma concepção diferente que ele tinha sobre a Física. Deixando de lado concepções do tipo *pra que estudar Física?* para uma outra que faça mais sentido do *por que estudar Física?* Tanto na LDB quanto no PCN, nota-se que conceitos fundamentais de Física, são relevantes para o conhecimento científico do cidadão contemporâneo, refletindo sobre a ligação entre a Física com outras disciplinas, ganhando significado com a sua aplicação prática. Podemos citar como exemplo a aplicação de pinças ópticas aplicadas na biologia e assim conseguem captar imagens de proteínas no interior de uma célula

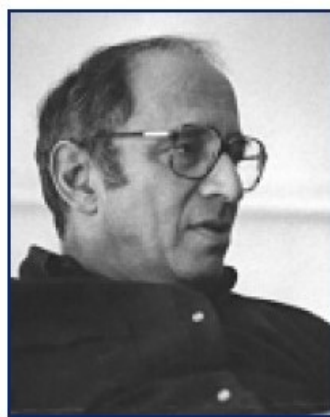
em pleno funcionamento. Um outro exemplo, seria a concepção histórica da evolução da física desde a teoria geocêntrica de Ptolomeu até a teoria heliocêntrica proposta por Nicolau Copérnico. No primeiro exemplo, vimos uma das inúmeras aplicações da Física Moderna, que por sua vez está tão presente em nossas vidas e em nossas escolas tem sido esquecida por parte dos professores. A Física deve ser abordada pelo professor de forma que transmita para o aluno, uma concepção de que ela deva ser inserida num contexto tanto histórico quanto social, para que ela possa ajudá-lo a compreender melhor o mundo e toda a tecnologia que se baseia em seus princípios fundamentais.

2 Fundamentação teórica e epistemológica

2.1 Introdução

Neste capítulo iremos descrever as principais ideias de Thomas Kuhn e a aprendizagem significativa de David Ausubel, auxiliando a compreensão dos alunos onde as alterações conceituais surgem quando a ciência vigente é falha em alguns aspectos, e assim eles possam entender o universo científico como um processo de constantes mudanças associadas a novas concepções sobre alguns conceitos fundamentais. Desta forma, a visão do aluno poderá se tornar crítica o que o levaria a associar a Física da sala de aula com o seu cotidiano. Utilizamos como exemplo inicial as alterações sofridas dentro da mecânica clássica, no que se refere aos conceitos de tempo e espaço para que estes fossem válidos no campo da relatividade restrita, já que o modelo clássico não havia estimado uma velocidade limite para seus eventos. O mesmo aconteceu com o espectro de emissão do corpo negro onde mais uma vez o modelo clássico fundamentado nas teorias de Maxwell não conseguia explicar tal evento, e partir daí nasceu a Mecânica Quântica. Assim, consideramos importante que o aluno adquira este conhecimento acerca da evolução da ciência e desta forma possa ajudá-lo a compreender melhor os novos conceitos propostos de Física Moderna deste trabalho.

2.1.1 Um breve relato sobre Thomas Kuhn



Thomas Kuhn

Figura 1 – Fonte: <https://sites.google.com/site/mariacaetanojoao/home>

Thomas Samuel Kuhn nasceu em 18 de julho de 1922 em Cincinnati, no estado de Ohio (Estados Unidos). Na sua infância frequentou escolas particulares e conseguiu ingressar na Universidade de Harvard em 1940 para estudar Física. O seu curso teve uma

duração de três anos ao invés de quatro por conta da guerra onde teve que trabalhar com grupos ligados a radares e construção de bombas. Em 1949, concluiu seu doutorado em Física pela mesma universidade, e a partir daí enveredou para o estudo da história e filosofia das ciências. Em 1956, mudou-se para o Departamento de Filosofia da Universidade da Califórnia, em Berkeley, onde permaneceu até 1964, sendo que, ainda a partir de 1961, concebeu e realizou, auxiliado por Paul Forman e John Heilbron, um projeto de documentação da história da mecânica quântica (área da física que lida com os fenômenos moleculares, atômicos e subatômicos) (MENDONÇA, 2002).

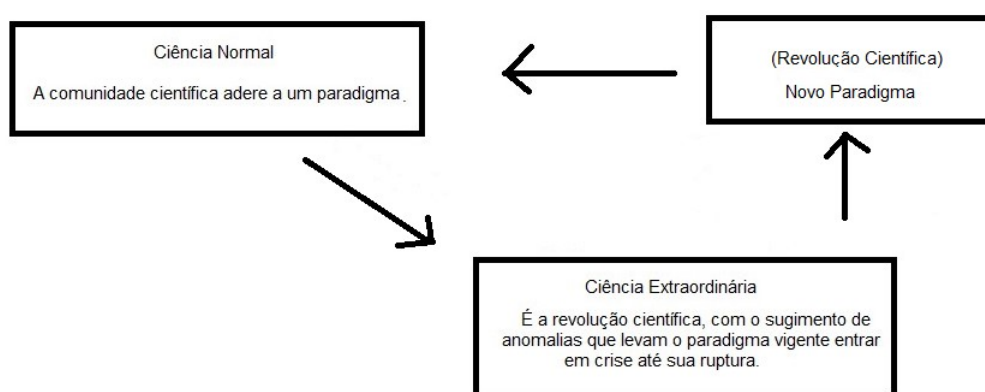
Aos sessenta anos de idade, em 1982, Kuhn recebeu a medalha George Sarton, da Sociedade Norte-americana de História da Ciência, e, no ano seguinte, o Prêmio John Desmond Bernal, da Sociedade Norte-americana de Estudos Sociais da Ciência. Ele morreu em 1996 (MENDONÇA, 2002).

2.1.1.1 As revoluções científicas na visão de Thomas Kuhn

Thomas Kuhn publicou em 1962 sua obra mais importante, intitulada *A Estrutura das Revoluções Científicas*. Essa obra foi difundida mundialmente e em trinta anos conseguiu vender cerca de um milhão de exemplares, em vinte e cinco idiomas (MENDONÇA, 2002).

Segundo Mendonça (1984 apud SILVA, 2004), a tese mais importante e conhecida dessa obra é a de que a ciência não se desenvolve de forma linear, sucessiva através da obediência rígida a cânones metodológicos, mas sim, por empreender uma prática convergente e unificada de pesquisa possível por meio da aquisição de paradigmas. Os modelos anteriores a de Kuhn, acreditam que a produção do conhecimento científico começa com a observação neutra, se dá por indução, é cumulativa e linear e que possam adquirir conhecimento científico de forma definitiva (OSTERMANN, 1996).

Na visão de Thomas Kuhn, o modelo de desenvolvimento das ciências segue como a figura a seguir:



Para Kuhn, o conceito de ciência normal está ligado ao fato da existência de um paradigma dominante de uma determinada ciência, caracterizado em um período onde

este modelo respondia aos questionamentos da comunidade científica.

Segundo Ostermann (1996) a ciência normal constitui a tentativa de forçar a natureza a encaixar-se dentro dos limites preestabelecidos e relativamente inflexíveis fornecidos pelo seu paradigma, o que significa modelar a solução de novos problemas segundo os problemas “exemplares”.

O que facilita a aceitação do paradigma é o conservadorismo da ciência normal, e isto é uma condição necessária para o progresso científico.

[...] o paradigma é um objeto a ser melhor articulado e precisado em condições novas e mais rigorosas. Para que se compreenda como isso é possível devemos reconhecer que um paradigma pode ser muito limitado, tanto no âmbito quanto na precisão, quando de sua primeira aparição. Os paradigmas adquirem seus *status* porque são mais bem sucedidos que seus competidores na resolução de alguns problemas que o grupo de cientistas reconhecem como graves. Contudo, ser bem sucedido não significa nem ser totalmente sucedido com um único problema, nem notavelmente sucedido com um grande número. De início, o sucesso de um paradigma – seja a análise aristotélica do movimento, os cálculos ptolomaicos das posições planetárias, o emprego da balança de Lavoisier ou a matematização do campo eletromagnético de Maxwell – é, em grande parte, uma promessa de sucesso que pode ser descoberta em exemplos selecionados e ainda incompletos. (KUHN, 1998)

Sendo assim, o conceito de ciência normal na visão de Kuhn consiste em uma atualização que se obtém com a ampliação dos conhecimentos de alguns fatos que o paradigma apresenta com uma particular relevância, ampliando assim a correlação entre esses fatos e as previsões de paradigma e articulando-se ainda mais com o próprio paradigma (KUHN, 1998).

Neste trabalho, abordamos duas revoluções científicas importantes para o mundo atual que são: a Relatividade Restrita e a Mecânica Quântica. Ambas nasceram devido ao paradigma vigente numa época em que a mecânica newtoniana não estava mais respondendo a questões relativas ao eletromagnetismo clássico, que garantia que suas leis eram invariantes e também sobre o espectro contínuo de emissão do corpo negro. Constatada estas anomalias, surgiu a necessidade de se criar um novo paradigma que gerou uma crise e assim surge a fase da ciência extraordinária.

Para Ostermann (1996):

A emergência de um novo paradigma é, para Kuhn, repentina, no sentido de que pode ocorrer no meio da noite, na mente de um homem profundamente imerso na crise. Como o indivíduo inventa (ou descobre que inventou) uma nova maneira de ordenar os dados é uma questão que Kuhn considera não investigável (inescrutável, em suas palavras) e acredita que assim seja permanentemente. Em geral, segundo este filósofo da ciência, os homens que fazem essas invenções fundamentais são jovens ou novos na área em crise, isto é, menos comprometidos com o velho paradigma. Durante o período de transição, o antigo paradigma

e o novo competem pela preferência dos membros da comunidade científica, e os paradigmas rivais apresentam diferentes concepções de mundo. Se novas teorias são chamadas para resolver as anomalias presentes na relação entre uma teoria existente e a natureza, então a nova teoria bem sucedida deve permitir previsões diferentes daquelas derivadas de sua predecessora.

Aqui propomos que o ensino de Física Moderna em uma forma geral, deva ser estabelecido de acordo com as ideias de Thomas Kuhn na qual apresentam o surgimento de novos paradigmas após a crise dos antigos paradigmas, discutindo as dificuldades de superação deste antigo paradigma e as vantagens do novo paradigma. As novas concepções sobre espaço, tempo, massa e energia, para a Relatividade Restrita são conceitos que sofreram mudanças com a aquisição do formalismo einsteiniano, superando ao modelo newtoniano. Da mesma forma, podemos citar também a teoria quântica como o surgimento de uma nova ciência que veio a explicar o espectro de emissão (*discreto*) do corpo negro, superando a concepção de clássica do espectro contínuo.

2.1.2 Um breve relato sobre David Ausubel



David Ausubel

Figura 2 – Fonte:<https://notendur.hi.is//joner/eaps/jecvmy.htm>

David P. Ausubel nasceu em 1918 e cresceu no Brooklyn, Nova Iorque. Ele frequentou a Universidade da Pensilvânia, tendo o curso pré-médico e com especialização em Psicologia. Depois de se formar na faculdade de medicina na Universidade de Middlesex, ele completou um estágio rotativo a Gouveneur Hospital (NY Secretaria Municipal de Hospitais), localizado no Lower East Side de Manhattan, incluindo o Little Italy e Chinatown, de 1944. Ingressou no serviço militar onde foi designado para UNRRA (Socorro das Nações Unidas e Administração de Reabilitação) em Stuttgart, Alemanha trabalhando com pessoas deslocadas, realizando três residências psiquiátricas seguidas com o Serviço de Saúde Pública dos Estados Unidos em Kentucky, o Buffalo Psychiatric Center,

e Bronx Psychiatric Center. Adquiriu o título de PhD em Psicologia do Desenvolvimento pela Universidade de Columbia, onde em seguida realizou alguns trabalhos psicológicos em escolas de ensino como a Universidade de Illinois, Universidade de Toronto, e nas universidades europeias em Berna, da Universidade Salesiana, em Roma, e Faculdade de Formação de Oficiais em Munique. Ele recebeu uma Bolsa de Investigação Fulbright em 1957-58 para fazer um estudo comparativo da motivação profissional dos Maoris e Europeus. Publicou alguns livros na área de psicologia do desenvolvimento e da educação e livros sobre temas especializados, como o vício em drogas, psicopatologia e desenvolvimento do ego, e mais de 150 artigos em revistas psicológicas e psiquiátricas. Em 1976 ele recebeu o Prêmio Thorndike, da Associação Americana de Psicologia para "Contribuições psicológicas Distintos à educação". Dr. Ausubel faleceu em 09 de julho de 2008 ¹.

2.1.2.1 A aprendizagem significativa de Ausubel

Ausubel propõe uma teoria baseada em uma aprendizagem focalizada naquilo que o aprendiz já conhece sobre determinado assunto, ou seja, para ele a aprendizagem tem cunho significativo quando há integração de uma nova informação com sua estrutura cognitiva. Um dos papéis fundamentais dos professores é a identificação do que seu aluno conhece sobre determinado tema e fazer com que este conhecimento seja fortalecido ensinando-o de acordo. Segundo o próprio Ausubel (2003), o significado da aprendizagem é:

A “aprendizagem significativa”, por definição, envolve a aquisição de novos significados. Estes são, por sua vez, os produtos finais da aprendizagem significativa. Ou seja, o surgimento de novos significados no aprendiz reflete a ação e a finalização anteriores do processo de aprendizagem significativa. Depois de explorarmos, com algum pormenor, o que está envolvido neste processo, iremos verificar, de modo mais explícito, quer a natureza do próprio significado, quer a relação deste com a aprendizagem significativa. A essência do processo de aprendizagem significativa, tal como já se verificou, consiste no fato de que novas ideias expressas de forma simbólica (a tarefa de aprendizagem) se relacionam aquilo que o aprendiz já sabe (a estrutura cognitiva deste numa determinada área de matérias), de forma não arbitrária e não literal, e que o produto desta interação ativa e integradora é o surgimento de um novo significado, que reflete a natureza substantiva e denotativa deste produto interativo.

Fica claro que o principal conceito de Ausubel é o de aprendizagem significativa, onde uma nova informação irá interagir com a estrutura cognitiva do aprendiz (aluno), conhecido como o seu conhecimento prévio no qual ele também define como subsunçor. A concretização da aprendizagem e o que a torna essencial é quando esta nova informação ancora-se com proposições que sejam relevantes e que já existam na estrutura cognitiva do aluno. Ausubel acredita que o indivíduo tem em seu cérebro uma organização dos conceitos de um determinado tema em uma forma hierárquica, onde cada informação relevante

¹ Fonte: <www.davidausubel.org> Acessado em 10/10/2015

adquirida seja ancorada em seus antigos conhecimentos, enriquecendo seus conceitos sobre este assunto de uma determinada matéria. Este novo conhecimento pode causar alterações significativas em suas ideias iniciais sobre o assunto de tal forma que o "ancoradouro" passe a ser modificado com esta nova informação, portanto quando estes conhecimentos que são considerados inclusivos e relevantes e que estejam claros e disponíveis na estrutura cognitiva onde contribuirá para a sua diferenciação e estabilidade, podemos confirmar a existência de uma aprendizagem significativa. Em contraste com a aprendizagem significativa, Ausubel traz a aprendizagem mecânica no qual ele define como uma aprendizagem que contém pouca, ou até mesmo nenhuma relação com as informações existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. A não existência de interação com o novo conhecimento e a estrutura cognitiva, faz com que o conhecimento adquirido fique distribuído de uma forma arbitrária sem uma ligação com os subsunçores pré-existentes na estrutura cognitiva. Isto nos leva a relembrar sobre um comentário discutido no início desta pesquisa onde os alunos do ensino médio tem enxergado a Física como um emaranhado de fórmulas matemáticas que servem apenas para resolver problemas de vestibulares sem algum significado físico, logo é isto que chamamos de aprendizagem mecânica, uma aprendizagem no qual o aluno não consegue associar os conceitos físicos com a sua vida cotidiana. Sendo assim, fica claro que a aprendizagem significativa é preferida ao invés da mecânica. No entanto o que devemos fazer quando não há conhecimento prévio por parte do aprendiz em relação a um determinado tema? Ausubel propõe a existência de organizadores prévios que servirão de ancoradouros provisórios o que os levariam a desenvolver subsunçores para facilitar a aprendizagem. Segundo Moreira (2011):

Os organizadores prévios podem tanto fornecer “ideias-âncoras” relevantes para a aprendizagem significativa do novo material, quanto estabelecer relações entre ideias, proposições e conceitos já existentes na estrutura cognitiva e aqueles contidos no material da aprendizagem, ou seja, para explicitar a relacionabilidade entre novos conhecimentos e aqueles que o aprendiz já tem, mas não percebe que são relacionáveis aos novos. Para Ausubel a principal função do organizador prévio é a de servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deveria saber afim de que o novo material pudesse ser aprendido de forma significativa. Ou seja, organizadores prévios são úteis para facilitar a aprendizagem na medida em que funcionam como “pontes cognitivas”.

O trabalho de pesquisa foi pensado mediante algumas dificuldades que alguns professores encontram para ensinar temas de Física Moderna a seus alunos no ensino médio. Pensando nisso em ajudar a solucionar este problema, estamos usando uma proposta de ensino baseada nas ideias de Ausubel no tocante a aprendizagem significativa e com isso facilitar a aprendizagem dos alunos. Como já foi descrito, a proposta ausubeliana é de propor uma hierarquia nos conceitos mais inclusivos de um determinado tema começando pelo mais geral e utilizando a diferenciação progressiva para obtermos bons resultados de aprendizagem. Além disso, utilizamos como organizadores prévios alguns vídeos que

consideramos como materiais significativos que ajudaram a inclusão de alguns conceitos e até mesmo como ideias-âncoras para os alunos que não tinham nenhum conhecimento sobre o assunto. Para Ausubel, a existência de um material potencialmente significativo que seja capaz de facilitar a aprendizagem do aluno que quer aprender e do professor que deseja utilizá-lo para ensinar, é uma das condições necessárias para a aprendizagem significativa. Durante as aulas de Física Moderna, foi utilizado também algumas imagens da internet e simulações online com o objetivo de ser um material potencialmente significativo, que facilitaram a aprendizagem, pois para Ausubel a interação com os alunos através deste tipo de material e com o uso da linguagem, constituem um material facilitador de aprendizagem. As aulas tiveram um ponto marcante no que diz respeito a participação dos alunos. Eles deram suas opiniões com perguntas sobre o tema que foram bastante construtivas para sua aprendizagem, pois para Ausubel aulas expositivas e com discussões com alunos mostram o como é fundamental o uso de um material potencialmente significativo. A clareza encontrada na aprendizagem significativa do aprendiz é verificada com uma teoria de assimilação proposta pelo próprio Ausubel em seu livro **Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva**. Nesta teoria, ele propõe que a assimilação acontece quando o aprendiz consegue incluir um conceito existente de sua estrutura cognitiva em um contexto mais amplo sobre um determinado tema, mostrando que o aprendiz pode dar novos significados a este novo conhecimento. Para Ausubel (2003 apud SOARES, 2009) este tipo de aprendizagem é o que ele denomina de aprendizagem subordinada, ou seja, é quando a nova informação adquire significado ao interagir com seus subsunçores refletindo uma relação de subordinação do novo material em relação a estrutura cognitiva preexistente, lembrando que a aprendizagem significativa não é estática e que está em constante modificação na construção do conhecimento das pessoas.

2.1.3 Utilizando mapas conceituais como ferramenta de aprendizagem

Neste trabalho, foi utilizado a construção de mapas conceituais como ferramenta de verificação de aprendizagem sobre os temas abordados de Física Moderna. Segundo Moreira (2011) os mapas conceituais, ou mapas de conceitos, são apenas diagramas indicando relações entre conceitos, entre palavras que usamos para representar conceitos. São diagramas de significados e de relações significativas usando uma hierarquia conceitual. Foram idealizados por Joseph Novak e seus colaboradores na década de 1970 como uma estratégia de um recurso esquemático de verificação de aprendizagem. Para Novak (2003 apud SOUSA, 2010) o mapa é um instrumento que foi idealizado para colocar em prática a Aprendizagem significativa num enfoque pautado na teoria de Ausubel, que afirma que este tipo de aprendizagem ocorre *quando o aprendiz escolhe relacionar novas informações com as ideias que já conhece*.

Os mapas conceituais devem ter um formato que o diferencie por exemplo de um diagrama organizacional, pois estes não apresentam uma organização hierárquica de

conceitos e que muitas vezes nem sequer os utilizam. Uma das características principais de mapas conceituais é a utilização de figuras geométricas como, retângulos e elipses, onde dentro deles expomos os conceitos mais inclusivos e os interligamos com proposições que facilitem sua compreensão. Para Moreira (1986)

[...] mapas conceituais são diagramas bidimensionais mostrando relações hierárquicas entre conceitos de uma disciplina e que derivam sua existência da própria estrutura dessa disciplina. Eles guardam uma certa analogia com mapas geográficos: as cidades seriam os conceitos, e as estradas, linhas ligando estes e simbolizando relações entre eles. No entanto, diferentemente do caso da geografia, cada mapa conceitual deve ser sempre visto como um mapa conceitual e não como o mapa conceitual de um certo conjunto de conceitos, ou seja, deve ser visto como apenas uma das possíveis representações de uma certa estrutura conceitual.

