



MAÍRA DUARTE PASSOS

**UMA ABORDAGEM DO PRINCÍPIO DA INCERTEZA
NO ENSINO MÉDIO NA PERSPECTIVA DA BNCC**

LAVRAS – MG

2021

MAÍRA DUARTE PASSOS

**UMA ABORDAGEM DO PRINCÍPIO DA INCERTEZA NO ENSINO MÉDIO
NA PERSPECTIVA DA BNCC**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Física, para a obtenção
do título de Licenciado em Física.

Prof. Dr. Jefferson Adriano Neves

Orientador

Prof(a). Dr(a). Helena Libardi

Coorientadora

LAVRAS – MG

2021

Para citar este documento:

PASSOS, Maíra Duarte. **Uma abordagem do princípio da incerteza no ensino médio na perspectiva da BNCC**. 2021. 47 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Lavras. Acesso em: data de acesso.

Ficha catalográfica elaborada pela Coordenadoria de Processos Técnicos
da Biblioteca Universitária da UFLA

Passos, Maíra Duarte

Uma abordagem do princípio da incerteza no ensino médio na perspectiva da BNCC / Maíra Duarte Passos. – Lavras : UFLA, 2021.

47 p. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)–Universidade Federal de Lavras, 2021.

Orientador: Prof. Dr. Jefferson Adriano Neves.

Bibliografia.

1. TCC. 2. Princípio da Incerteza. 3. Ensino de Física. 4. BNCC. 5. Sequência de Ensino. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-808.066

A reprodução e a divulgação total ou parcial deste trabalho são autorizadas, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

MAÍRA DUARTE PASSOS

**UMA ABORDAGEM DO PRINCÍPIO DA INCERTEZA NO ENSINO MÉDIO
NA PERSPECTIVA DA BNCC**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à
Universidade Federal de Lavras, como parte das
exigências do Curso de Física, para a obtenção
do título de Licenciado em Física.

APROVADA em 07 de Julho de 2021.

Prof. Dr. Antonio dos Anjos Pinheiro da Silva UFLA
Prof(a). Dr(a). Iraziet da Cunha Charret UFLA

Prof. Dr. Jefferson Adriano Neves
Orientador

Prof(a). Dr(a). Helena Libardi
Co-Orientadora

**LAVRAS – MG
2021**

Dedico esse trabalho à minha família, por sua capacidade de acreditar e investir em mim. À minha mãe, por ter sido inspiração no magistério, e ter me incentivado tanto nesse processo. E também ao meu pai, que sempre me apoiou e me deu esperança para continuar seguindo nessa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço aos meus pais Jacyara Duarte Teixeira e Leir Freitas Passos, pelo incentivo e dedicação que sempre tiveram por mim.

Aos meus orientadores: Jefferson A. Neves e Helena Libardi, pela dedicação, paciência, compreensão e amizade.

Agradeço à minha companheira de curso Evellyn Maia, pela parceria, amizade, e todo apoio recebido durante esse final de curso e aos demais colegas das disciplinas que estiveram ao meu lado em diversos desafios.

Aos meus amigos, Patrick Jr Souza, Karina Teixeira, e Maria Clara de Castro, que juntos à mim escolheram o caminho do magistério e sempre me incentivaram a continuar.

À minha amiga de infância Maria Eduarda Peixoto, por desde sempre estar ao meu lado, me acompanhando e me dando força, e à minha amiga Letícia Araújo por diversas vezes me amparar quando não tinha mais forças para continuar.

Aos meus professores do curso de Licenciatura em Física, que através de seus ensinamentos, permitiram que eu pudesse hoje estar concluindo esse curso.

À universidade Federal de Lavras que me abriu tantos caminhos e tantas oportunidades.

Para pequenas criaturas como nós, a vastidão é suportável somente através do amor.
(Carl Sagan)

RESUMO

Diante dos desafios de planejar ações que envolvam os conceitos de física moderna contemporânea no ensino médio, foi utilizado o princípio da incerteza de Heisenberg para a compreensão da mecânica quântica e da realidade em que vivemos. O presente trabalho propõe despertar o interesse pela ciência nos estudantes, atender os direcionamentos da BNCC, e cuidar da necessidade de fazer uma aproximação entre a realidade dos estudantes e a complexidade do século XXI. Com isso, o intuito foi discutir e aprofundar a Física Moderna e o Princípio da incerteza dentro do currículo de Física no Ensino Médio. Também foi proposta uma sequência de ensino, separada em três atividades para articular tal conceito considerando a BNCC. Ainda, proporcionar novas possibilidades de práticas pedagógicas para que o professor possa ter subsídios e condições de despertar a curiosidade, o interesse pelo conhecimento científico, criatividade, comunicação e a motivação do estudante para a disciplina de Física.

Palavras-chave: Princípio da Incerteza. Física Moderna e Contemporânea. BNCC. Ensino de Física. Sequência de Ensino.