Durante a pesquisa foi exposto na lousa uma aula sobre mapas conceituais e abordamos como exemplo um modelo bem simples de um mapa conceitual, que com a ajuda dos alunos foi ganhando forma. O tema sugerido foi **carro**. Antes de iniciarmos a construção do mapa, fizemos uma lista com todas as informações acerca de **carro** que os alunos acharam importantes. Surgiram conceitos como, câmbio, direção (volante), motor, modelo, marca, carroceria, tipo de direção e tipo de câmbio. Assim construímos o mapa conceitual interligando os conceitos com palavras de ligação. Este mapa ajudou os alunos a entenderem qual é a finalidade de um mapa conceitual. Durante o curso, no final de cada tema os alunos formaram duplas com o objetivo de construir mapas conceituais sobre temas de Física Moderna como Relatividade Restrita e Mecânica Quântica.

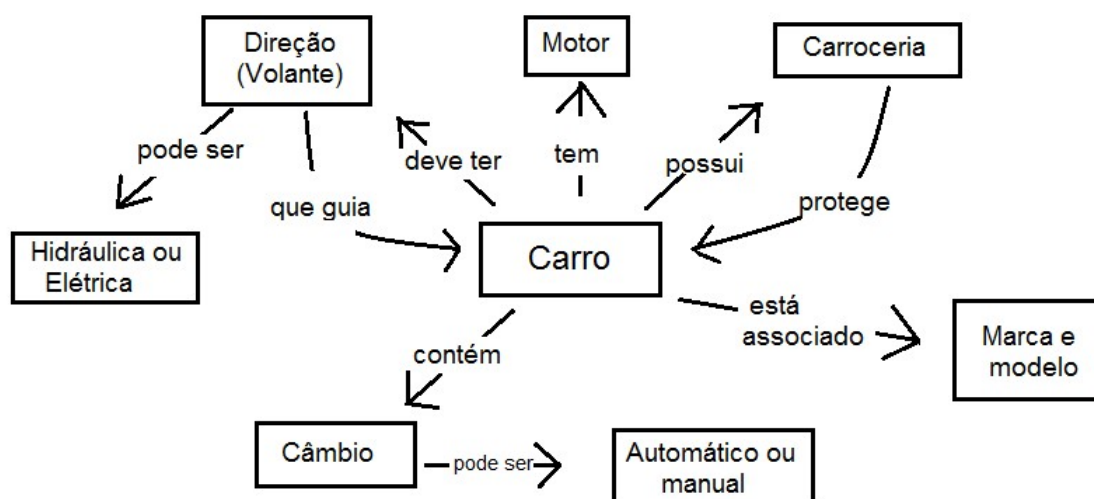


Figura 3 – Exemplo de mapa conceitual construído em sala de aula com os alunos

Um aspecto fundamental acerca dos mapas é que segundo Moreira (2011):

Os dois conceitos mais as palavras-chave formam uma proposição e esta evidencia o significado da relação conceitual. Por esta razão, o uso de

palavras-chave sobre as linhas conectando conceitos é importante e deve ser incentivado na confecção de mapas conceituais, mas esse recurso não os torna autoexplicativos. Mapas conceituais devem ser explicados por quem os faz; ao explicá-lo, a pessoa externaliza significados. Reside aí o maior valor de um mapa conceitual. É claro que a externalização de significados pode ser obtida de outras maneiras, porém mapas conceituais são particularmente adequados para essa finalidade.

Os mapas conceituais foram para este trabalho uma ferramenta na qual pudéssemos averiguar modificações ocorridas durante o processo de aprendizagem dos alunos, e também a compreensão dos conceitos e as suas relações que estavam presentes nos seus mapas. Os mapas foram construídos em dois momentos, uma para a Relatividade Restrita como conceito mais inclusivo e o outro sobre a Mecânica Quântica que também assumiu o papel do conceito mais inclusivo. Nos mapas os alunos puderam externar seus subsunçores que foram sendo fortalecidos com a ancoragem de novas informações sobre o tema no qual foi abordado usando a diferenciação progressiva. Objetivando a externalização dos conceitos pelos alunos, foi pedido para eles que descrevessem seus mapas em uma simples redação de no máximo dez linhas, para que assim possamos avaliar a existência de uma aprendizagem. Para Moreira (2011) na medida que os alunos utilizarem os mapas conceituais para integrar, reconciliar e diferenciar conceitos, eles irão usar esta técnica para analisarem artigos, livros e outros materiais educativos, assim estarão construindo uma nova ferramenta que consiste no mapeamento conceitual como recurso de aprendizagem. Concluímos que utilizar o recurso de mapas conceituais como ferramenta de verificação de aprendizagem tem sido muito produtivo, pois o aumento do número de acertos em comparação com o questionário inicial (pré-teste) e o questionário final (pós-teste) mostra que este recurso é um ponto forte na experiência didática deste referido trabalho.

3 Metodologia da pesquisa

3.1 Introdução

O trabalho de pesquisa foi realizado no Colégio 3º Milênio, Limoeiro-PE, com um total de 30 alunos, onde 20 alunos eram da turma do 3ª série do ensino médio da própria escola e os 10 alunos restantes eram da turma do pré-vestibular, que concluíram seu ensino médio em outras escolas da região. Os alunos do pré-vestibular tomaram conhecimento desta pesquisa através do autor da mesma, antes de sua aula inicial, e pediram para participar da pesquisa. Todos passaram por uma entrevista, para que estivessem cientes da pesquisa e que esta tinha um objetivo de contemplar o programa de Física Moderna compatível com o vestibular da Universidade de Pernambuco (UPE) no qual eles irão se submeter alguns meses após a pesquisa.

Dentre os alunos do pré-vestibular, 4 deles concluíram o ensino médio em escola pública e os outros 6 em escolas particulares. Os quatro alunos provenientes de escola pública, relataram que nunca tiveram contato com o tema da pesquisa e os 6 alunos da escola particular, relataram que tiveram apenas uma breve abordagem sobre relatividade restrita, sem nenhuma profundidade nas teorias e também das equações que a descreve.

A pesquisa ocorreu num total de dez encontros, todas as quartas-feiras no horário da tarde, cada um com três horas-aula de duração (120 minutos). Realizamos no total três pré-testes (apêndice), onde dois são referentes a Relatividade Restrita e um para a Mecânica Quântica com o intuito de avaliar os conhecimentos prévios dos alunos. Os encontros foram divididos da seguinte forma:

1. Quatro encontros para a Relatividade Restrita ou Especial com duração máxima de três horas-aula (120 minutos);
2. Quatro encontros para a Mecânica Quântica com duração máxima de três horas-aula (120 minutos);
3. Aplicação do 1º pós-teste: construção de mapas conceituais em duplas com o objetivo de promover a socialização do conhecimento que cada um possui, e cada dupla deverá dissertar de forma explicativa e simples o seu mapa conceitual bem como as ligações entre os conceitos por eles atribuído. Vale lembrar que as dissertações dos mapas foram feitas apenas com o a Mecânica Quântica. Realizado num total de 80 minutos;
4. Aplicação do 2º pós-teste: resolução de questões de vestibulares juntamente com as perguntas do pré-teste, realizado num intervalo de tempo de 120 minutos.

A finalidade de inserir as perguntas do pré-teste no pós-teste, é de que tenhamos uma ideia de quais foram as mudanças nas respostas dos alunos após a o término da abordagem do tema. Para uma melhor aceitação dos conceitos que serão abordados, pois os mesmos são considerados difíceis por sua abstração, utilizamos vídeos do youtube de baixa duração que sintetizassem sobre o que iríamos abordar em sala de aula, exposição em power point de imagens tanto dos experimentos quanto dos cientistas envolvidos, este com o objetivo de que os alunos tenham uma clara imagem sobre os experimentos que ajudaram a consolidar a física moderna. No primeiro encontro foi entregue aos alunos um lista de exercícios, onde alguns serão resolvidos em sala pelo professor e os demais pelos alunos. A lista de exercício, foi elaborada segundo a ordem dos encontros. As listas de exercícios eram compostas de problemas de vestibulares objetivas. O objetivo de nossa pesquisa é auxiliar outros professores para que eles possam ministrar suas aulas de Física Moderna na visão epistemológica de Thomas Kuhn e na metodologia da aprendizagem significativa de David Ausubel. Sendo assim, elaboramos um texto de apoio com a sequência utilizada em todos os encontros para que possa direcionar a quem o utilizar. Este texto (produto da dissertação) encontra-se no apêndice desta dissertação.

3.2 Desenvolvimento da pesquisa

3.2.1 Primeiro encontro

O primeiro momento do nosso primeiro encontro, foi iniciado com a aplicação do primeiro pré-teste sobre conceitos fundamentais da mecânica clássica que são importantes para a compreensão do que será abordado sobre as duas primeiras aulas de relatividade restrita. Foi pedido para os alunos que respondessem as perguntas de uma forma individual, descrevendo com suas palavras as questões sob as quais eles tinham conhecimento. Nas perguntas que eles não soubessem responder, poderiam deixá-las em branco ou simplesmente escrever **não sei**. Após a aplicação do pré-teste, iniciamos a aula com uma abordagem histórica e epistemológica, fundamentada nas ideias de Thomas Kuhn, acerca da evolução da ciência, onde apresentamos para o aluno que a ciência está em constante mudança, e que neste momento apoia-se no paradigma vigente. Sobre a evolução da ciência, utilizamos o exemplo do paradigma do *geocentrismo ptolomaico* no qual defendia que os planetas, estrelas, o Sol e Lua giravam em torno da Terra, ou seja, para ele a Terra estava no centro do universo. Este sistema foi atribuído como verdadeiro por mais de 1400 anos, até que em meados de 1540, um monge polonês chamado de Nicolau Copérnico publicou o livro **Sobre as Revoluções das Esferas Celestes** que se contrapôs ao modelo ptolomaico dando início a um novo modelo chamado de *heliocentrismo* (ciência extraordinária). A transição de um período para outro é o que denominamos de revolução científica, e assim se inicia um novo período de ciência normal. No segundo momento, retomamos a aula

com um breve comentário sobre simultaneidade, espaço e tempo, pois na visão de Newton e Galileu, todos são tidos como absolutos sem dependência com algum referencial e tudo isto foi quebrado com a concepção de Einstein no qual demonstrou que esses conceitos não são absolutos e dependem de um referencial inercial. Desta forma deixamos claro para o aluno que existiu a quebra de um paradigma newtoniano e o nascimento do paradigma einsteiniano, onde surge uma grande revolução científica caracterizada com a ruptura entre a Mecânica Clássica com a Mecânica Relativística. No terceiro momento, assistimos a um vídeo do youtube intitulado **Da Relatividade ao Big Bang (A Saga do Prêmio Nobel)** cujo endereço eletrônico é <<https://www.youtube.com/watch?v=psySzb1gyU>>. Neste vídeo, de 25 minutos de duração, temos uma visão geral sobre uma breve biografia de Albert Einstein e sua teoria que sacudiu a comunidade científica daquela época, comprovando que alguns conceitos da mecânica clássica falharam sob a visão da mecânica relativística. No quarto momento, iniciamos a aula explanatória na lousa com a relatividade clássica descrevendo o postulado proposto por Galileu, onde o mesmo descrevia que *As leis da mecânica são as mesmas para qualquer referencial inercial*. Como exemplo tomamos o modelo de um passageiro¹ caminhando no interior do vagão de um trem, onde chegaríamos a equações que demonstravam o que o modelo clássico já concebia sobre a concepção de absolutismo do espaço e do tempo. Depois de conhecer as equações, fizemos uma pergunta para a turma para que os alunos pudessem confrontar seus conhecimentos prévios acerca da relatividade restrita, já depois de assistirem ao vídeo. A pergunta sugerida foi: *As equações seriam as mesmas se o trem estivesse se movendo próximo a velocidade da luz?* A resposta foi quase unânime que **não**. Neste momento descrevemos os postulados de Einstein sobre a relatividade restrita e relatamos sobre o experimento de Michelson-Morley, cuja relevância foi a comprovação da não existência do éter. Desta forma, as equações de Galileu não poderiam ser mais utilizadas dentro dos domínios da mecânica relativística, passando assim por correções com a introdução do fator de Lorentz e assim tornando-as válidas para a relatividade restrita. No quinto momento, abrimos uma discussão com os alunos onde eles fizeram algumas perguntas, onde podemos destacar a seguir:

1. O que acontece se um dia alguém descobrir que existe alguma coisa que viaje mais rápido que a luz?
2. É possível que um dia nós possamos viajar na velocidade da luz?
3. Einstein comprovou sua teoria com qual experimento?
4. A relatividade restrita explica o fato da curvatura no universo? Como se forma um buraco negro?
5. Como foi a aceitação de sua teoria pelos outros cientistas?

¹ Este passageiro será considerado como uma partícula ou ponto material, pois suas dimensões serão desprezíveis.

6. Professor, o senhor acredita nesta teoria?

As perguntas que foram propostas pelos alunos geraram uma discussão construtiva sobre o tema, no qual foi relatado a importância do mesmo na formação científica do homem. Respondendo a primeira pergunta, foi comentado sobre as ideias de Thomas Kuhn mostramos anteriormente, onde no surgimento de alguma partícula que se move numa velocidade superior a velocidade da luz seria necessário a criação de uma nova teoria que governasse este universo dos corpos que viajam com velocidade próxima da luz. Na segunda pergunta foi respondido para o aluno que isso seria provado matematicamente da impossibilidade de um ser humano viajar na velocidade da luz. E isto foi provado no terceiro encontro. Na terceira pergunta, o professor respondeu para a turma que Einstein só propôs suas ideias e baseou-se em modelos mentais no qual ele os chamavam de *gedanken*, ou seja, eram experimentos propostos por Einstein para a comprovação da sua teoria naquela época. Sobre a quarta pergunta, a resposta foi dada afirmando que sobre a curvatura do universo estavam sob o domínio de outra teoria proposta também por Albert Einstein que é a **relatividade geral**. Foi percebido com esta pergunta que aluno que a fez estava confundindo as duas teorias, a da relatividade restrita com a relatividade geral. A quinta pergunta trata de um pouco sobre como é que reage a comunidade científica com a quebra do paradigma vigente e surgimento de um novo paradigma. O aluno entendeu que de imediato a aceitação não foi concebida, pois era necessária uma comprovação experimental e na época Einstein apresentava apenas seus modelos hipotéticos. Logo foi dito ao aluno que Albert Einstein obteve uma comprovação experimental sobre a relatividade geral, que foi realizada numa expedição para a África comandada por físico inglês Artur Eddington para obtenção de imagens do eclipse solar total que comprovaria sua teoria. Foi comentado também que nesta mesma época uma outra expedição veio ao Brasil para a cidade de Sobral no Ceará, mas a mesma não teve êxito na obtenção das imagens do eclipse. A última pergunta foi respondida sob um tom cômico, pois desacreditar em uma teoria que está presente em nossas vidas é um pouco difícil, ainda mais quando direcionada para um professor de Física. Foi percebido que o aluno que fez a pergunta ainda não estava acreditando e nem aceitando a teoria da relatividade. Essa pergunta fez com que o professor buscasse novos exemplos no decorrer da pesquisa para que pudesse convencer da veracidade da teoria e consolidar ainda mais a opinião dos demais alunos.

3.2.2 Segundo encontro

No segundo encontro, iniciamos com uma breve revisão do que foi visto no primeiro encontro. A partir daí, foram aplicadas as equações relativísticas para que os alunos possam compreender o significado físico das mesmas em casos como o da dilatação do tempo e a contração do espaço. No primeiro momento tratamos sobre a dilatação do tempo, onde Einstein propõe que o tempo depende de um referencial. Assim, para a sua

comprovação e a dedução da equação utilizamos um modelo clássico contido em livros do ensino médio que é de um vagão que se move com velocidade constante, que contém uma fonte de luz fixa no seu piso direcionada verticalmente para cima e o exemplo do relógio de Césio. O intervalo de tempo medido para que um raio luminoso proveniente da fonte levará para atingir um espelho no teto do vagão acima da fonte, será efetuado por dois relógios, um no interior do vagão e o outro no referencial da estrada no qual o vagão se movimenta. Apresentamos para a turma a expressão matemática que comprova que o tempo é relativo. Para reforçar uma das questões levantadas no primeiro encontro, expomos alguns exemplos sobre a dependência do tempo do referencial. Einstein propõe um modelo mental que ficou conhecido como **Paradoxo dos Gêmeos**, onde o mesmo relata que numa possível viagem espacial um dos gêmeos será posto no interior desta espaçonave e o seu irmão ficará na Terra. Como o tempo passa de forma dependente do referencial, logo o irmão que estava na espaçonave ao retornar para a Terra parecerá mais jovem, pois o tempo para ele passou mais devagar em relação ao seu irmão que ficou na Terra. No ano de 1971, dois físicos Joseph Hafele e Richard Keating, colocaram quatro relógios de césio todos sincronizados em voos de jatos comerciais, uma vez na direção leste e uma vez na direção oeste, com a finalidade de comprovar a teoria da relatividade. Os relógios que ficaram no solo mostraram uma diferença de alguns nano segundos em comparação com os que estavam nos aviões. Esta comprovação mostra a veracidade da teoria da relatividade. Uma outra comprovação da dilatação do tempo que utilizamos em sala, remonta ao campo da Física de Partículas. Existem partículas na natureza que são consideradas instáveis, e iremos tomar como exemplo uma delas denominada de méson μ também conhecida como *múon*. O múon é criado a partir dos raios cósmicos provenientes do Sol e atingem a nossa atmosfera. Por sua vez, eles possuem um tempo de meia vida em torno de $t_{\frac{1}{2}} = 1,5\mu s$, ou seja, metade de sua amostra é transformada em outro subproduto neste intervalo de tempo. Se considerarmos que a distância vertical que vai do solo até a atmosfera seja de 60km e que o múon esteja na velocidade da luz ($c = 300\frac{m}{\mu s}$), no intervalo de tempo de sua meia vida este deveria ter percorrido a distância de 450m, cerca de 200 vezes menor que a distância entre a superfície e a atmosfera. Daí surge uma pergunta: Porque que essas partículas são encontradas na superfície da Terra? A relatividade restrita responde. O tempo de meia vida do múon é medido no referencial no qual o múon está em repouso, ou seja, este referencial caminha junto com o múon. Mas para o referencial da Terra, o tempo será dilatado. Aplicando a equação da dilatação do tempo, $\Delta t = \gamma \Delta t_0$ onde Δt_0 corresponde ao tempo próprio e que o fator γ cresce na medida que o corpo possui uma velocidade próxima da velocidade da luz, este fator será da ordem de 200, que é compatível com a relação entre as distâncias mencionadas. Este fato é mais uma comprovação direta da relatividade restrita. Este último exemplo, serve para fortalecer ainda mais a teoria da relatividade mostrando para aqueles alunos ainda incrédulos da sua veracidade. Depois deste relato de duas comprovações experimentais, realizamos dois

exercícios. Um deles remonta o que foi estudado no primeiro encontro sobre a transposição da teoria clássica para a teoria relativística. Este exercício foi utilizado com o objetivo de aperfeiçoar a teoria trabalhada em sala no primeiro encontro. O segundo exercício trata da aplicação da teoria da relatividade no exemplo do paradoxo dos gêmeos. O objetivo deste exercício, é fazer com que o aluno tenha a concepção da importância de referencial e de que o tempo passa diferente para cada irmão, utilizando também a equação demonstrada em sala para comprovar (matematicamente) que o gêmeo que ficou na Terra o tempo passa mais devagar. No segundo momento deste encontro, foi percebido que os alunos já estavam empolgados em buscar mais conhecimentos sobre a relatividade, tanto é que no final da aula alguns deles perguntaram se iria acontecer um mini curso de relatividade geral, apenas com as ideias básicas sobre o tema com alguns dados experimentais. Este pequeno grupo que mostrou interesse em estudar relatividade geral, compõe um grupo de alunos que se destacam na escola com boas notas nas provas e simulados. A ideia é interessante e talvez possa ser utilizada em um outro momento. Retomando a este segundo momento, relatamos o fato de agora encontramos uma equação que comprove a dependência espacial com o referencial. Iniciamos com um dado de que no vagão do exemplo anterior existe uma barra de um material qualquer, em repouso no referencial do vagão e um observador parado no interior do vagão irá efetuar a medida desta barra no seu referencial. A medida encontrada pelo observador do vagão é denominada de **comprimento de repouso** L_0 . A mesma barra, agora será medida por outro observador que estará num outro referencial. Este segundo observador se encontra em repouso no referencial da estrada no qual o vagão está se movendo. O valor encontrado por este observador será menor do que o valor medido no interior do vagão. Neste momento foi tomado como uma observação importante o fato da contração do comprimento afetará apenas a dimensão do corpo na direção do movimento, logo as demais permanecerão com seus valores inalterados para este referencial. Para ajudar na compreensão dos alunos sobre a veracidade da teoria, foi utilizado como exemplo uma cena do filme *De volta para o futuro*, onde o carro do doutor Brown, necessitava passar por uma fenda no espaço que era menor que o comprimento do carro. Mas de acordo com a teoria da relatividade isso era possível, pois o carro no referencial da estrada estará comprimido² na direção do movimento e assim passará por esta fenda. Neste momento surgiu uma pergunta simples e interessante que iniciou uma discussão entre os alunos e autor da pesquisa. A pergunta foi a seguinte: É possível medir o tamanho de um carro em movimento com uma velocidade próxima da luz, tanto pelo motorista ou por um pedestre parado num calçada? Muitos alunos acharam ser impossível, já que o exemplo tomado pelo professor foi de uma barra no interior de vagão. A resposta para esta pergunta foi iniciada desenhando um veículo que se desloca com velocidade constante \mathbf{v} no quadro sobre um referencial (R) fixo e o

² Comprimido no sentido de que aparenta estar menor por se mover com uma velocidade próxima da luz.

motorista no referencial (R'). Marcamos um ponto **P** no referencial (R) e consideramos a existência de dois relógios sincronizados, um com o motorista e o outro com o pedestre. No momento que a parte frontal do carro passar pelo ponto **P** da estrada, os relógios nos diferentes referenciais serão disparados e serão desligados no momento que a parte de trás do carro atingir o ponto **P**. Assim serão feitas as medições dos comprimentos do carro pelos dois referenciais. No referencial (R), temos: $L = v \cdot \Delta t$ Lembrando que a medida **L** não é a medida própria e sim a relativa. No referencial (R'), temos: $L' = v \cdot \Delta t'$ Notamos que se dividíssemos as duas equações chegaríamos ao seguinte resultado: $\frac{L}{L'} = \frac{\Delta t}{\Delta t'}$ Como já sabemos, a relação entre os intervalos de tempo nos dois referenciais, chegamos ao seguinte resultado: $L = L' \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$. Assim confirmamos a equação relativística que comprova matematicamente a contração do espaço. A partir deste ponto resolvemos mais dois exercícios, cuja finalidade seria consolidar naquele momento a teoria e a matemática necessária para respondê-la.

3.2.3 Terceiro encontro

Neste terceiro encontro, iniciamos com resolução de exercícios que haviam gerado dúvidas em suas resoluções devido a matematização. Após a resolução destes exercícios, a aula foi iniciada no quadro com uma explanação oral. Na ocasião foi percebido que a maioria dos alunos já raciocinava de forma associativa com a teoria da relatividade restrita, ou seja, eles já perceberam que quando era relatado algum fato que remonte a teoria clássica, eles atrelavam as possíveis correções das equações para se adequarem com a relatividade restrita. Assim foi iniciada a aula com um exemplo clássico para a obtenção da medida da velocidade de um corpo em relação a um determinado referencial. O exemplo foi de um homem em movimento de velocidade constante \mathbf{v}' no interior de um vagão que também se move com velocidade constante \mathbf{u} , ambos no mesmo sentido. Desta forma foi apresentado a turma que na visão da teoria clássica, onde espaço e tempo eram absolutos, a velocidade medida por um observador externo era dado por $v_{Rel} = v' + u$. Levando este exemplo sob o domínio da mecânica relativística, onde o vagão passará a mover-se na velocidade próxima da luz, foi demonstrado para os alunos a correção na expressão clássica da adição das velocidades.

$$v_{Rel} = \frac{v' + u}{1 - \frac{uv'}{c^2}} \quad (3.1)$$

Com esta equação, foi relatado para a turma que no domínio da relatividade res/tri/ta não existe um referencial privilegiado, ou seja, para todos os referenciais a velocidade da luz deveria ser a mesma. Porém a turma tomou conhecimento que esta nova expressão pode ser transformada na equação do modelo clássico, quando a velocidade do vagão volta a ser \mathbf{u} que é muito menor que a velocidade da luz \mathbf{c} , pois o denominador da fração que está dentro do radical é muito maior que o numerador e desta forma esta fração

tenderá a zero. Portanto no radial só sobrar 1, cuja raiz quadrada é 1 e isso remonta a expressão clássica de que $v_{Rel} = v + u$. O exemplo que acima foi tratado, gerou uma pergunta muito interessante vindo de um dos alunos que foi a seguinte: Professor, se os papéis tivessem invertidos? O homem no interior do vagão medisse a velocidade de alguém do lado de fora do vagão, essa fórmula serve para este caso? A pergunta do aluno, foi complicada e difícil de responder. A solução para esta pergunta veio do fato de que a velocidade \mathbf{v}' é a velocidade medida pelo referencial interno do vagão, ou seja, bastava apenas utilizar a equação da composição de velocidades e isolar a velocidade \mathbf{v}' , assim obtemos: $v' = \frac{v-u}{1-\frac{uv}{c^2}}$. Aproveitando a pergunta do aluno, foi lembrado a turma que para qualquer referencial inercial a velocidade da luz é constante. Portanto se considerarmos que no interior do vagão $\mathbf{v}'=\mathbf{c}$ resultará $\mathbf{v}=\mathbf{c}$. A demonstração partiu da expressão matemática que resultou da pergunta do aluno.

$$v' = \frac{v - u}{1 - \frac{uv}{c^2}} \quad (3.2)$$

$$c = \frac{c^2(v - u)}{c^2 - uv} \quad (3.3)$$

$$c^2 - uv = cv - cu \quad (3.4)$$

$$c^2 + cu = cv + vu \quad (3.5)$$

$$c(c + u) = v(c + u) \quad (3.6)$$

$$v = c \quad (3.7)$$

Essa demonstração, comprova os postulados da relatividade onde afirmam que a velocidade da luz é a mesma para qualquer referencial inercial como foi relatado anteriormente. Este encontro foi finalizado com a resolução de exercícios que serviram de embasamento teórico e matemático para que os alunos possam responder as questões do pós-teste.

3.2.4 Quarto encontro

O quarto encontro foi iniciado com a aplicação de um segundo pré-teste (anexo), com o objetivo de avilar o conhecimento dos alunos acerca de conceitos que serão importantes para esse encontro que contempla a dinâmica relativística. Foi exposto para os alunos após a aplicação do pré-teste, que conceitos como o de massa, energia e momento linear deveriam ser reescritos pois a concepção clássica acerca desses conceitos não eram aplicadas no campo relativístico. Inicialmente, colocamos uma situação hipotética para que os alunos

pudessem entender a ideia de massa relativística. Deve ficar claro para os alunos que não há aumento de matéria e sim da inércia do corpo quando se encontra em movimento em relação a um referencial. A pergunta era a seguinte: Em qual situação é mais fácil de parar um automóvel, ele a 100km/h ou 200km/h?

A turma respondeu a primeira opção, que era mais fácil parar um carro a 100km/h do que a 200km/h. Em seguida foi feita a seguinte pergunta a turma:

Em uma colisão com um muro de tijolos, qual causará maior estrago: o carro do exemplo anterior ou um caminhão?³ A maioria dos alunos responderam: **depende da velocidade**.

Desta forma, os alunos perceberam que quanto maior a velocidade de um carro maior seria o estrago da colisão, ou seja, como um deles perguntou: *se o carro estivesse a 200km/h e o caminhão a 100km/h causariam o mesmo estrago numa colisão? Pois, percebe-se que o carro aparenta estar com maior massa como se fosse um caminhão com menor velocidade*. Apesar da velocidade do carro ter o dobro do valor da velocidade do caminhão, o autor da pesquisa não usou isso para afirmar que a massa do caminhão era o dobro da massa do carro. Assim foi colocado para a turma que a medida da massa foi feita no referencial externo e por este motivo tivemos a concepção de que a massa "aumenta" quando o carro se encontra em movimento, mas para o motorista a massa do carro ainda é a mesma independente de sua velocidade. No referencial do motorista a massa do carro é denominada de m_0 , *massa de repouso* e no referencial dos observadores externos (professor e alunos) a massa é denominada de m , *massa relativística*. Aproveitando o exemplo, a turma tomou conhecimento da expressão matemática da medida da massa em um referencial no qual a mesma não está em repouso.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (3.8)$$

Neste ponto, teve-se a oportunidade de apresentar a turma um experimento de um físico alemão chamado de **Alfred Bucherer**⁴ que comprovou a dilatação da massa de um elétron, quando este se move numa velocidade próxima a da luz. O experimento consiste em medir a razão entre a carga do elétron por sua massa quando o mesmo se encontrava em movimento em relação ao laboratório e foi percebido que esta razão diminuía a medida que os elétrons estavam mais velozes. Concluiu-se a partir deste experimento a "massa"⁵ do elétron aumenta quando o mesmo se encontra em movimento em relação a um referencial. Da teoria clássica era sabido que o momento linear era definido por $p = mv$. E desta forma, os alunos de imediato perceberam que se agora um corpo possuísse uma velocidade

³ Vale lembrar que a massa do caminhão é maior que o carro do exemplo.

⁴ Alfred Bucherer (1863-1927), foi o primeiro físico a utilizar a teoria da relatividade restrita e ficou famoso por seus experimentos acerca da massa relativística.

⁵ A palavra massa está escrita entre aspas porque é sabido que na verdade não é a massa do corpo que aumenta e sim sua inércia como ficou subtendido no exemplo do carro e do caminhão

próxima a da luz a expressão do momento deveria ser modificada, simplesmente pelo fato de já saber que a massa (inércia) é alterada quando o corpo está em movimento e que também nesta nova visão o momento linear deveria continuar obedecendo as leis de conservação. Assim a equação foi reescrita na forma: $p = \gamma mv$ Na forma no qual está colocado, o momento linear se conserva para qualquer referencial inercial e se reduz a definição clássica para velocidades muito menores que a velocidade da luz. Também foi inserido neste encontro o conceito de energia cinética e a partir dela chegamos a relação de equivalência mais famosa da relatividade restrita, $E = mc^2$. A energia cinética foi definida como sendo uma forma de energia adquirida por um corpo quando este se encontra em movimento em relação a um referencial. No campo relativístico, a expressão da energia cinética não é simples como ocorra com a expressão do momento linear. Logo podemos escrever a energia cinética da seguinte forma:

$$E_c = mc^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) \quad (3.9)$$

$$E_c = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - mc^2 \quad (3.10)$$

Na sala de aula, demonstramos que na equação relativística da energia cinética se $v = 0$, teremos $E_c = 0$ como já percebido na teoria clássica. Nela é dada pela diferença entre a energia de um corpo quando este se encontra em movimento com a energia que ele possui quando se encontra em repouso em relação ao referencial adotado. É importante explicar para a turma que mesmo em repouso o corpo possui energia equivalente a sua massa, daí a expressão $E = mc^2$. Esta equação mostra o princípio da equivalência entre massa e energia e vice-versa. Foi tomado como exemplo para este princípio os processos de desintegração nuclear, como o que acontece numa bomba atômica. Um outro exemplo comentado foi sobre o Sol e seus processos nucleares, com o acontecimento de várias fusões nucleares onde dois átomos de hidrogênio se unem formando um átomo de hélio e parte da massa desta fusão é transformada em energia na forma de calor, para se ter uma ideia em um segundo o Sol libera $3,8 \cdot 10^{26} J$ de energia. Para que a turma pudesse compreender melhor a concepção de equivalência entre massa e energia, foi usado como a exemplo a seguinte situação:

1. Imaginem um pão de 50g. Seria possível alimentar a população de uma cidade com ele?
2. Imaginemos uma situação em que a energia contida em um pão de 50g, fosse convertida em energia elétrica. Será que esta energia seria suficiente para iluminar esta mesma cidade⁶ da pergunta anterior?

⁶ Vamos imaginar uma cidade com pouco mais de 40000 habitantes

Notamos que na primeira pergunta (sem cunho religioso), os alunos responderam que não, que não era possível que apenas um pão pudesse alimentar a população de uma cidade. Mas na segunda pergunta quando foi falado em energia, eles pararam para pensar, onde alguns fizeram os cálculos (lembrando que a massa deve ser convertida em kg) e encontraram uma energia da ordem de $10^{15} J$ de energia. Este valor poderia iluminar uma capital do Brasil por alguns meses. Ainda neste encontro, foi demonstrado que apenas partículas com massa de repouso nula, como os fótons, podem viajar na velocidade da luz. Respondendo assim a uma das perguntas que um dos alunos fez no primeiro encontro. Para o fechamento teórico deste encontro, apresentamos a turma uma última equação que engloba a energia e o momento linear, onde a mesma serve de porta de entrada para ser aplicada com partículas que são governadas pela mecânica quântica, como por exemplo os fótons, os mésons, etc.

$$E^2 = p^2 \cdot c^2 + m_0 \cdot c^2 \quad (3.11)$$

Para partículas como os fótons, que são partículas de luz que possuem massa de repouso nula a expressão acima fica escrita da seguinte forma $E = pc$ e isto será utilizado no decorrer dos encontros. O encontro foi finalizado com resolução de exercícios de vestibulares, e durante as resoluções sempre associando o exercício com o tópico abordado na aula, para ajudar o aluno a associar o problema com a teoria contida no texto.

3.2.5 Quinto encontro

Antes de relatar o quinto encontro vale ressaltar que uma aula sobre mapas conceituais foi abordada com a turma em um outro horário para que não compromettesse todos os encontros. Esta aula sobre mapas conceituais deve ser trabalhada com os alunos antes da aplicação do pós-teste para que os mesmos não tenham dúvidas em sua construção e que o objetivo do mesmo é de organizar as ideias de um determinado assunto de qualquer área do conhecimento e isto foi fundamental para seu desempenho no pós-teste. Para a aula de mapas conceituais foram utilizadas uma sequência de lâmina em PPT, proposta por (SOARES, 2009) em sua dissertação de mestrado onde a mesma trabalhou temas de mecânica quântica com a ajuda de mapas conceituais.

O quinto encontro foi marcado para a realização do pós-teste. O pós-teste foi dividido da seguinte forma:

1. Nesta etapa os alunos formaram duplas, onde os mesmos iriam construir mapas conceituais acerca da Relatividade Restrita. Esta tarefa tinha o tempo máximo de 30 minutos, já que estava sendo executada em duplas.
2. Após o término dos mapas conceituais, os alunos se submeteram a realização de quinze perguntas, entre elas haviam perguntas do pré-teste com a finalidade de averiguar possíveis avanços nas respostas dadas em seus pré-testes e também questões objetivas

de alguns vestibulares, no nível de exigência das questões trabalhadas em sala durante os encontros. Para esta etapa foi atribuído um tempo máximo de 90 minutos.

Todos os alunos entregaram seu pós-teste no tempo pré determinado. A análise do resultado do pós-teste em comparação com o resultado do pré-teste foi quantitativa.

3.2.6 Sexto encontro

O sexto encontro foi iniciado com uma apresentação oral dos temas que serão trabalhados relativos a Mecânica Quântica e em seguida foi entregue a turma o terceiro e último pré-teste que assim como os outros, tem o objetivo de avaliar os conhecimentos prévios dos alunos para que eles possam evoluir com as ideias sobre o tema e superar possíveis obstáculos referente a alguns conceitos. Após o pré-teste, a aula foi iniciada com um vídeo que ajudará os alunos a entender melhor o que é Mecânica Quântica, suas aplicações e fundamentações teóricas. O vídeo foi baixado do youtube com o título de A teoria quântica - A saga do prêmio nobel tem duração de vinte e cinco minutos e seu endereço eletrônico é <<https://www.youtube.com/watch?v=FngrM5PeiYc>>, onde nele é relatado de uma forma simples como surgiu a teoria quântica 1900 com Max Planck e ela serviu de base para responder algumas perguntas ainda sem respostas no momento que eram o efeito fotoelétrico e a estabilidade do átomo. Durante o vídeo, foram realizadas algumas intervenções, e em uma delas era o fato de mais uma vez a existência de um paradigma vigente que não estava explicando alguns experimentos, daí entram as ideias de Thomas Kuhn mais uma vez, explicando o surgimento de uma nova teoria que respondesse as perguntas como são de fato o espectro emissor do corpo negro, o efeito fotoelétrico e a estabilidade do átomo. A aula inicia-se tratando do problema sobre a emissão da luz proveniente de um corpo quando este é aquecido. O corpo em questão, ficou conhecido como **corpo negro**, foi uma criação do físico **Gustav Robert Kirchhoff**⁷ que em 1859 estudava as relações entre as energias emitidas e absorvidas por corpos quando aquecidos, mostrando que há uma relação entre a temperatura do corpo e a frequência da radiação emitida pelo mesmo. O corpo negro possui um orifício por onde deve penetrar a luz que ao incidir será em parte refletida mas também em parte absorvida pelas paredes internas do corpo. Este quando aquecido deverá emitir a radiação no qual absorveu. A explicação da emissão era dada como sendo uma oscilação dos átomos que de acordo com o eletromagnetismo clássico estes átomos gerariam ao oscilar, ondas eletromagnéticas. A previsão da teoria clássica estava em desacordo com os dados experimentais, ou seja, a energia emitida por um corpo quando aquecido não concordava com a frequência da luz emitida prevista pela teoria clássica. A teoria clássica afirmava que quanto maior a temperatura do corpo maior deveria ser a frequência da luz emitida e desta forma

⁷ Gustav Kirchhoff era professor e também o orientador de Max Planck em sua tese de doutorado na área da Termodinâmica.

ela previa a existência de uma frequência relativa a radiação ultravioleta que não fazia parte do espectro visível e assim o corpo deveria neste momento estar invisível, e isto não aconteceu. Este fato ficou conhecido como a **catástrofe do ultravioleta**. Neste momento, relatamos e expomos no quadro algumas teorias importantes com seus gráficos experimentais (quando necessário) que por estarem de certa forma incompletas não se encontravam em total acordo com os dados da teoria clássica. Foi iniciado com a lei de **Stefan-Boltzman** que afirmava que a radiação emitida pelo corpo negro, expressa em potência por unidade de área $\frac{W}{m^2}$ é proporcional a quarta potência da temperatura absoluta, cuja expressão matemática é dada por:

$$R_{cn} = \sigma^4 \quad (3.12)$$

Na equação R_{cn} é conhecido como radiância e σ é a constante de Stefan-Boltzmann e vale $5,67 \cdot 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$. O problema da teoria de Stefan-Boltzmann é que a mesma não explica como se dá a distribuição de frequências das radiações emitidas pelo corpo pois ela só atém a temperatura. Na sequência foi exposto uma importante lei que reúne o comprimento de onda máximo de emissão da luz de um corpo com sua temperatura absoluta. Esta lei ficou conhecida como **Lei do deslocamento de Wien**. Wilhelm Wien⁸ conseguiu demonstrar de maneira empírica, ou seja, através da observação e da experimentação que o comprimento de onda era função da temperatura absoluta dada pela expressão:

$$\lambda = \frac{b}{T} \quad (3.13)$$

O b que aparece na equação acima é uma constante e vale $b = 2,898 mm \cdot K$ e independe do tipo de material que constitui o corpo. O problema mais uma vez estava no fato de que a expressão era válida apenas a uma faixa do espectro eletromagnético. Antes de chegar na teoria quântica, foi exposta mais uma teoria que ainda se apoiava no eletromagnetismo clássico e na termodinâmica que culminou em uma outra expressão da energia conhecida como a **Lei de Rayleigh-Jeans**.

$$\rho_T = \frac{8\pi f^2 k_B T}{c^3} \quad (3.14)$$

Na equação de Rayleigh-Jeans, o termo ρ_T representa a quantidade de energia irradiada em uma dada frequência f quando um corpo está numa temperatura T e k_B é a constante de Boltzmann que vale $k_B = 1,38 \cdot 10^{-23} J/K$. No gráfico desenhado no quadro, demonstrou-se para a turma que quando a frequência aumentava a energia tendia para o infinito, ou seja, mais uma teoria que era válida apenas para uma certa faixa de frequência. Antes de começar a falar sobre as ideias revolucionárias de Max Planck, foi feito um breve comentário para que os alunos frisassem que todas as leis até aqui expostas eram falhas porquê de acordo com o eletromagnetismo clássico a absorção e emissão da radiação do

⁸ Era um físico alemão que recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1911 por suas descobertas relacionadas as leis que governam a radiação do calor.

corpo era feito de modo contínuo e assim todas falharam. Finalmente, nesta fase da aula foi dado os primeiros passos sobre a Mecânica Quântica. Em 1900, Max Planck apresentou a comunidade científica da Alemanha uma proposta de obtenção de uma expressão matemática da emissão da radiação de um corpo e que fosse válida para todo o espectro. Nesta proposta, Max Planck concebe a ideia de que a emissão não é de forma contínua, como defendia a teoria clássica, mas sim de forma discreta, onde ele chamou de *quantum = pacotes de energia* e assim chegou a seguinte equação:

$$\rho_T = \frac{8\pi}{c^3} \cdot \frac{f^3}{e^{\frac{hf}{k_B T}} - 1} \quad (3.15)$$

Contudo, foi em dezembro 1900 na qual foi apresentada esta teoria para a comunidade científica e esta data ficou conhecida como o nascimento da Mecânica Quântica, confirmando que a expressão estava de pleno acordo com os resultados experimentais. Chamou-se atenção a turma mais uma vez que a forma de emissão da energia em pacotes foi crucial para a modificação das equações e chegar a uma que contemplasse a todo o espectro. O nome mecânica quântica se deve ao fato de que os pacotes de energia ser denominado de *quanta* cujo plural é *quantum*. Para explicar sua equação, Max Planck admitiu um modelo no qual os átomos no interior da cavidade do corpo negro tivessem um comportamento de osciladores que geravam ondas eletromagnéticas cada um com uma respectiva frequência. Após a concepção imposta acima, foi apresentado a turma as primeiras hipóteses acerca da teoria quântica, proposta por Planck. Um oscilador não pode emitir qualquer energia, mas sim aquela que satisfaça a equação $E = nhf$. Nesta equação foi apresentado para a turma o significado de cada termo. O n representa um número inteiro que na equação trata da quantidade de fótons de cada radiação; h é agora uma constante da natureza, conhecida como constante de Planck e vale $h = 6,62 \cdot 10^{-34} Js$ e f é a frequência da radiação. A equação da energia contida em uma radiação nos remete a observar que a mesma é proporcional a frequência da radiação e emitida de forma *discreta* e não *contínua*. Para melhor absorver a ideia proposta por Planck, foi usado como exemplo o pagamento hipotético de uma conta em um supermercado com moedas de um centavo, para que os alunos percebessem que a quantização está associada a valores discretos, ou seja, não poderíamos pagar esta conta com moedas de meio centavo, frações de centavos, já que a menor divisão de nossa moeda é um centavo. Isso justifica que todas as moedas e cédulas são múltiplos de um centavo. Em seguida usamos um outro exemplo, agora dentro do campo da Física que é a quantização da carga elétrica. A carga elétrica tem como base elementar a carga do elétron, ou seja, um corpo nunca pode perder nem ganhar frações de elétrons e sim elétrons inteiros e desta forma calculasse a quantidade de carga em um corpo eletrizado pela expressão $Q = ne$. Finalizado todo este embasamento teórico, os alunos fizeram algumas perguntas relativamente simples, dentre elas foram destacadas apenas duas, que são:

1. Como Planck sabia que esta forma de emissão era a correta?
2. Como foi que Planck calculou o valor da constante h ?

A resposta dada aos alunos das perguntas acima foi que primeiramente o próprio Max Planck não acreditava que iria dar certo, foi mais uma tentativa de *desespero* para resolver de uma vez por todas a questão da emissão do corpo negro que rendeu a Planck o prêmio nobel de 1918, e quem calculou o valor de sua constante foram dois físicos experimentais e não o próprio Planck. Neste encontro houve tempo apenas para um exercício como exemplo.

3.2.7 Sétimo encontro

Iniciamos este encontro com a aplicação de exercícios que foram propostos para a turma resolver em casa. Após o término das questões, para este encontro foi tratado a primeira comprovação da teoria quântica que foi a explicação do efeito fotoelétrico realizada por Einstein e que lhe rendeu o prêmio Nobel de Física de 1921. Abordamos inicialmente as primeiras observações realizadas por **Heinrich Hertz** em 1886 quando investigava acerca da teoria eletromagnética de Maxwell e observou pela primeira vez o efeito mas não dando muita importância ao mesmo. Ele apenas concluiu que ao incidir luz ultravioleta nas esferas metálicas (eletrodos) de seu experimento percebeu que elas emitiam faíscas com mais facilidade. Mas coube ao seu aluno o físico **Philipp Lenard** investigar mais a fundo o efeito fotoelétrico porém sem sucesso. Detalhamos todo o experimento realizado por Philipp Lenard, pois isso foi importante tanto no contexto histórico quanto nas perguntas sem respostas que levaram Einstein a descrever de forma correta e utilizar pela primeira vez a teoria quântica de Planck comprovando sua veracidade. Comentou-se que o efeito fotoelétrico comprova o caráter corpuscular da luz, que já havia sido comprovado por Thomas Young onde a luz era uma onda através do experimento da dupla fenda. Utilizou-se um experimento virtual (simulação) do efeito fotoelétrico que pode ser encontrado no sítio: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/photoelectric> onde esta simulação pode ser baixada da internet e o aluno e também o professor podem fazer seu estudo experimental com ele. Nesta simulação os alunos perceberam a existência de algumas condições para a ocorrência do efeito fotoelétrico no qual podemos destacar:

1. A condição da radiação possuir uma frequência mínima ou de corte para que ocorra o efeito fotoelétrico;
2. A dependência do tipo de metal utilizado na placa onde incide a radiação, pois cada metal possui uma grandeza conhecida como função trabalho ϕ que está associada a uma energia mínima para vencer as ligações atômicas;

A utilização da simulação é facilitadora de aprendizagem, pois nela o aluno pode observar toda a teoria trabalhada com eles em sala sendo praticada através desta simulação retirada do site do **phet**. Durante a demonstração desta simulação os alunos interagiram com perguntas e sugestões para variar tanto o tipo do material da placa quanto a cor da radiação, pois os mesmos sabiam que com a alternância de cor estaríamos modificando a frequência da radiação já que na própria simulação ele dispõe de uma faixa do espectro eletromagnético separado por cores. Os alunos perceberam também que na simulação os elétrons arrancados da placa possuíam velocidades diferentes e daí surgiu a pergunta do porquê que isso acontecia, já que a equação proposta por Einstein afirma a energia cinética é a diferença da energia da radiação incidente da placa com sua respectiva função trabalho. Este fato leva a crer que todos os elétrons deveriam sair com mesma velocidade. A explicação para isto se dá no fato de os elétrons mais próximos da superfície metálica são mais fáceis de serem arrancados do que os elétrons mais internos na placa, ou seja, para os elétrons mais próximos da superfície sobram mais energia na forma de cinética do que os elétrons mais internos, pois estes precisam de mais energia para serem arrancados da placa sobrando assim pouca energia cinética. Durante a simulação, foi comentado e exposto no quadro a equação da energia proposta por Planck $E = nhf$ e frisou-se que é muito comum a utilização da unidade *elétron-volt* em alguns problemas, no qual corresponda a energia que um elétron possui quando acelerado através de uma diferença de potencial (ddp) e vale $1,6 \cdot 10^{-19} J$. Explicou-se que a utilização desta unidade de medida será levada em conta também quando vir a ser tratado as energias das órbitas do átomo de hidrogênio. Com o final da simulação foi realizado um debate com os alunos frisando da importância deste efeito para os dias de hoje no qual é bastante aplicado em algumas tecnologias, e da comprovação da até então duvidosa teoria quântica.

3.2.8 Oitavo encontro

O oitavo encontro foi iniciado com um relato da evolução da teoria atômica que vai desde a Grécia antiga com os famosos atomistas **Demócrito** e **Leucipo**, passando por Thompson conhecido como *pudim de passas* em seguida foi tratado o modelo planetário de Rutherford e finalmente o modelo de Bohr que ficou marcado pela segunda comprovação da teoria quântica, onde ele a utiliza para comprovar a estabilidade do átomo. Durante a explicação da evolução atômica, os alunos mostraram ter conhecimento do contexto histórico, visto que o mesmo já havia sido feito nas aulas de Química, mas mesmo assim é importante iniciarmos uma discussão sobre um determinado tema com uma abordagem histórica e epistemológica, na qual acreditamos, baseado nos resultados obtidos, que isto facilita a aprendizagem dos alunos, pois eles já perceberam desde as ideias propostas de Thomas Kuhn. Foi explicado que no início do século XIX, o modelo planetário do átomo consistia de um núcleo central carregado positivamente e em torno dele caminhava em uma órbita uma carga carregada negativamente, e este modelo era incompatível com o

eletromagnetismo clássico. Pois era sabido que uma partícula carregada e submetida a uma aceleração deveria emitir radiação eletromagnética e assim a estrutura atômica entraria em colapso. Neste momento foi discutido com a turma o fato de que o elétron acelerado deveria emitir radiação eletromagnética, onde o mesmo vai perdendo energia e se aproxima do núcleo com uma frequência de seu movimento circular cada vez maior, emitindo um espectro contínuo e desta forma não poderia existir o átomo de hidrogênio estável na natureza. O trabalho de Bohr foi capaz de explicar porque átomos quando excitados emitem luz somente com certas frequências e para alguns casos foi capaz de prever os valores destas frequências. Após o contato com a espectroscopia e mais precisamente com a equação empírica⁹ de **Balmer** que Bohr deu uma alavancada em suas ideias sobre o átomo. O primeiro sucesso da teoria de Bohr foi explicar o espectro de emissão dos átomos e para obter tal feito, ele fez incidir uma luz branca sobre um determinado gás e que ao emitir luz sobre uma tela ele verificou a presença de algumas raias escuras o que se conclui que estes comprimentos de onda foram absorvidos pelo gás. Bohr foi capaz de detectar com precisão, para o hidrogênio, a magnitude do espectro de raias que possuem nomes especiais como as de **Layman** na faixa do ultravioleta, **Balmer** na faixa do ultravioleta e próximo do visível e **Paschen** na faixa do infravermelho. Depois deste relato, os alunos tomaram conhecimento da expressão empírica de Balmer que intrigou os cientistas da época, até que Bohr com posse da teoria quântica conseguiu chegar a equação de Balmer.

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \quad (3.16)$$

$$n = 3, 4, 5, \dots \quad (3.17)$$

Na equação empírica de Balmer o termo R_H é conhecido como a *constante de Rydberg* para o átomo de hidrogênio e seu valor corresponde a $R_H = 10967757,6m^{-1}$. Nesta momento da aula, se deu início a comprovação da fórmula de Balmer através dos postulados de Bohr para o átomo de hidrogênio. Estes são os postulados de Bohr:

1. *Um elétron em um átomo se move em uma órbita circular em torno do núcleo sob influência da atração coulombiana entre o elétron e o núcleo, obedecendo às leis da mecânica clássica.*
2. *Em vez da infinidade de órbitas que seriam possíveis segundo a mecânica clássica um elétron só pode se mover em uma órbita na qual seu momento angular orbital L é um múltiplo inteiro de \hbar (a constante de Planck dividida por 2π).*
3. *Apesar de estar constantemente acelerado, um elétron que se move em uma dessas órbitas possíveis não emite radiação eletromagnética. Portanto sua energia total E permanece constante.*

⁹ Equação empírica é aquela que é aceita sem demonstração matemática mas com comprovação experimental

4. *É emitida radiação eletromagnética se um elétron, que se move inicialmente sobre uma órbita de energia total E_i , muda seu movimento descontinuamente de forma a se mover em uma órbita de energia total E_f . A frequência da radiação emitida ν é igual à quantidade $E_f - E_i$ dividida pela constante de Planck h .*

No próximo encontro, vai ser apresentado a turma a concepção probabilística da Mecânica Quântica que é o **Princípio da Incerteza de Heisenberg** e sendo assim a ideia de posição(órbita) e velocidade das partículas são dados probabilísticos e não mais determinista como era proposto em um dos postulados de Bohr. Assim fizemos alguns comentários acerca dos postulados de Bohr para que a turma já perceba que a mecânica quântica possui outras interpretações. Desta forma o primeiro postulado de Bohr não faz parte da atual Mecânica Quântica, porém o terceiro e o quarto continuam válidos e o segundo que trata do momento angular é parcialmente correto pois não é da forma que Bohr propõe. A partir desta discussão foi iniciada a demonstração da expressão matemática da energia das órbitas e em seguida chegou-se a comprovação da fórmula de Balmer a partir dos postulados, gerados da teoria quântica de Planck.

Com o término da demonstração das fórmulas matemáticas, os alunos fizeram alguns questionamentos que dentre eles destacamos:

1. Professor, a expressão matemática dos níveis de energia valem para qualquer átomo?
2. Professor, podemos calcular a energia das órbitas de todos os elementos da tabela periódica?

Nota-se que as perguntas são bem parecidas, porém podem ser respondidas com respostas diferentes. Com relação a primeira pergunta, a expressão dos níveis de energia e seus possíveis saltos quânticos são para átomos monoelétrônicos, ou seja, para aqueles que se assemelham ao átomo de hidrogênio. Mas se o átomo em questão for multieletrônico a expressão proposta por Bohr não será mais válida a não ser que sofra algumas adaptações. A resposta para a segunda pergunta é mais ligada a Química do que a Física, logo a expressão de Bohr para os níveis de energia se dá apenas para o átomo de hidrogênio ou átomos que possuem apenas um elétron, ou seja, a mesma se torna falha para elementos da tabela periódica que não possuem esta característica.

3.2.9 Nono encontro

A aula foi iniciada com uma breve revisão acerca do átomo de Bohr e resolução de exercícios questionados pelos alunos acerca das unidades de energia em comparação com a constante de Planck, pois esta falta de atenção já estava sendo prevista desde o sétimo encontro onde alguns alunos possuem dificuldade nas unidades de medidas das grandezas

físicas e que as mesmas estejam compatíveis com a constante de Planck. O nono encontro foi programado para o fechamento da programação acerca da Mecânica Quântica, onde foi abordado as Ondas de Matéria de De Broglie e o Princípio da incerteza de Heisenberg. Antes de iniciarmos a discussão dos temas com a turma, foram passados dois vídeos, o primeiro sítio é encontrado em <<https://www.youtube.com/watch?v=GXAYW4a3OZY>>. Nele foi abordado de forma sequencial a introdução ao comportamento onda partícula da matéria com um modelo no qual bolas de baseball eram lançadas por um aparelho primeiramente através de uma fenda até atingirem um anteparo colocado por trás das fendas no qual o atingiram configurando uma coluna de pontos de impacto. Em seguida as bolas foram lançadas do mesmo aparelho agora sobre duas fendas e no anteparo formou-se duas colunas de pontos de impacto. Neste momento, foi realizada uma intervenção pelo professor relatando que a princípio nada de surpresa quanto ao resultado esperado. O teste agora foi realizado com ondas, que para ficar mais clara a ideia da interferência, utilizaram ondas na superfície da água, ora passando por uma fenda e ora por duas fendas. Quando passada por duas fendas, as ondas mostraram um padrão de interferência no anteparo, que como já foi dito este experimento veio a comprovar o caráter ondulatório da luz. Este é o famoso experimento de Young da fenda dupla. Mais uma intervenção foi realizada pelo professor, onde foi levantado a questão do comportamento dual existente na luz. No efeito fotoelétrico a luz assume um comportamento de partícula e no experimento da dupla fenda a luz apresenta um comportamento ondulatório. Daí surge uma questão importante, nesta fase dos encontros os alunos já devem ter assimilado que a luz é constituída de partículas no qual denominamos de fótons e estes fótons possuem comportamento ondulatório, pois o experimento de Young comprova este comportamento. Sendo assim, será possível que a matéria, como uma bola de baseball, ou até mesmo uma bola de futebol pode ter um comportamento ondulatório? Esta pergunta foi feita pelo professor para que os alunos começassem a ter uma concepção de que a matéria possui um comportamento ondulatório, como foi proposto por de Broglie. Depois desta intervenção, foi continuado o vídeo onde ele aborda exatamente este aspecto. O experimento da dupla fenda foi realizado desta vez com elétrons e o mesmo padrão de interferência foi encontrado no anteparo quando foi utilizado com ondas. E assim comprovou-se que a matéria também possui comportamento ondulatório. A proposta deste evento foi feita em sua tese de doutorado pelo físico francês Louis de Broglie, no qual propõe a extensão do comportamento ondulatório para partículas quânticas.¹⁰ Desta forma ficou claro para os alunos que as partículas quânticas possuem comportamento dual, ou seja, ora se comportam como partículas como foi observado no efeito fotoelétrico (e também foi comentado sem detalhes sobre o efeito Compton para que os alunos tomassem conhecimento de que existe outro experimento no qual a radiação se comporta como partícula) e ora como onda como foi demonstrado no experimento de

¹⁰ Partículas quânticas são partículas como elétrons, prótons, fótons entre outras, que pertencem ao mundo microscópico e são regidos pelas leis probabilísticas da Mecânica Quântica

Young. Para a explicação matemática, da expressão do comprimento de onda de de Broglie foi partido da premissa da equação discutida na aula de Relatividade.

$$E^2 = p^2 c^2 + m_0^2 c^4 \quad (3.18)$$

Neste momento foi lembrado aos alunos que o fóton é definido como sendo uma partícula de luz que possui massa de repouso nula, logo temos que:

$$E = pc \quad (3.19)$$

Porém de acordo com teoria quântica de Planck, a energia contida numa radiação é expressa por $E = hf$ e substituindo na expressão anterior temos:

$$hf = pc \Rightarrow h \frac{c}{\lambda} = pc \Rightarrow \lambda = \frac{h}{p} \quad (3.20)$$

A famosa equação de de Broglie revela a relação entre o comportamento dual da matéria, pois numa mesma equação vemos um caráter ondulatório λ e também o caráter corpuscular através do momento p . Vale lembrar que o caráter dual onda-partícula são as explicações aos experimentos diversos nos quais uma mesma entidade pode ser considerada partícula ou onda, e isto depende do experimento.

A comprovação experimental da expressão matemática acerca do comprimento de onda de de Broglie foi realizada em 1927 pelos físicos Clinton Joseph Davisson (1881-1958) e Lester Halbert Germer (1896-1971), num experimento que leva o nome dos dois, o **Experimento de Davisson-Germer**. Foi relatado que segundo (PERUZZO, 2013), Davisson e Germer estavam verificando a reflexão de elétrons em um alvo de níquel, quando acidentalmente perceberam a difração das ondas dos elétrons. Ao tentarem remover a camada de óxido que havia se formado no alvo, constataram a formação de máximos e mínimos. Eles utilizaram um canhão de elétrons no qual produzia elétrons de baixa energia e os fizeram incidir no alvo de níquel na direção normal e com um detector, eles analisavam os elétrons espalhados onde obtiveram um máximo numa inclinação de 50° . O arranjo dos átomos do cristal de níquel, possui seus núcleos separados por uma distância da ordem de $10^{-15}m$ que atua como uma rede de difração, onde difrata as ondas dos elétrons emitidos. Com os dados obtidos eles verificaram ser consistente a proposta de de Broglie de a matéria teria comportamento ondulatório. Explicou-se este experimento utilizando uma imagem que se encontra no endereço eletrônico <<http://slideplayer.com.br/slide/359071/>>. Essas concordâncias constituem argumento sólido para se crer na veracidade da teoria e que realmente os elétrons possuem comportamento ondulatório.

A segunda parte deste encontro, foi tratado o estudo da Mecânica Quântica com seu caráter probabilístico. O princípio da incerteza nos remete a termos uma nova concepção de posição e velocidade de uma partícula como estávamos acostumados a calcular com precisão nos domínios da Mecânica Clássica. Foi iniciado o segundo vídeo cujo endereço

eletrônico é <<https://www.youtube.com/watch?v=2n8YKivjF9g>>, no qual observou-se mais uma vez o comportamento ondulatório da matéria, mas o objetivo de utilizar este vídeo está no fato de **medir**. Os alunos perceberam que existe um tipo de "conspiração" do mundo quântico quanto ao fato de se tentar medir por qual das fendas passará o elétron. E que ao tentar medir a posição do elétron a figura de interferência desapareceria do anteparo. Neste momento, a explicação do fato de que apenas o medir de uma grandeza física é afetado pelo aparelho utilizado e que o mesmo interfere no resultado, foi feita através de uma situação simples do aluno entender. Foi pedido que imaginassem que tivesse que medir a temperatura da água contida em um recipiente. A temperatura do termômetro não afetará de forma significativa a temperatura da água contida no recipiente, mas se fossemos medir com esse mesmo termômetro a temperatura de uma gota de água, com certeza a temperatura do termômetro de certa forma iria influenciar no resultado, ou seja, teríamos uma *incerteza* muito grande na medição da temperatura desta gota de água. É possível observar que a incerteza da medida fica mais evidente quando nos remetemos ao mundo microscópico. Neste momento, começamos a pensar nos elétrons do vídeo. Para se determinar a posição do elétron devemos incidir luz sobre ele, e desta maneira podemos fazer com que o comprimento de onda da luz utilizada seja pequeno para que possamos ter uma precisão quanto a sua posição. Mas se for diminuído o comprimento de onda da luz, iríamos aumentar a energia dos fótons e assim durante a colisão com os elétrons alteraríamos seu momento linear. O que foi concluído é que obteríamos uma precisão na posição e conseqüentemente uma incerteza na medição da velocidade do elétron. Apresentou-se então a equação proposta por Heisenberg acerca desta imprecisão, onde ele mostra que há um limite para a medição da posição e do momento linear de uma partícula quântica.

$$\Delta p \cdot \Delta x \geq \frac{h}{4\pi} \quad (3.21)$$

Na equação acima temos que Δp representa a incerteza na medição do momento linear e Δx a incerteza na posição. Alguns livros didáticos utilizam uma outra notação da relação de incerteza, pois sabe-se que $\hbar = \frac{h}{2\pi}$ e assim temos:

$$\Delta p \cdot \Delta x \geq \frac{\hbar}{2} \quad (3.22)$$

Nesta etapa os alunos foram alertados para alguns fatos importantes que estão na interpretação desta equação, com o seguinte enfoque:

1. A equação mostra que sempre que se tem uma incerteza muito pequena na posição Δx , devemos ter uma incerteza muito grande no momento linear Δp e vice-versa;
2. Ela também nos revela por que é possível o caráter dual da onda e da matéria, ou seja, se o elétron apresentar seu caráter ondulatório o seu caráter corpuscular torna-se indistinto e se seu caráter ondulatório prevalecer o caráter corpuscular

torna-se indistinto. Com isto concluímos que não é possível observarmos os dois comportamentos, não são possíveis de serem observados na mesma situação.

Concluiu-se o encontro com uma outra relação de incerteza que desta vez tratava da energia contida numa radiação com o intervalo de tempo de emissão ou absorção. A equação foi apresentada a turma através de uma análise fenomenológica e sem demonstrações como foi realizado anteriormente.

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2} \quad (3.23)$$

O fechamento do encontro se deu com a resolução de exercícios onde foi possível responder a algumas perguntas dos alunos e relembrar alguns conceitos anteriores.

3.2.10 Décimo encontro

Este encontro foi o fechamento da pesquisa com a aplicação do último pós-teste, no qual foram utilizadas as mesmas regras do quinto encontro que tratou do pós-teste referente a Relatividade Restrita. Assim foram propostas as regras do pós-teste:

1. Nesta etapa os alunos formaram duplas, onde os mesmos iriam construir mapas conceituais acerca da Mecânica Quântica. Os alunos foram alertados que deveria fazer uma dissertação simples, onde a dupla iria argumentar como eles construíram seus mapas e explicar as conexões entre os conceitos por eles definidos. Esta tarefa tinha o tempo máximo de 40 minutos, já que estava sendo executada em duplas.
2. Após o término dos mapas conceituais, os alunos se submeteram a realização de quinze perguntas, entre elas haviam perguntas do pré-teste com a finalidade de averiguar possíveis avanços nas respostas dadas em seus pré-testes e também questões de vestibulares no nível de exigência das questões trabalhadas em sala durante os encontros. Para esta etapa foi atribuído um tempo máximo de 80 minutos.

Os alunos fizeram a tarefa solicitada no tempo previsto e neste último encontro apareceram alguns alunos que haviam faltado dois encontros. Só foram computados os resultados dos alunos que estiveram presentes em todos os encontros. No próximo capítulo iremos apresentar os resultados obtidos da pesquisa bem como uma pequena discussão acerca de alguns mapas conceituais construídos pelos alunos. Num momento após a realização da pesquisa, o autor da mesma, escaneou os mapas conceituais entregues pela turma e os apresentou aos alunos utilizando o power point e um canhão multimídia (data show) para que junto com eles avaliassem com algumas ponderações de caráter construtivista, apontando onde alguns mapas poderiam melhorar e assim ajudar na aprendizagem dos alunos.

4 Resultados e Discussões

4.1 Introdução

Este trabalho de pesquisa foi pensado e executado com o objetivo de auxiliar outros professores de Física do ensino médio, mediante a metodologia da aprendizagem significativa, e com uma proposta pedagógica para que possam aplicar a mesma em suas aulas de Física Moderna como ferramenta de aprendizagem para os alunos. A maneira na qual buscamos verificar a aprendizagem dos alunos foi com a realização de um pós-teste dividido em duas etapas, onde na primeira os alunos se reuniram em duplas e desenvolveram seus mapas conceituais e na sequência e de forma individual os mesmos foram submetidos a um questionário com perguntas semelhantes às do pré-teste e questões de vestibulares semelhantes as que foram trabalhadas em sala de aula. A ideia de realizar um pós-teste neste formato, foi proposta para que as duplas de alunos discutissem entre si sobre o tema confrontando suas ideias e desta forma construíssem uma ferramenta na qual serviria de resumo para que eles pudessem ativar seus conhecimentos prévios sobre o assunto, simulando uma situação de estudo em grupo. É importante lembrar que os mapas foram construídos ao final do curso de Relatividade Restrita e ao final do curso de Mecânica Quântica, onde neste último os alunos descreveram seus mapas com uma pequena redação fortalecendo assim sua aprendizagem e evolução de conhecimentos. O mapa conceitual pode ser visto como uma conclusão da aprendizagem dos alunos e nele apresentarem suas concepções acerca do tema os ajudando a tornar os conceitos-chaves mais evidentes levando em consideração o contexto hierárquico sobre os conceitos do referido assunto. A análise dos mapas foi realizada pelo professor com o intuito de acrescentar alguns conceitos que por eles foram esquecidos e que eram relevantes para o mapa no tocante a abordagem completa do tema, e também analisar conceitos colocados indevidamente quanto a seus significados ajustando assim as ideias do mapa conceitual. Acerca da construção dos mapas conceituais, vale salientar que o professor verificou se haviam apenas indícios de aprendizagem e que desta forma foram feitas observações construtivas sobre os mapas elaborados pelos alunos, pois partimos da premissa de que não existe um mapa conceitual fixo de cada conteúdo e sim um mapa elaborado de tal conteúdo seguindo por um caminho de significados que são atribuídos sobre o tema pelos alunos. Para Moreira (2011)

[...] nunca se deve esperar que o aluno apresente na avaliação do mapa conceitual *correto* de um certo conteúdo. Isso não existe. O que o aluno apresenta é o seu mapa e o importante não é se esse mapa está certo ou não, mas sim se ele dá evidências de que o aluno está aprendendo significativamente o conteúdo.

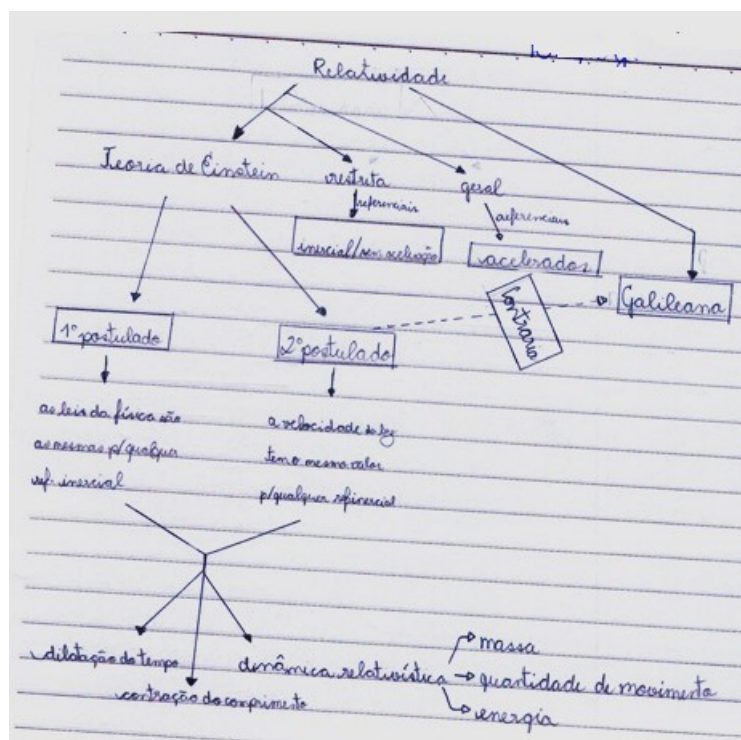
Pelo grande número de mapas conceituais, iremos expor aqueles que apresentaram serem mais completos sobre o assunto e quanto a hierarquia dos conceitos.

4.2 Análise dos mapas conceituais sobre Relatividade Restrita

Os mapas conceituais sobre Relatividade foram feitos pelos alunos (em duplas) onde eles poderiam utilizar suas anotações sobre o tema e não foi permitido o uso da internet, haja vista que o nosso interesse era de motivá-los a estudar sobre o tema e pôr numa folha de papel o que ele entendia e quais suas concepções sobre o tema. O mapa conceitual como ferramenta de aprendizagem, facilitou bastante a compreensão do tema, levando os alunos pesquisar sobre física e a discutir ciência em sala de aula.

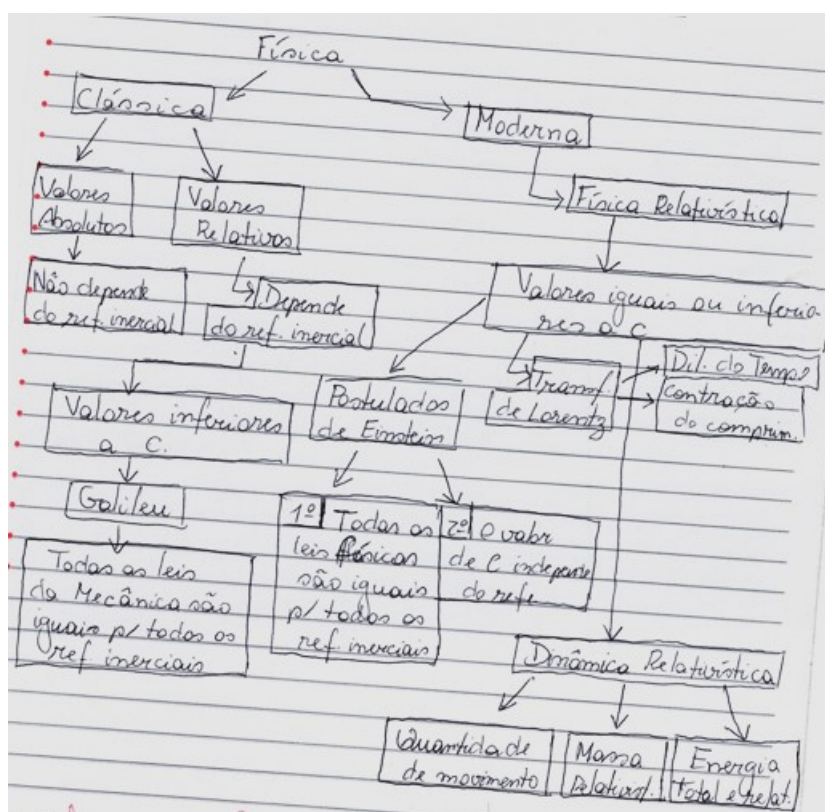
4.2.1 Mapa conceitual 1

Neste mapa observamos que é iniciado com o conceito de Relatividade onde eles fizeram as ligações separando a relatividade restrita da relatividade galileiana, no qual demonstra ter percebido a diferença entre as duas, porém não apresentou o cuidado de relacionar a Einstein a relatividade restrita e geral. Em seguida usa os postulados de Einstein ligando a conceitos inclusivos que eram tidos como absolutos na relatividade galileiana e agora passaram por modificações para serem aceitos no campo da relatividade restrita. O uso da ligação com o 2º postulado de Einstein a Galileu, parece que os alunos entenderam que o conceito de velocidade relativa para corpos que viajam na velocidade da luz não é aplicável no campo da relatividade galileiana.



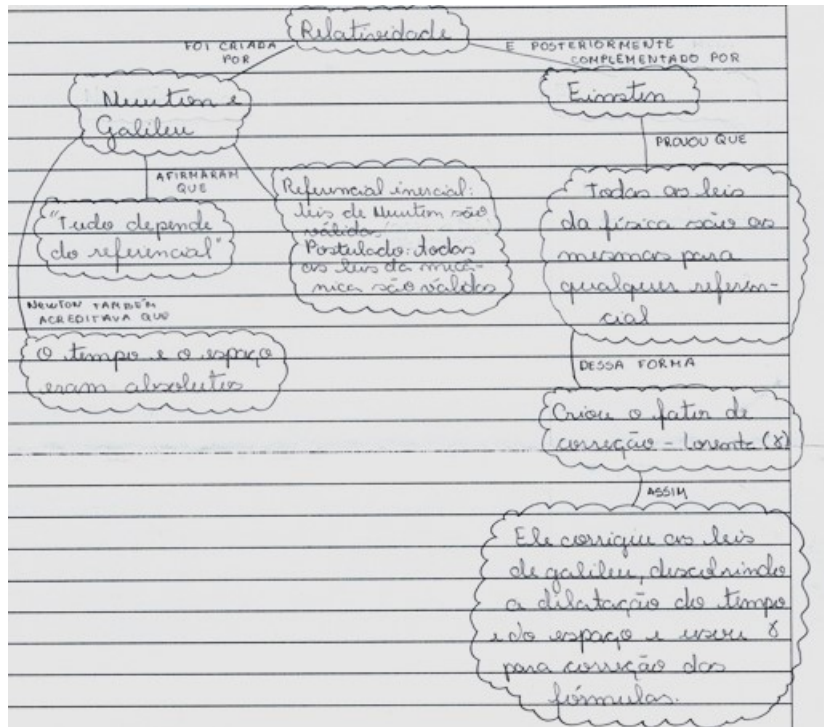
4.2.2 Mapa conceitual 2

Observamos que neste mapa os alunos começaram com o conceito de Física e em seguida a dividiram em Clássica e Moderna no qual identificam os seus domínios e limites de atuação no caso da clássica. No que se refere a Física Moderna, eles denominaram de Física Relativística onde talvez quisessem ter escrito apenas relatividade restrita. No tocante a relatividade einsteiniana, eles parecem ter conseguido entender que o domínio da mesma é para corpos que se movem com velocidade próxima a da luz e que isso fez com que Einstein criasse novos postulados que servem de base para a elaboração de novos conceitos como o de tempo e espaço e assim deveria utilizar nas equações de espaço e tempo clássicas o fator de Lorentz para que agora essas equações sejam válidas na relatividade restrita.



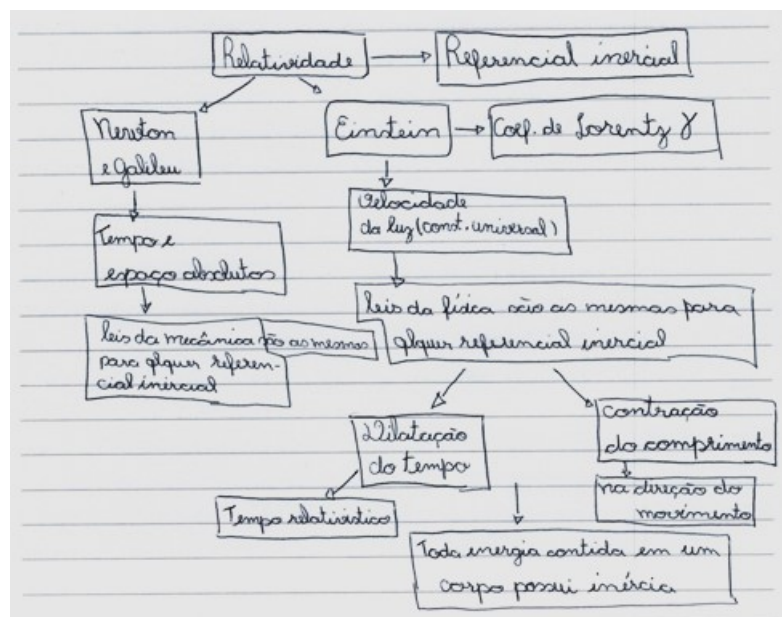
4.2.3 Mapa conceitual 3

No mapa o conceito de Relatividade está no topo e sua divisão vem como conceitos intermediários. Palavras-chave são escritas entre os conceitos fazendo uma boa conexão entre os mesmos que se encontram em uma estrutura hierárquica definida a partir dos postulados de Galileu e Einstein. Um único equívoco foi usado pelos alunos quando os mesmos tratam do fator de Lorentz descrevendo como se o próprio Einstein quem o fez. Na sequência afirmam que Einstein o utilizou para corrigir as equações clássicas de Galileu e que descobriu que o espaço e o tempo dependem deste parâmetro γ para a correção das equações.



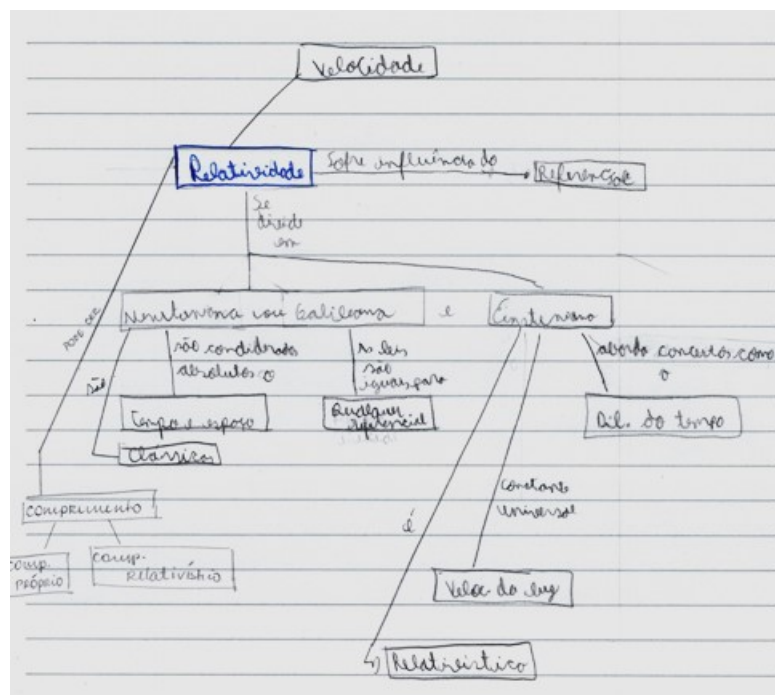
4.2.4 Mapa conceitual 4

O mapa possui uma hierarquia bem organizada onde os alunos puseram o conceito de relatividade no topo do mapa. Aqui observamos como eles entendem os tipos de relatividade bem como os seus domínios. No modelo da relatividade clássica deixam claro que a percepção de tempo e espaço eram absolutos e fazem esta ligação com o postulado de Galileu. Já no modelo einsteiniano, eles demonstram entender que a luz é uma constante universal, mas não deixa claro que a mesma independe da velocidade da fonte. Porém deixam claro conhecer o postulado de Einstein e fazem referência do mesmo com a dilatação do tempo e a contração do comprimento.



4.2.5 Mapa conceitual 5

Este mapa também usou o conceito de Relatividade no topo. Os alunos apresentaram conceitos intermediários como a divisão da relatividade clássica e restrita. No modelo clássico fica claro que os alunos entenderam que os conceitos de espaço e tempo eram absolutos e usam palavras-chave para relacionarem os conceitos. No tocante a relatividade restrita no qual eles definem como relatividade einsteiniana, os alunos aparentam conhecer as consequências desta teoria como a dilatação do tempo e a contração do comprimento.



4.2.6 Análise geral dos mapas conceituais sobre Relatividade

Numa visão geral, os mapas apresentados pelos alunos mostraram como conceito inclusivo o de Relatividade e observamos também que os mesmos sempre fazem uma comparação com o modelo clássico. Isto se deve ao fato de que durante as aulas o professor ter abordado o tema numa concepção histórica e epistemológica para que os alunos pudessem perceber os limites de algumas teorias. Os mapas foram feitos pelos alunos e discutidos com o professor e refeitos para complementar com os conceitos que foram esquecidos por eles.

4.2.7 Análise dos resultados do pós-teste

A utilização de um pré-teste tem como objetivo detectar nos alunos os pré-requisitos necessários para a compreensão de novos conceitos e a sua e como se deu a reformulação deles. Esta pesquisa busca com uma análise quantitativa de indícios de aprendizagem dos alunos, mesmo sabendo que o processo de aprendizagem é individual e o uso de uma

avaliação pode não nos informar com a devida precisão se o aluno absorveu parte do conhecimento acerca do tema. O pós-teste é composto por um questionário de quinze questões constituído de questões de vestibulares e algumas perguntas do pré-teste.

Tabela 1 – Resultado do pré-teste e do pós-teste

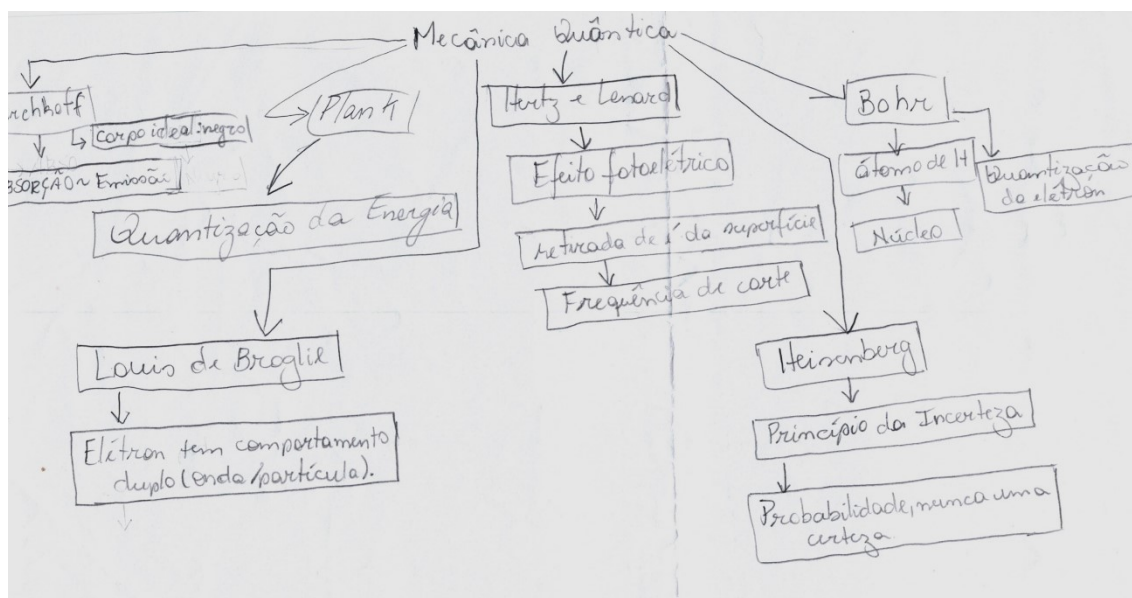
Alunos	Acertos no pré-teste	Acertos no pós-teste
A_1	5	9
A_2	8	13
A_3	10	14
A_4	6	12
A_5	8	12
A_6	7	10
A_7	4	10
A_8	4	9
A_9	2	8
A_{10}	3	9
A_{11}	5	10
A_{12}	6	12
A_{13}	6	11
A_{14}	5	10
A_{15}	5	9
A_{16}	8	13
A_{17}	4	10
A_{18}	4	9
A_{19}	3	10
A_{20}	3	7
A_{21}	9	14
A_{22}	8	14
A_{23}	6	11
A_{24}	6	12
A_{25}	4	12
A_{26}	7	13
A_{27}	6	11
A_{28}	5	10
A_{29}	5	12
A_{30}	7	12

4.3 Análise dos mapas conceituais sobre Mecânica Quântica

Neste pós-teste, os alunos além de fazer os mapas também os descreveram em uma pequena redação de no máximo de dez linhas, para que eles pudessem explicar com suas palavras sobre o que eles conseguiram absorver das aulas de Mecânica Quântica. A seguir seguem alguns dos mapas conceituais desenvolvidos pelos alunos envolvidos na pesquisa e suas respectivas redações com suas próprias palavras e como eles realmente escreveram.

4.3.1 Mapa conceitual 1

O conceito de Mecânica Quântica é colocado no topo do mapa onde os alunos consideram como o mais inclusivo. Os alunos acharam importante destacar alguns físicos que contribuíram para a expansão da teoria quântica como Bohr, Louis de Broglie, Heisenberg, Lenard e Hertz, e destacaram também Max Planck que é considerado o pai desta teoria. Conseguiram associar a cada um deles sua contribuição, como por exemplo as ondas de matéria de de Broglie, o princípio da incerteza como uma probabilidade a Heisenberg o átomo de hidrogênio bem como a quantização a Bohr.



4.3.1.1 Redação dos alunos do mapa 1

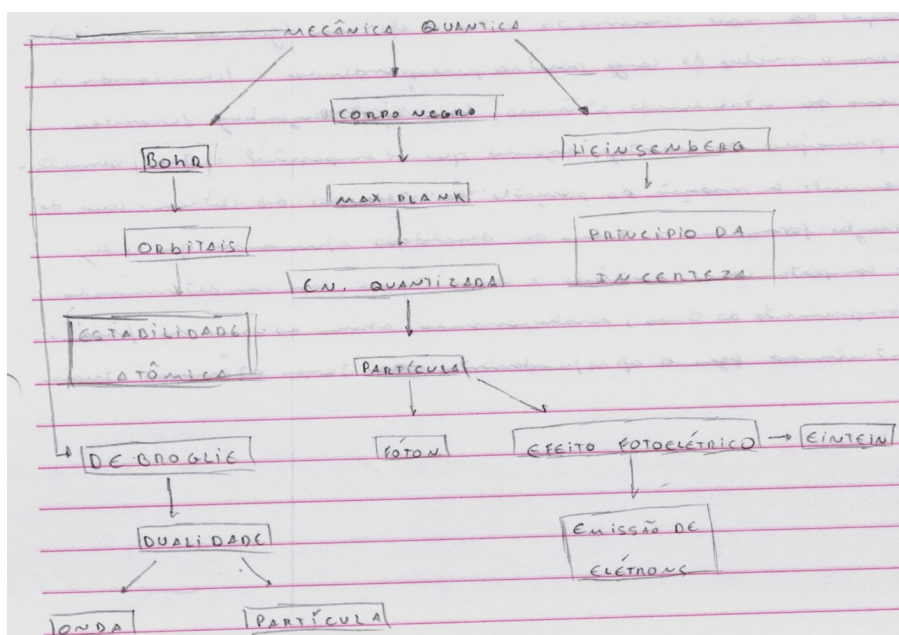
A física quântica foi criada no início do século XX. Com a revolução do mundo subatômico a física precisou de novos conceitos e teorias. Isso só foi possível graças ao físico alemão Max Planck o mesmo com sua teoria quântica explicou a quantização da energia emitida na superfície do corpo negro. O desenvolvimento da mecânica quântica foi um trabalho de vários cientistas. Hertz e Lenard verificou que a descarga entre dois eletrodos ocorre mais facilmente quando se faz incidir sobre eles luz ultravioleta. A definição de efeito fotoelétrico é o fato de que a energia eletromagnética seja na forma de raios X, luz ultravioleta ou luz comum incidindo sobre metais, provoca a ejeção de elétrons de suas superfícies. Bohr construiu um modelo para o átomo que continha as ideias de Planck referentes a quantização. Heisenberg enunciou o princípio da incerteza que propõe que o simples ato de medir altera o estado de um sistema e, conseqüentemente, torna impossível determinar com precisão, ao mesmo tempo, a posição e a velocidade de uma partícula, esta teoria é mais probabilidade e não uma certeza.

4.3.1.2 Comentário sobre a redação dos alunos do mapa 1

Os alunos mostraram ter absorvido conhecimento do tema em certos aspectos apresentados no seu texto explicativo. Podemos destacar em sua escrita que eles iniciaram com o aspecto histórico e seguiram uma certa linha do tempo quando falam sobre o ano da criação da mecânica quântica e em seguida destacaram a pessoa de Max Planck e a teoria da quantização da energia da emissão da radiação do corpo negro. Relatam também os seguidores da teoria quântica como Bohr e Heisenberg, mas esqueceram de ressaltar o importante papel de Einstein acerca da explicação do efeito fotoelétrico, porém enfatizam o papel de Hertz e Lenard nas primeiras observações do efeito e sabem o princípio de ocorrência da ejeção dos elétrons da superfície de um metal pela incidência da radiação se equivocando quando eles escrevem *luz comum*. Aqui esqueceram de enfatizar sobre a frequência mínima ou frequência de corte necessário para se observar o efeito fotoelétrico. Por fim, no tocante ao princípio da incerteza fica claro que os alunos conseguiram captar a concepção probabilística da Mecânica Quântica quando escrevem que a teoria é mais probabilidade do que uma certeza.

4.3.2 Mapa conceitual 2

Neste mapa o conceito de Mecânica Quântica é também colocado no topo. Os alunos deram destaque os físicos e suas contribuições usando a teoria quântica para explicar alguns fenômenos que ainda estavam sem respostas como o efeito fotoelétrico. Observamos ainda que eles conseguiram estabelecer relações cruzadas. Os alunos parecem ter entendido a concepção da dualidade onda-partícula e também ressaltam o princípio da incerteza e a estabilidade do átomo de hidrogênio.



4.3.2.1 Redação dos alunos do mapa 2

A mecânica Quântica foi criada para suprir as ideias obsoletas e clássicas da física, como a radiação emitida por corpos em pacotes de energia chamadas Quantum. Max Planck foi o responsável pela suposição teórica da energia quantizada, pois experimentos o levaram a essa suposição. O efeito fotoelétrico revolucionou até então as bases da mecânica Quântica, Einstein foi o formulador dessa teoria comprovando que no bombardeamento de um corpo por fótons, iria acontecer a emissão de elétrons na mesma proporção. Bohr contribuiu para a resposta do modelo de Rutherford, dando a explicação porque do não choque entre o elétron (girando em órbita) com o núcleo de carga positiva, respondendo a teoria da estabilidade atômica, e com isso Heisenberg formulou o princípio da incerteza dizendo que é impossível efetuar simultaneamente a medição da posição e da velocidade do elétron. Louis de Broglie formulou a teoria da dualidade afirmando que o elétron se comporta como partícula e como onda em determinado comprimento de onda, revolucionando assim as bases da física para o aprofundamento nas teorias atômicas atuais.

4.3.2.2 Comentário sobre a redação dos alunos do mapa 2

No início da redação dos alunos, eles demonstram que o nascimento de uma nova teoria surge quando a física clássica não consegue explicar alguns fenômenos de uma forma clara e sem questionamentos. Conhecem que o surgimento da teoria veio do físico Max Planck e o associam a concepção de quantização da energia e a importância dos experimentos. Albert Einstein também foi citado no texto, quando os alunos comentam sobre o efeito fotoelétrico, e parecem ter compreendido como funciona o mesmo de uma forma geral, destacando o fato de que a intensidade da radiação está ligada ao número de elétrons arrancados da placa. Este fato não foi explicado classicamente pelo Philip Lenard em seu experimento sobre o efeito fotoelétrico, onde foi discutido esse e outras observações feitas por Lenard em sala de aula, o que mostra que os alunos estavam atentos a essa discussão. A grande contribuição de Bohr foi relatada, associando-o ao fato de explicar a estabilidade do átomo de hidrogênio, no qual falhava o modelo de Rutherford onde de acordo com suas teorias o elétron deveria perder energia quando em movimento em torno do núcleo e assim deveria entrar numa trajetória em espiral, o que levaria a matéria ao colapso. Quando comentam sobre Heisenberg, os alunos passam a ideia de que o princípio da incerteza não aceita o fato do átomo seguir uma trajetória bem definida, pois de acordo com este princípio a concepção predominante é a probabilística. O texto é finalizado com o caráter dual, onda-partícula do elétron, tratando o importante papel de Louis de Broglie e deixam transparecer a ideia de que a Mecânica Quântica é muito importante para o mundo físico atual.

4.3.3 Mapa conceitual 3

Mais um mapa no qual foi destacado como principal conceito o de Mecânica Quântica e está interligado ao campo de atuação da teoria e seus principais físicos e suas respectivas contribuições para a teoria quântica. Os alunos destacaram a quantização da energia do fóton, bem como chamam a atenção para o fato da existência de uma frequência mínima ou de corte para a ocorrência do efeito fotoelétrico.



4.3.3.1 Redação dos alunos do mapa 3

A mecânica quântica é a parte da física que estuda sistemas físicos do nível atômico, que envolve partículas como elétrons, prótons, nêutrons, quarks e etc. Dentre uma das teorias envolvidas na área, encontra-se a teoria dos corpos negros, que são corpos idealizados capazes de absorver toda a luz que for introduzida nesses e por isso possuem a cor negra. Ainda assim, diversos são os teóricos que se envolveram na área com trabalhos significativos como a teoria da relatividade de Einstein. A teoria quântica proposta por Max Plank fala da quantização da energia, relação entre a energia carregada pelo fóton e a frequência de onda. O princípio da incerteza proposto por Heisenberg afirma que não se pode determinar com precisão e simultaneamente a posição e momento de uma partícula. O princípio da dualidade onda partícula proposta por De Broglie fala que o elétron pode se comportar como onda ou partícula. O átomo de Bohr é um modelo proposto por Niels Bohr que descreve o átomo como um núcleo pequeno e carregado positivamente cercado por elétrons em órbita circular.

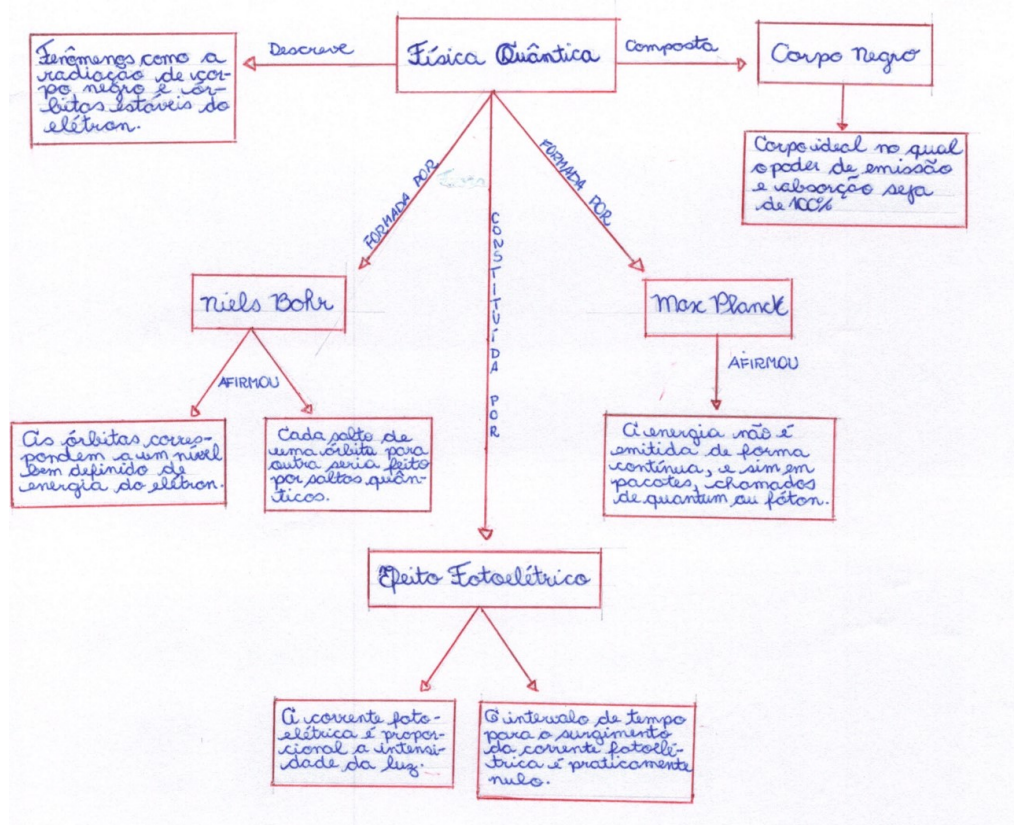
4.3.3.2 Comentário sobre a redação os alunos do mapa 3

Os alunos trataram inicialmente sobre o campo de atuação da Mecânica Quântica que é na escala atômica com foco nas partículas elementares, como elétrons, nêutrons e

quarks. Ressaltaram o conceito de corpo negro sem dar ênfase a física clássica e como a mesma não explicava o espectro de emissão da luz deste corpo quando aquecido, porém na sequência apresentam a ideia central da teoria quântica no que se refere a quantização da energia e sua relação com a frequência da radiação. O princípio da incerteza de Heisenberg, as ondas de matéria de De Broglie e o modelo atômico de Bohr foram descritos em seu texto de uma forma clara apresentando as ideias centrais sobre cada um deles. O único equívoco escrito no texto foi sobre o comentário da relatividade restrita de Einstein e não sobre a sua contribuição para Mecânica Quântica na explicação do efeito fotoelétrico.

4.3.4 Mapa conceitual 4

O mapa apresenta uma estrutura hierárquica e põem no topo do mapa a Física Quântica. Nele observamos que os alunos enfatizam os físicos Max Planck e Niels Bohr e suas contribuições para a teoria quântica. Destacam também o efeito fotoelétrico mas não fazem menção a Einstein, porém relatam algumas observações experimentais sobre este efeito.



4.3.4.1 Redação dos alunos do mapa 4

A mecânica quântica descreve fenômenos como a radiação do corpo negro e as órbitas estáveis do elétron. Os corpos, de maneira geral, emitem ondas eletromagnéticas,

onde suas intensidades e frequências dependem da temperatura em que se encontram e também da composição do material. O corpo negro, na verdade, é um corpo ideal no qual o poder de emissão e absorção seja de 100%. Em 1900, Max Planck propôs a teoria segundo a qual a energia não é emitida de forma contínua, e sim em pacotes, denominados quantum ou fóton. Sua equação é conhecida como: $E = h.f$. Em que E é a energia emitida ou recebida, h é a constante de Planck, com $h = 6,64.10^{-34}Js$, f é a frequência. Assim, Planck foi capaz de obter um espectro para a radiação do corpo negro. Já o efeito fotoelétrico, descoberto por Hertz, foi capaz de perceber que a incidência da radiação facilitava a produção de uma centelha elétrica entre dois condutores. Contudo Philip Lenard fez seu experimento e realizou as suas primeiras medidas. Ele sabia que o número de elétrons emitidos era proporcional a intensidade da luz e que a energia era proporcional a frequência. Querendo aprofundar seus estudos com o átomo de hidrogênio, Niels Bohr formulou seu modelo quântico. Algumas conclusões foram feitas por ele:

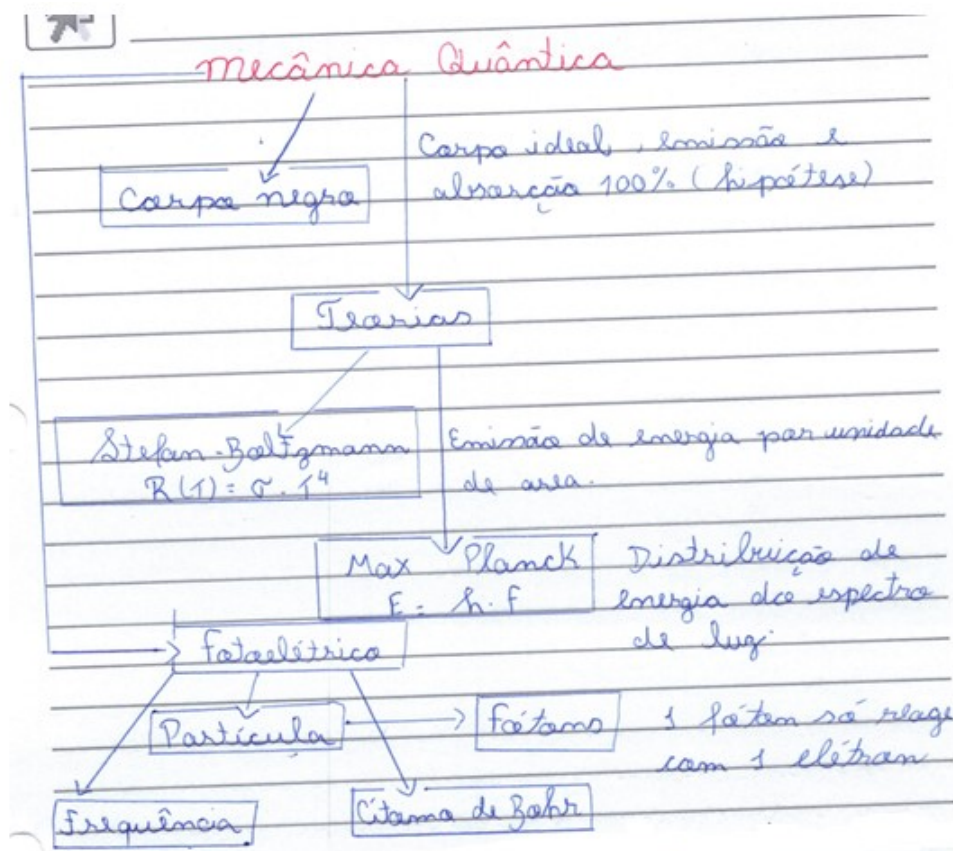
1. As órbitas correspondem a um nível bem definido de energia do elétron, não podendo se localizar a quaisquer distância do núcleo;
2. A transição eletrônica de uma órbita para outra seria feita por saltos quânticos, pois ao absorver energia, o elétron saltaria para uma órbita mais externa, e ao liberá-la, passaria para outra mais interna, emitindo fótons.

4.3.4.2 Comentário sobre a redação os alunos do mapa 4

No texto dos alunos, é possível perceber que eles obtiveram um bom conhecimento da fase inicial da teoria quântica e citaram dois exemplos de aplicação da mesma que é o poder emissivo da radiação do corpo negro e as órbitas dos elétrons do átomo de hidrogênio. Relataram sobre o nascimento da Mecânica Quântica com Max Planck, bem como o associaram com a ideia da quantização da energia dada pela equação $E = h.f$. Comentaram sobre os primeiros passos do efeito fotoelétrico destacando Hertz como o primeiro a visualizar o efeito e a Philip Lenard que deu o início a investigação do mesmo. Esqueceram de falar sobre a importância de Einstein para a explicação deste efeito baseado na teoria quântica. Finalizam seu texto com dois postulados de Bohr, onde vemos claramente que um trata sobre as órbitas permitidas aos elétrons e também sobre a transição entre elas no qual eles conhecem como salto quântico.

4.3.5 Mapa conceitual 5

Novamente é percebido que os alunos consideraram como conceito mais inclusivo a Mecânica Quântica. O mapa desenvolvido pelos alunos possui relações cruzadas onde podemos ver no conceito de efeito fotoelétrico com frequência e partículas com fótons indicando algumas das principais relações para a ocorrência deste efeito.



4.3.5.1 Redação dos alunos do mapa 5

Na física, o corpo negro é aquele que absorve toda a radiação Eletromagnética que nele incide: nenhuma luz atravessa nem é refletida. Max planck estabeleceu o marco inicial da teoria quântica ao utilizar conceitos de unidade quântica para descrever as propriedades subatômicas e as interações entre a matéria e a radiação, de sua teoria veio a constante h , conhecida como a constante de Planck. Em 1879, Josef Stefan observou experimentalmente que a densidade de energia emitida por unidade de tempo por unidade de área, por um corpo negro é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta do corpo. Esta mesma relação foi teoricamente derivada pela teoria de Maxwell e pela física clássica e por Boltzmann, por isso é denominada de lei de Stefan-Boltzmann. O efeito fotoelétrico também foi importante para a física quântica. Ele acontece quando uma luz (fótons) de certa frequência atua em um metal e dele saem elétrons com energia cinética. O modelo do átomo de bohr explica bem o comportamento do átomo de hidrogênio mas é insuficiente para átomos com mais de um elétron. Em seus postulados acreditava-se que a força resultante que atua no elétron é direcionada para o centro da trajetória.

4.3.5.2 Comentário sobre a redação do mapa 5

No texto os alunos parecem ter percebido a importância da explicação da emissão da radiação do corpo negro que levou ao surgimento da teoria quântica por Max Planck.

Usaram como exemplo a lei de Stefan-Boltzmann para explicar a emissão da radiação do corpo negro, mas o que fica claro no mapa é eles tentam passar a ideia de que esta lei está associada a um dos conceitos intermediários da Mecânica Quântica, onde na verdade ela está nos moldes da mecânica clássica. O efeito fotoelétrico é definido como ejeção de elétrons de um corpo (metal) pela incidência da luz que carrega uma determinada frequência. Isso mostra que eles parecem ter entendido de uma importante condição para a ocorrência deste efeito que é a energia associada aos fótons da radiação incidente e de uma frequência mínima ou de corte como foi usada durante este curso. Finalizam com um breve comentário sobre o átomo de hidrogênio, no qual destacou um dos postulados de Bohr .

4.3.6 Análise geral dos mapas conceituais sobre Mecânica Quântica

Os mapas conceituais apresentaram alguns avanços construtivos e puseram como conceito mais inclusivo o de Mecânica Quântica, enfatizando alguns dos principais nomes que deram luz a esta teoria como Max Planck, Einstein, Bhor e Heisenberg. Entre eles podemos destacar o mapa número 4, que pôs uma estrutura hierárquica em seu mapa enfatizando alguns aspectos teóricos como a quantização e a emissão de energia do corpo negro, bem como as órbitas do elétron proposto por Bohr e o efeito fotoelétrico. Podemos destacar também o mapa 3 que apresentou uma estrutura bem organizada, mostrando o campo de atuação da Mecânica Quântica, seus principais físicos e suas contribuições para a teoria. Com a descrição dos mapas em pequenas redações, podemos perceber que os alunos absorveram com facilidade tanto aspectos históricos quanto teóricos e os diferenciam de uma forma bem clara. O empenho na realização dos mapas e também a sua descrição tem sido relevante para o bom resultado obtido no pós-tes que apresentaremos a seguir.

4.3.7 Análise dos resultados do pós-teste

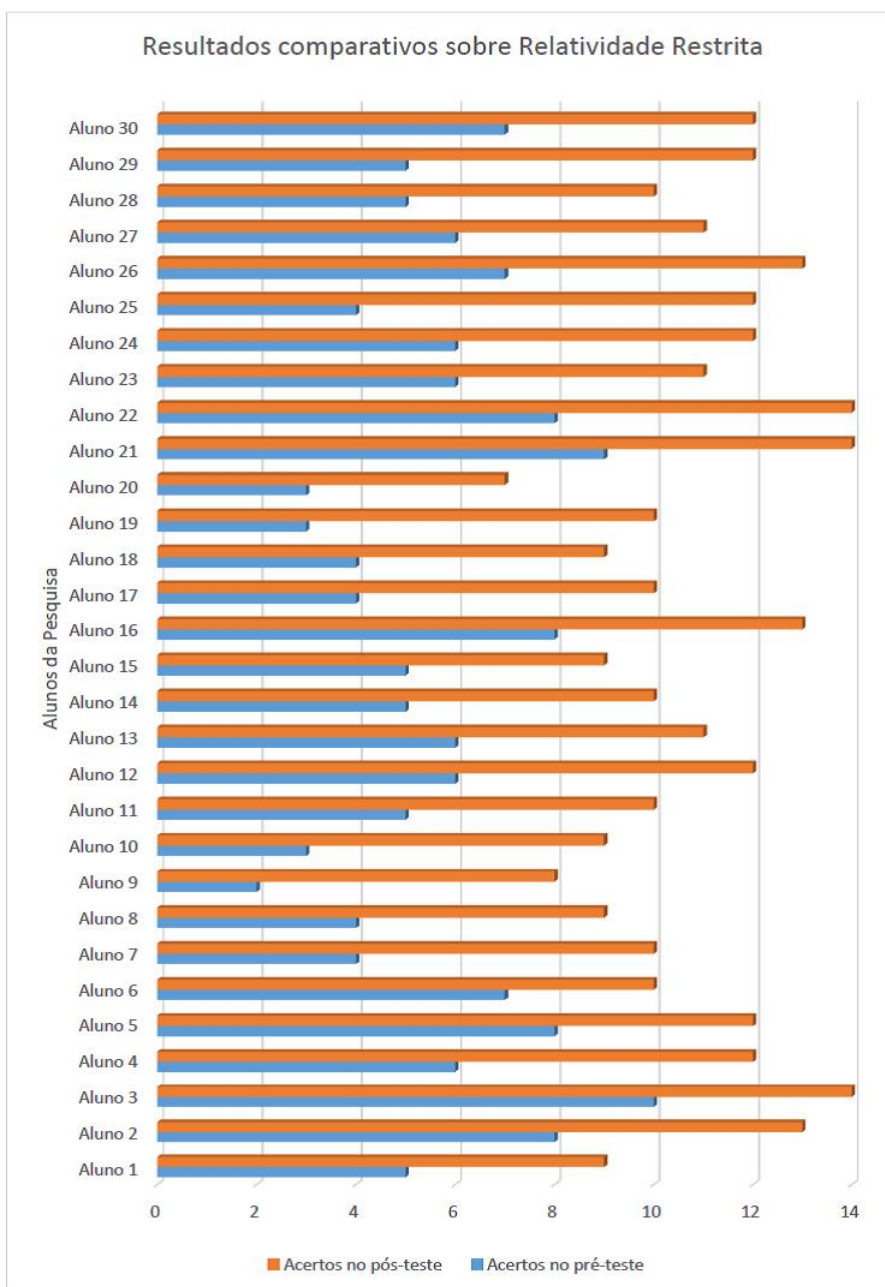
Como fizemos no estudo da Relatividade Restrita, construímos também uma tabela que consta os resultados encontrados no pré-teste e compará-lo com o resultado obtido no pós-teste sobre Mecânica Quântica. Vale lembrar que a utilização de um pré-teste tem como objetivo detectar nos alunos os pré-requisitos necessários para a compreensão de novos conceitos e como se deu a reformulação deles. Buscamos com uma análise quantitativa, os indícios de aprendizagem dos alunos, mesmo sabendo que o processo de aprendizagem é individual e o uso de uma avaliação pode não nos informar com a devida precisão se o aluno absorveu parte do conhecimento acerca do tema. O pós-teste é composto por um questionário de quinze questões constituído de questões de vestibulares e algumas perguntas do pré-teste.

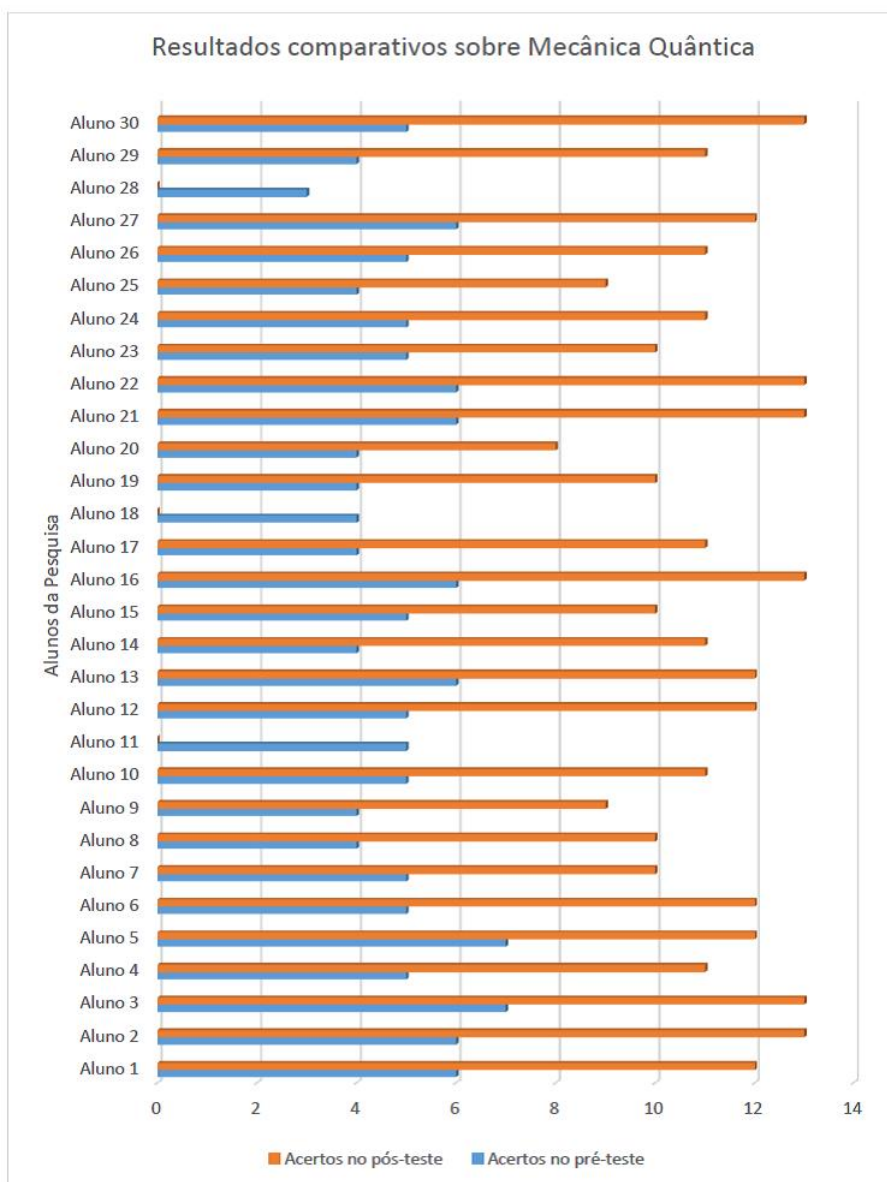
Tabela 2 – Resultado do pré-teste e do pós-teste

Alunos	Acertos no pré-teste	Acertos no pós-teste
A_1	6	12
A_2	6	13
A_3	7	13
A_4	5	11
A_5	7	12
A_6	5	12
A_7	5	10
A_8	4	10
A_9	4	9
A_{10}	5	11
A_{11}	5	não compareceu
A_{12}	5	12
A_{13}	6	12
A_{14}	4	11
A_{15}	5	10
A_{16}	6	13
A_{17}	4	11
A_{18}	4	não compareceu
A_{19}	4	10
A_{20}	4	8
A_{21}	6	13
A_{22}	6	13
A_{23}	5	10
A_{24}	5	11
A_{25}	4	9
A_{26}	5	11
A_{27}	6	12
A_{28}	3	não compareceu
A_{29}	4	11
A_{30}	5	13

4.4 Síntese final

Observando as tabelas e gráficos anteriores referentes aos resultados do pós-teste em comparação com os resultados obtidos do pré-teste, notamos que os alunos apresentaram indícios de aprendizagem acerca tanto de Relatividade Restrita quanto de Mecânica Quântica onde observamos um número crescente de acertos. Vale ressaltar que o objetivo de nossa pesquisa para este mestrado, é de apenas fazer o relato de uma experiência de sala de aula sem nenhum cunho estatístico, no qual nos levariam a obtenção de outros dados para a averiguação de aprendizagem.





5 Conclusão

O nível de desenvolvimento de uma sociedade está intimamente relacionado, entre outras coisas, ao nível de conhecimento científico e tecnológico difundido e acessível aos seus indivíduos. Embora nosso estilo de vida seja extremamente dependente de tecnologias baseadas em ciências como a Física e a Química, de uma forma geral, nossa sociedade se mantém à margem da compreensão dos conceitos relacionados a estas ciências. É sabido que a redução deste "distanciamento" poderia ser obtida a partir de investimentos em melhorias na infraestrutura escolar, escolha adequada de critérios de avaliação, valorização do professor, e na adequação dos currículos escolares frente à evolução constante do conhecimento inovador. Este último, nos leva a pensarmos a respeito da importância da abordagem de alguns conteúdos específicos presentes no currículo de Física do ensino médio, como é o caso da Física Moderna e Contemporânea (FMC). A abordagem de Física Moderna nas turmas de ensino médio em nosso país, tem demonstrado ser cada vez mais obsoleta. A maioria dos professores preferem aprofundar suas aulas em temas de pouca relevância para o mundo atual, passando para nossos alunos uma imagem de que a Física só serve para resolver problemas de vestibulares e com pouca fundamentação teórica. Artigos publicados por pesquisadores como Terrazzan (1992) e Moreira (2000) já alertavam a necessidade de se inserir temas de Física Moderna no ensino médio. A perspectiva de nossos alunos é de terem uma aula que mostrem significado para eles, ou seja, uma aplicação prática no seu cotidiano. É difícil imaginar uma aplicação com o uso da Relatividade Restrita no dia a dia do aluno. Mas podemos nos ater ao uso do GPS em seus celulares, pois graças ao advento da Relatividade que isto é possível. O simples fato de resolver problemas de Física não é importante, devemos na verdade mostrar para o aluno que a Física é uma ciência que está além de resoluções de exercícios mecanicamente, ela é uma ciência que governa grande parte da teoria correspondente aos avanços tecnológicos do mundo atual.

Assim, apresentamos uma proposta de ensino de Física Moderna que visa contribuir para o professor do ensino médio abordar os temas de FMC que foram utilizados nesta pesquisa. Um dos aspectos que nos levaram a construir esta proposta, foi a forma como os livros de Física do ensino médio tem descrito a Física como uma ciência que possui teorias científicas que são arquitetadas de forma linear sem a existência de quebras de *paradigmas*, ou seja, sem que não houvesse *revoluções científicas* como afirma a concepção kuhniana. A nossa pesquisa, apresenta duas dessas revoluções científicas que aconteceram no início do século XX, uma foi a Teoria da Relatividade Restrita por Albert Einstein e a outra foi com o surgimento da Mecânica Quântica através Max Planck. A grande abstração por parte da Relatividade Restrita, dificulta um pouco a compreensão acerca dos seus postulados e

dos modelos mentais necessários para a sua comprovação, pois o aluno vive ainda sob o domínio do paradigma newtoniano no qual o tempo e o espaço são tidos como absolutos, e isto nós consideramos como sendo obstáculos epistemológicos a serem superados. Contudo, apesar de todas as dificuldades encontradas para o entendimento do assunto, usamos vídeos em alguns de nossos encontros, onde suas finalidades eram de dar uma visão geral sobre o tema e em seguida usamos a diferenciação progressiva proposta por Ausubel. A linguagem verbal foi também uma ferramenta importante para as discussões com os alunos e para apresentarmos expressões matemáticas que confirmassem a aceitação desta teoria. Nas aulas de Mecânica Quântica, foi percebido um amadurecimento por parte dos alunos quanto a aceitação da teoria, no qual eles consideraram ser mais comuns e de pouco ou nenhuma abstração. Falar sobre espectro de emissão de um corpo negro e como se deu as primeiras investigações sobre este fenômeno e ainda sob o olhar voltado para o modelo clássico, foi em nossa opinião muito importante para evidenciarmos a quebra de mais um paradigma na Física e contemplar o nascimento da Mecânica Quântica. Os alunos perceberam que uma teoria física só tem validade quando ela está de acordo com o experimento, e assim nasceu sob as mãos de Max Planck uma teoria que inicialmente por ele desacreditada, mas hoje sabemos que é uma das mais importantes para a nossa tecnologia, onde podemos destacar algumas como o laser, TVs de última geração, equipamentos médicos e o caminho que está sendo construído para a computação quântica que irá revolucionar a comunicação no mundo inteiro. O sucesso que consideramos ter atingido quanto a aprendizagem dos alunos está ligado ao conhecimento do professor sobre o tema, a sua interação com os alunos e o seu poder de motivação para que os alunos possam se interessar mais por estudar Física.

A utilização dos vídeos como organizadores prévios, foi bem aceito pelos alunos bem como as simulações que facilitaram a aprendizagem dos alunos. Todo o curso teve uma duração de trinta horas-aula, no qual tivemos tempo para discutir conceitos como a contração do espaço, dilatação do tempo, relação entre massa e energia, efeito fotoelétrico, átomo de hidrogênio, ondas de matéria e o princípio da incerteza. A fundamentação teórica utilizada foi a epistemologia de Thomas Kuhn e a aprendizagem significativa de Ausubel, ambas mostraram-se fundamentais para os temas escolhidos para esta pesquisa, pois tudo isto foi concluído através da construção dos mapas conceituais e também do número crescente de acertos nos pós-teste quando comparados com o resultado dos pré-teste.

Aqui iremos listar o que achamos de importante para a melhor compreensão dos alunos para o ensino de FMC, no qual sugere Silva (2004):

1. O professor deve trabalhar nas turmas iniciais do ensino médio (1º Ano), o conceito de sistemas de referência como por exemplo um sistema de coordenadas cartesianas;
2. Por ocasião do ensino da Física Clássica, ressaltar que conceitos como tempo, distância entre dois pontos e massa de um corpo não devem ser considerados de

forma absoluta, podendo depender do observador;

3. Estudar a evolução histórica da Física, ressaltando o caráter descontínuo e as questões filosóficas envolvidas nas grandes mudanças realizadas;
4. Contextualizar o ensino de Física, ressaltando o processo de modelização utilizado nas construções das teorias;
5. Destacar a importância da Física Moderna na vida do homem atual.

Ainda podemos destacar como fundamental para a compreensão de FMC, o estudo das ondas eletromagnéticas e seus elementos quantitativos como velocidade, frequência e comprimento de onda, fenômenos ondulatórios como por exemplo a difração e energia. Esperamos que através deste trabalho, possamos contribuir para o ensino de Física, e não só o de Física Moderna, onde o professor possa expandir seus conhecimentos e ensinar Física de uma forma motivadora para seus alunos e contextualizada, incentivando-o a entrar em uma discussão científica durante as aulas e assim colher bons resultados de aprendizagem. Apesar de todas as dificuldades encontradas, espera-se também que o texto de apoio (livreto) venha a abrir caminhos para a compreensão necessária para o professor ministrar suas aulas de Física Moderna.

Referências

- ABDALLA, M. C. *Bohr- O arquiteto do átomo*. 2ª edição. ed. [S.l.]: São Paulo: Editora Odysseus, 2006.
- AUSUBEL, D. P. *Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva*. 1ª edição. ed. [S.l.]: LISBOA - PARALELO EDITORA,LDA, 2003.
- KUHN, T. S. *A estrutura das revoluções científicas*. 5ª edição. ed. [S.l.]: São Paulo - Editora Perspectiva S.A., 1998.
- MENDONÇA, A. L. de O. Da teoria do conhecimento à metodologia: análise do projeto epistemológico de popper. *Caderno de História e Filosofia da Ciência*, 1984.
- MENDONÇA, A. L. de O. A revolução de kuhn. *Ciência Hoje*, v. 32, 2002.
- MOREIRA, F. O. e M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "física moderna e contemporânea no ensino médio. *Investigação em Ensino de Ciências.*, v. 5, 2000.
- MOREIRA, M. A. Mapas conceituais. *Caderno Catarinense de Ensino de Física .*, v. 3, 1986.
- MOREIRA, M. A. *Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares*. 1ª edição. ed. [S.l.]: São Paulo - Livraria da Física, 2011.
- NOVAK, J. D. The promise of news ideas and new technology for improving teaching and learning. *Cell Biology Education*, v. 2, 2003.
- OSTERMANN, F. A epistemologia de kuhn. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 13, n. 3, 1996.
- PERUZZO, W. E. P. e T. G. d. P. J. *Física moderna e contemporânea: das teorias quânticas e relativísticas às fronteiras da física*. [S.l.]: São Paulo - Editora Livraria da Física, 2013. v. 1.
- SILVA, M. J. da. Uma contribuição para o ensino dos postulados da teoria da relatividade restrita para alunos do ensino médio. *Dissertação de Mestrado - UFRPE*, 2004.
- SOARES, S. Um curso de mecânica quântica para professores do ensino médio. *Dissertação de Mestrado - UFRGS*, 2009.
- SOUSA, G. S. de. Mapas conceituais no curso de formação de professores da ufs. *Dissertação de Mestrado - UFS*, 2010.
- TERRAZZAN, E. A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. *Caderno Catarinense de Ensino de Física.*, v. 9, n. 3, 1992.

Apêndices

APÊNDICE A – Pré-teste 1

Pré-teste:(Aula 01) Relatividade Restrita

ESCOLA: _____

ALUNO(A): _____

SÉRIE/TURMA: _____ DATA: ____/____/____.

Caro aluno, é imprescindível que suas respostas sejam dadas de forma pessoal e sincera, para que os resultados deste pré-teste possam servir como mecanismo de estudo visando a melhoria do ensino da física moderna no ensino médio.

Questionário

- 1) O que você entende por referencial?
- 2) De acordo com sua resposta no item (a), dê um exemplo de um móvel que esteja em movimento, e ao mesmo tempo em repouso, com relação a referenciais distintos.
- 3) Você acha que a luz chega instantaneamente em qualquer local ao ser produzida, ou acha que a mesma leva algum tempo até chegar em um determinado ponto após partir de uma fonte?
 - x) Você sabe qual é o valor da velocidade da luz? Em caso afirmativo, expresse o valor em m/s.
 - y) Em sua opinião, existe algo que consiga se mover mais rápido do que a luz? Em caso afirmativo, dê exemplo(s).
- 4) Qual a sua concepção de movimento relativo?
- 5) Imagine uma situação na qual uma pessoa caminha dentro de um ônibus vazio com velocidade constante de 0,5m/s no mesmo sentido do ônibus. Se o ônibus mantiver uma velocidade constante de 10m/s, qual será a velocidade desta pessoa em relação a um ponto (referencial) fixo na calçada, ou seja, fora do ônibus? E se o ônibus se deslocasse na velocidade da luz, qual seria a velocidade desta pessoa em relação a este referencial fixo externo?
- 6) Você saberia explicar o que significa *simultaneidade*?
- 7) Será que é possível que um evento físico, seja observado da mesma forma para duas pessoas diferentes, localizadas em pontos diferentes de uma trajetória?
- 8) O que é energia cinética e momento linear (quantidade de movimento)?
- 9) O tempo passa da mesma forma para todos os relógios em todos os referenciais?

APÊNDICE B – Pré-teste 2

Pré-teste: (Aula 02) Relatividade Restrita

ESCOLA: _____

ALUNO(A): _____

SÉRIE/TURMA: _____ DATA: ____/____/____.

Caro aluno, é imprescindível que suas respostas sejam dadas de forma pessoal e sincera, para que os resultados deste pré-teste possam servir como mecanismo de estudo visando a melhoria do ensino da física moderna no ensino médio.

Questionário

- 1) Dentro da relatividade einsteiniana você acha que a medida de uma barra, (independente do material) feita por dois referenciais inerciais um em movimento de velocidade constante em relação ao outro, será a mesma? Explique sua resposta.
- 2) Dê algum exemplo, sobre a dilatação do tempo, que não foi abordado em sala e que você acha que se aplica a relatividade einsteiniana.
- 3) Na sua concepção o que é massa?
- 4) Defina com suas palavras, energia e momento linear (quantidade de movimento).
- 5) Em sua opinião, a energia e o momento linear dependem de um referencial? Explique
- 6) Imagine uma situação em que se pudéssemos aplicar uma força incrivelmente grande e constante, em um móvel (carrinho por exemplo) acelerando-o até atingir a velocidade da luz, e ainda assim continuássemos aplicando a força. Ele iria desta forma ultrapassar a velocidade da luz?
- 7) Você acha que existe alguma conexão entre massa e energia? Explique com suas palavras.
- 8) Você sabe o que é um fóton? Explique com suas palavras

APÊNDICE C – Pré-teste 3

Pré-teste:(Aula 01)Mecânica Quântica

ESCOLA: _____

ALUNO(A): _____

SÉRIE/TURMA: _____ DATA: ____/____/____.

Caro aluno, é imprescindível que suas respostas sejam dadas de forma pessoal e sincera, para que os resultados deste pré-teste possam servir como mecanismo de estudo visando a melhoria do ensino da física moderna no ensino médio.

Questionário

- 1) As leis da Mecânica de Newton podem ser utilizadas para descrever o movimento de todos os corpos? Comente.
- 2) O que você entende por *quantização*?
- 3) Você tem alguma ideia sobre a origem,ou a que se refere, o termo Mecânica Quântica?
- 4) Defina com suas palavras o que é uma onda?
- 5) Defina com suas palavras o que é fóton?
- 6) Em sua opinião, a luz é uma onda ou é composta por partículas?
- 7) Você sabe o que é o *efeito fotoelétrico*? Em caso afirmativo, descreva-o com suas palavras e também ilustre se achar necessário.
- 8) Você acha que é possível, um corpo, como uma bola de futebol, ter o comportamento de uma onda? Explique com suas palavras.
- 9) Descreva e desenhe o que você sabe sobre o átomo de hidrogênio.
- 10) Qual a relação entre o Princípio da Incerteza, formulado por Heisenberg, e a nossa capacidade de medir?
- 11) Você conhece ou já ouviu falar de alguma situação na qual o uso da física quântica é importante em nosso dia a dia ou em nossas vidas?

APÊNDICE D – 1º Pós-teste

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO - UFRPE
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF
1º PÓS-TESTE

ESCOLA: _____

ALUNO(A): _____

SÉRIE/TURMA: _____ DATA: ___/___/____.

Caro aluno, é imprescindível que suas respostas referentes as questões discursivas sejam dadas de forma pessoal e sincera evidenciando o que você aprendeu em sala sobre o assunto, e nas questões de múltipla escolha apenas uma alternativa será a correta.

Os resultados serão contabilizados individualmente para a medida da superação de obstáculos encontrados mediante suas respostas nos pré-testes.

Não se trata de uma avaliação formal, mas sim de um mecanismo que evidencie aspectos de aprendizagem.

Se não souber responder, é pedido que deixe em branco. Obrigado!

Questionário

1. Defina com suas palavras o que você entende sobre referencial?
2. Referente a alguns conceitos abordados em sala, explique com suas palavras o que você sabe sobre:
 - a) Simultaneidade;
 - b) Tempo próprio;
3. Até que ponto a mecânica newtoniana se torna inútil? Explique exemplificando.
4. Qual a sua concepção sobre o fóton?
5. **(UFSC – 2005)** O ano de 2005 será o ANO INTERNACIONAL DA FÍSICA, pois estaremos completando 100 anos de importantes publicações realizadas por Albert Einstein. O texto abaixo representa um possível diálogo entre dois cientistas, em algum momento, nas primeiras décadas do século 20:

“Z — Não posso concordar que a velocidade da luz seja a mesma para qualquer referencial. Se estivermos caminhando a 5km/h em um trem que se desloca com velocidade de 100km/h em relação ao solo, nossa velocidade em relação ao solo será de 105km/h. Se acendermos uma lanterna no trem, a velocidade da luz desta lanterna em relação ao solo será de $c + 100\text{km/h}$.

B — O nobre colega está supondo que a equação para comparar velocidades em referenciais diferentes seja $v' = v_0 + v$. Eu defendo que a velocidade da luz no vácuo é a mesma em qualquer referencial com velocidade constante e que a forma para comparar velocidades é que deve ser modificada.

Z — Não diga também que as medidas de intervalos de tempo serão diferentes em cada sistema. Isto é um absurdo!

B — Mas é claro que as medidas de intervalos de tempo podem ser diferentes em diferentes sistemas de referência.

Z — Com isto você está querendo dizer que tudo é relativo!

B — Não! Não estou afirmando que tudo é relativo! A velocidade da luz no vácuo será a mesma para qualquer observador inercial. “As grandezas observadas poderão ser diferentes, mas as leis da Física deverão ser as mesmas para qualquer observador inercial.”

Com o que você sabe sobre teoria da relatividade e considerando o diálogo acima apresentado, assinale a(s) proposição(ões) **CORRETA(S)**.

01) O cientista Z está defendendo as ideias da mecânica newtoniana, que não podem ser aplicadas a objetos que se movem com velocidades próximas à velocidade da luz.

02) O cientista Z aceita que objetos podem se mover com velocidades acima da velocidade da luz no vácuo, pois a mecânica newtoniana não coloca um limite superior para a velocidade de qualquer objeto.

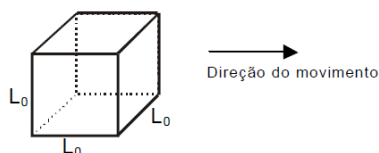
04) De acordo com a teoria da relatividade, o cientista B está correto ao afirmar que as leis da Física são as mesmas para cada observador.

08) De acordo com a teoria da relatividade, o cientista B está correto ao dizer que as medidas de intervalos de tempo dependem do referencial.

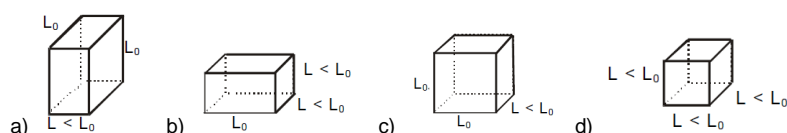
16) O cientista B defende ideias teoricamente corretas sobre a teoria da relatividade restrita, mas que não têm nenhuma comprovação experimental.

SOMA ()

6. (UFRN – 2002) Bastante envolvida com seus estudos para a prova do vestibular, Sílvia selecionou o seguinte texto sobre Teoria da Relatividade para mostrar à sua colega Tereza: À luz da Teoria da Relatividade Especial, as medidas de comprimento, massa e tempo não são absolutas quando realizadas por observadores em referenciais inerciais diferentes. Conceitos inovadores como massa relativística, contração de Lorentz e dilatação temporal desafiam o senso comum. Um resultado dessa teoria é que as dimensões de um objeto são máximas quando medidas em repouso em relação ao observador. Quando o objeto se move com velocidade V , em relação ao observador, o resultado da medida de sua dimensão paralela à direção do movimento é menor do que o valor obtido quando em repouso. As suas dimensões perpendiculares à direção do movimento, no entanto, não são afetadas. Depois de ler esse texto para Tereza, Sílvia pegou um cubo de lado L_0 que estava sobre a mesa e fez a seguinte questão para ela: Como seria a forma desse cubo se ele estivesse se movendo, com velocidade relativística constante, conforme direção indicada na figura abaixo?



A resposta correta de Tereza a essa pergunta foi:



7. (UPE – 2013) Uma régua cujo comprimento é de 50 cm está se movendo paralelamente à sua maior dimensão com velocidade $0,6 c$ em relação a certo observador. Sobre isso, é CORRETO afirmar que o comprimento da régua, em centímetros, para esse observador vale

- a) 35 b) 40 c) 62,5 d) 50 e) 100

8. (UFPE Adapt. – 2004) Um astronauta é colocado a bordo de uma espaçonave e enviado para uma estação espacial a uma velocidade constante $v = 0,8 c$, onde c é a velocidade da luz no vácuo. No referencial da espaçonave, o tempo transcorrido entre o lançamento e a chegada na estação espacial foi de **12 meses**. Qual o tempo transcorrido no referencial da Terra, em **meses**?

- a) 12 b) 15 c) 18 d) 20 e) 24

9. (UPE – 2006) Considere dois gêmeos, A e B. O gêmeo B realiza uma viagem espacial à estrela Arturus a uma velocidade constante 60% da velocidade da luz. Segundo os que estão na Terra, Arturus fica aproximadamente a 40 anos-luz de distância. Quais serão as idades dos gêmeos, quando B chegar àquela estrela, sabendo-se que eles têm 20 anos de idade no início da viagem?

- a) A tem 72,33 anos, e B, 61,21 anos.
 b) A tem duas vezes a idade de B.
 c) A tem a mesma idade de B.
 d) A tem 92 anos, e B, 51 anos.
 e) A tem 86,66 anos, e B, 73,33 anos.

10. (UFC – 2002) Uma fábrica de produtos metalúrgicos do Distrito Industrial de Fortaleza consome, por mês $2,0 \times 10^6$ kWh de energia elétrica ($1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$). Suponha que essa fábrica possui uma usina capaz de converter diretamente massa em energia elétrica, de acordo com a relação de Einstein, $E = mc^2$. Nesse caso, a massa necessária para suprir a energia requerida pela fábrica, durante um mês, é, em gramas:

- a) 0,08 b) 0,8 c) 8 d) 80 e) 800

11. (UFPB Adapt. – 2011) A Relatividade Especial é uma teoria muito bem consolidada experimentalmente, inclusive tendo aplicações dela no cotidiano. Um exemplo bastante expressivo é o aparelho de navegação GPS, o qual está baseado na Relatividade Especial, e é construído com a finalidade de proporcionar orientação espacial com precisão. Com base nos conceitos da Relatividade Especial, assinale a alternativa incorreta.

- a) A velocidade da luz no vácuo é a mesma em todas as direções e em todos os referenciais inerciais e não depende do movimento da fonte ou do observador.
- b) As leis da Física dependem do referencial inercial escolhido.
- c) Dois observadores em movimento relativo não concordam, em geral, quanto à simultaneidade entre dois eventos.
- d) O tempo próprio é o intervalo de tempo entre dois eventos que ocorrem no mesmo ponto em um determinado referencial inercial, medido nesse referencial.
- e) O comprimento próprio de um objeto é aquele medido em um referencial no qual ele está em repouso.

12. (UFRGS – 2009) Considere as afirmações abaixo, acerca da Teoria da Relatividade Restrita.

I - O tempo não é absoluto, uma vez que eventos simultâneos em um referencial inercial podem não ser simultâneos se observados a partir de outro referencial inercial.

II - Segundo a lei relativística de adição de velocidades, a soma das velocidades de dois corpos materiais nunca resulta em uma velocidade acima da velocidade da luz.

III- As leis da natureza não são as mesmas em todos os sistemas de referência que se movimentam com velocidade uniforme.

Quais estão corretas?

- a) Apenas I.
- b) Apenas II.
- c) Apenas I e II
- d) Apenas II e III.
- e) I, II e III.

13. (UFMG) Observe esta figura.



Paulo Sérgio, viajando em sua nave, aproxima-se de uma plataforma espacial, com velocidade de $0,7c$, em que c é a velocidade da luz. Para se comunicar com Paulo Sérgio, Priscila, que está na plataforma envia um pulso luminoso em direção à nave. Com base nessas informações, é correto afirmar que a velocidade do pulso medida por Paulo Sérgio é de:

- a) $0,7c$
- b) $1,0c$
- c) $0,3c$
- d) c
- e) $1,7c$

14. (UPE – 2009) Um trem de comprimento igual a 100 m viaja a uma velocidade de $0,8c$, onde c é a velocidade da luz, quando atravessa um túnel de comprimento igual a 70 m . Quando visto por um observador parado ao lado dos trilhos, é CORRETO afirmar que o trem

- a) não chega a ficar totalmente dentro do túnel, restando um espaço de 12 m fora do túnel.
- b) fica totalmente dentro do túnel e sobra um espaço de 10 m.
- c) fica totalmente dentro do túnel e sobra um espaço de 15 m.
- d) não chega a ficar totalmente dentro do túnel, restando um espaço de 5 m fora do túnel.
- e) fica totalmente dentro do túnel e não resta nenhum espaço.

15. (UFL-MG) Quando aceleramos um elétron até que ele atinja uma velocidade $v = 0,5c$, em que c é a velocidade da luz, o que acontece com a massa?

- a) Aumenta, em relação à sua massa de repouso, por um fator $\gamma = \frac{1}{\sqrt{0,75}}$.
- b) Aumenta, em relação à sua massa de repouso, por um fator $\gamma = \frac{1}{\sqrt{0,5}}$.
- c) Diminui, em relação à sua massa de repouso, por um fator $\gamma = \frac{1}{\sqrt{0,75}}$.
- d) Diminui, em relação à sua massa de repouso, por um fator $\gamma = \frac{1}{\sqrt{0,5}}$.
- e) não sofre nenhuma alteração em relação ao qual ela foi medida.

APÊNDICE E – 2º Pós-teste

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO - UFRPE
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA - MNPEF
2º PÓS-TESTE

ESCOLA: _____

ALUNO(A): _____

SÉRIE/TURMA: _____ DATA: ___/___/____.

Caro aluno, é imprescindível que suas respostas referentes as questões discursivas sejam dadas de forma pessoal e sincera evidenciando o que você aprendeu em sala sobre o assunto, e nas questões de múltipla escolha apenas uma alternativa será a correta.

Os resultados serão contabilizados individualmente para a medida da superação de obstáculos encontrados mediante suas respostas nos pré-testes.

Não se trata de uma avaliação formal, mas sim de um mecanismo que evidencie aspectos de aprendizagem.

Se não souber responder, é pedido que deixe em branco. Obrigado!

Questionário

1. Explique com suas palavras o que você entende por quantização? Exemplifique.
2. Qual a sua concepção sobre a Mecânica Quântica? Explique usando algum exemplo no qual a mesma é utilizada no nosso dia a dia.
3. Descreva o que você sabe sobre o efeito fotoelétrico.
4. Comente o que você sabe sobre o átomo de hidrogênio e também sobre os postulados de Bohr.
5. Explique o que sabe sobre o princípio da incerteza.
6. **(UPE – 2015)** O princípio da incerteza de Heisenberg trata da
 - a) incerteza do conhecimento da Física de que tudo é sempre relativo e nunca definitivo.
 - b) imprecisão de definir as coordenadas de posição e o momento linear de uma partícula quântica simultaneamente, ao longo de uma direção.
 - c) dificuldade de encontrar um elétron nas camadas de valência do átomo.
 - d) dilatação do tempo e contração dos objetos ao atingirem velocidade próxima à da luz.
 - e) variação de entropia e o sentido da seta do tempo.
7. **(UPE – 2015)** Considere as afirmações a seguir com relação ao efeito fotoelétrico.
 - I. A energia cinética do elétron emitido pelo material depende da intensidade da radiação incidente.
 - II. Somente ocorre quando há incidência de elétrons sobre uma superfície metálica.

III. A quantidade de elétrons emitidos pelo material depende da intensidade da luz incidente.

IV. A menor energia cinética do elétron emitido pelo material é igual a zero.

Estão **CORRETAS** apenas

a) I, II e IV. b) II e III. c) III e IV. d) I e III. e) II e IV.

8. (UPE – 2014) Se um elétron move-se de um nível de energia para outro mais afastado do núcleo do mesmo átomo, é **CORRETO** afirmar que, segundo Bohr,

a) há emissão de energia.

b) há absorção de energia.

c) o número atômico varia.

d) há emissão de luz de um determinado comprimento de onda.

e) não há variação de energia.

9. (UFC – 2004) Quanto ao número de fótons existentes em 1 joule de luz verde, 1 joule de luz vermelha e 1 joule de luz azul, podemos afirmar, corretamente, que:

a) existem mais fótons em 1 joule de luz verde que em 1 joule de luz vermelha e existem mais fótons em 1 joule de luz verde que em 1 joule de luz azul.

b) existem mais fótons em 1 joule de luz vermelha que em 1 joule de luz verde e existem mais fótons em 1 joule de luz verde que em 1 joule de luz azul.

c) existem mais fótons em 1 joule de luz azul que em 1 joule de verde e existem mais fótons em 1 joule de luz vermelha que em 1 joule de luz azul.

d) existem mais fótons em 1 joule de luz verde que em 1 joule de luz azul e existem mais fótons em 1 joule de luz verde que em 1 joule de luz vermelha.

e) existem mais fótons em 1 joule de luz vermelha que em 1 joule de luz azul e existem mais fótons em 1 joule de luz azul que em 1 joule de luz verde.

10. (ITA – 2003) Considere as seguintes afirmações:

I. No efeito fotoelétrico, quando um metal é iluminado por um feixe de luz monocromática, a quantidade de elétrons emitidos pelo metal é diretamente proporcional à intensidade do feixe incidente, independentemente da frequência da luz.

II. As órbitas permitidas ao elétron em um átomo são aquelas em que o momento angular orbital é $nh/2\pi$, sendo $n = 1, 3, 5, \dots$

III. Os aspectos corpuscular e ondulatório são necessários para a descrição completa de um sistema quântico.

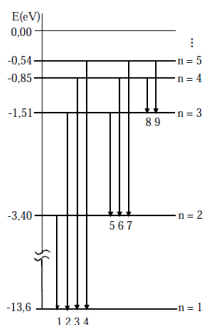
IV. A natureza complementar do mundo quântico é expressa, no formalismo da Mecânica Quântica, pelo princípio de incerteza de Heisenberg.

Quais estão corretas?

a) I e II. b) I e III. c) I e IV. d) II e III. e) III e IV.

11. (UFC – 2003) Na figura ao lado, as flechas numeradas de 1 até 9 representam transições possíveis de ocorrer entre alguns níveis de energia do átomo de hidrogênio, de acordo com o modelo de Bohr. Para ocorrer uma transição, o átomo emite (ou

absorve) um fóton cuja energia hc/λ é igual a $|\Delta E|$ (h é a constante de Planck, c é a velocidade da luz no vácuo, λ é o comprimento de onda do fóton e ΔE é a diferença de energia entre os dois níveis envolvidos na transição). Suponha que o átomo emite os fótons X e Y, cujos comprimentos de onda são, respectivamente, $\lambda_X = 1,03 \times 10^{-7}$ m e $\lambda_Y = 4,85 \times 10^{-7}$ m. As transições corretamente associadas às emissões desses dois fótons são (use $h = 4,13 \times 10^{-15}$ eV·s e $c = 3,0 \times 10^8$ m/s):



- a) 4 e 8 b) 2 e 6 c) 3 e 9 d) 5 e 7 e) 1 e 7

12. (ITA Adapt. – 2005) Num experimento, foi de $5,0 \times 10^3$ m/s a velocidade de um elétron, medida com a precisão de 0,003%. Calcule a incerteza na determinação da posição do elétron, sendo conhecidos: massa do elétron $m_e = 9,1 \times 10^{-31}$ kg e constante de Planck reduzida $\hbar = 1,1 \times 10^{-34}$ J s.

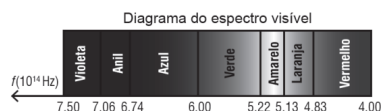
- a) $4,03 \times 10^{-4}$ m b) $2,2 \times 10^{-4}$ m c) $4,5 \times 10^{-4}$ m d) $3,0 \times 10^{-4}$ m e) $1,3 \times 10^{-4}$ m

13. (AFA – 2014) Para a construção de uma célula fotoelétrica, que será utilizada na abertura e fechamento automático de uma porta, um pesquisador dispõe de quatro metais, cujas funções trabalho (w) estão listadas na tabela abaixo.

Metal	ω (eV)
Platina	6,4
Prata	4,7
Chumbo	4,1
Sódio	2,3

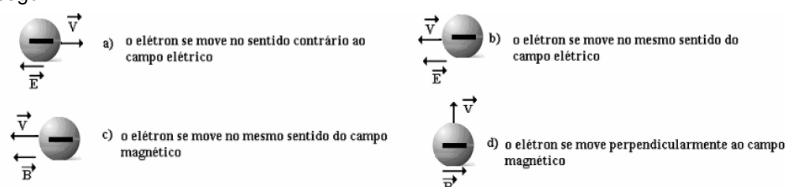
Sendo que essa célula deverá ser projetada para funcionar com luz visível, poderão ser usado(s) somente o(s) metal(is).

Dados: $h = 4,1 \cdot 10^{-15}$ eV · s



- a) platina b) sódio c) chumbo e prata d) chumbo e sódio

14. (UPE – 2008) Considere um elétron em movimento de acordo com as alternativas a seguir.

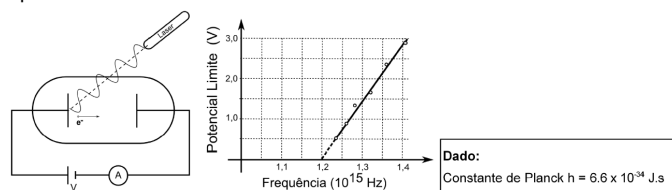


Analise as afirmativas e conclua.

I II

- 0 0 Na alternativa (a), o comprimento de onda de de Broglie diminui com o tempo.
- 1 1 Na alternativa (b), o comprimento de onda de de Broglie aumenta com o tempo.
- 2 2 Na alternativa (c), o comprimento de onda de de Broglie diminui com o tempo.
- 3 3 Na alternativa (d), o comprimento de onda de de Broglie aumenta com o tempo.
- 4 4 Nas alternativas (c) e (d), o comprimento de onda de de Broglie permanece constante.

15. (UFG – 2009) As portas automáticas, geralmente usadas para dividir ambientes, com climatização, do meio externo, usam células fotoelétricas, cujo princípio de funcionamento baseia-se no efeito fotoelétrico que rendeu ao físico Albert Einstein o Prêmio Nobel de 1921, por sua explicação em 1905. No experimento para a explicação desse efeito, incide-se um feixe de luz sobre uma superfície metálica polida, localizada em uma região sob uma diferença de potencial V , conforme a figura, e mede-se o potencial freador que faz cessar a corrente entre os eletrodos, sendo este o Potencial Limite. O gráfico representa a dependência entre o Potencial Limite e a frequência da luz incidente na superfície de uma amostra de níquel. Tendo em vista o exposto, responda:



- a) Qual é a menor frequência da luz, em Hertz, que consegue arrancar elétrons da superfície do metal?
- b) Para o potencial de 1,5V, qual é a energia cinética (em Joules) do elétron ejetado da superfície do metal?

APÊNDICE F – Produto da Dissertação