ABSTRACT

Faced with the challenges of planning actions involving the concepts of contemporary modern physics in high school, it was Heisenberg's uncertainty principle for understanding of quantum mechanics and our reality. This work proposes to make students more interested in science, meet the guidelines of the BNCC, and take care to bring the reality of students closer to the complexity of the 21st century. With that, the intention was to discuss deeper the Modern Physics and the Uncertainty Principle within the Physics curriculum in High School. A teaching sequence was also proposed, separated in three activities to articulate this concept considering a BNCC. Also, provide new possibilities for pedagogical practices so with that the teacher can have subsidies and conditions to arouse curiosity, interest in scientific knowledge, creativity, communication and a student's motivation for the discipline of Physics.

Keywords: Uncertainty Principle. Modern and Contemporary Physics. BNCC. Teaching Physics. Teaching Sequence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Obra de Georges Seurat, "As Modelos"	21
Figura 2.2 – Maçã em pontilhismo	22
Figura 2.3 – "Peixes Solúveis" representando densidade de probabilidade	22

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 – Relação das Competências Gerais e das Ciências da Natureza e das Habilidades, conforme a BNCC, que a sequência de ensino visa contribuir.	27
Quadro 5.1 – Organização das sequência de ensino em plano de aula	38
Quadro 5.2 – Organograma para organizar as ações em sala de aula, buscando fomentar uma ambiente de interações entre os estudantes e a professora.	39

SUMÁRIO

1	Introdução	10
2	Fundamentação Teórica	12
2.1	Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio	12
2.2	O Princípio da Incerteza de Heisenberg	15
2.2.1	Discutindo o Princípio da Incerteza	17
2.3	Alguns trabalhos e possibilidade para o ensino médio	19
2.4	Os três momentos pedagógicos	23
3	Metodologia: Sobre a construção da Sequência de ensino	25
4	A sequência de Ensino	27
4.1	Atividade I: Medidas e Certezas	29
4.1.1	Conversa com o professor	30
4.2	Atividade II: A certeza resulta em incerteza	30
4.2.1	Conversa com o professor	34
4.3	Atividade 3: Medir sem interferir?	35
4.3.1	Conversa com o professor:	37
5	Proposta para sala de aula e Reflexões sobre a temática	38
5.1	Algumas reflexões sobre a temáticas: Desafios e possibilidades	39
5.1.1	Alguns Desafios	40
5.1.2	Possibilidades	41
6	Considerações finais	44
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

No Ensino de Física, principalmente quando se observa os livros didáticos, vemos um predomínio de conceitos da dita Física Clássica, desenvolvida entre o século XVI e XIX. Com a elaboração mais recente da Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018), a Física passou a ser integrada com as Ciências da Natureza, o que pode fazer com tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) perca ainda mais espaço na formação dos estudantes do Ensino Médio.

Nos livros didáticos do ensino médio encontramos conceitos que abarcam temas de mecânica, óptica, termodinâmica e eletromagnetismo, enquanto os conceitos e revoluções apresentados pelas FMC quando abordados, normalmente são apresentados como suplementos e curiosidades aos estudantes (MACHADO; NARDI, 2006). No entanto, o ensino de conteúdos e forma de pensar apenas da Física Clássica já não é suficiente para que nossos estudantes enfrentem os desafios e complexidades do século XXI. Ao criticar a falta de contemporaneidade dos conhecimentos ensinados: “(...) não tem sentido que, em pleno século XXI, a Física que se ensina nas escolas se restrinja à Física (Clássica) que vai apenas até o século XIX”. (MOREIRA, 2007 apud SILVA; ALMEIDA, 2011, p. 625)

Na mesma linha de Moreira (MOREIRA, 2007 apud SILVA; ALMEIDA, 2011, p. 625), Sales (2020) apresenta a seguinte indagação: como nossos estudantes podem enfrentar os desafios e complexidades do século XXI sem abordarmos conceitos de FMC, que moldaram o mundo em que vivemos?

Então, se mostra necessário uma aproximação entre a realidade dos estudantes e as complexidades do século XXI, inserindo os conceitos, a forma de pensar e de fazer ciências provenientes da Física Moderna e Contemporânea em sala de aula no ensino médio.

Reconhecendo a complexidade e os desafios inerentes da sala de aula, qual a melhor maneira de introduzir FMC no Ensino Médio?

A resposta a essa pergunta é muito complexa e profunda. Ao nosso ver, depende do tema de Física Moderna e Contemporânea e as competências e habilidades que foram escolhidas pelo professor.

Pinto e Zanetic (1999) afirmam que:

É preciso transformar o ensino de Física tradicionalmente oferecido por nossas escolas em um ensino que contemple o desenvolvimento da Física Moderna, não como uma mera curiosidade, mas como uma Física que surge para explicar fenômenos que a Física Clássica não explica, constituindo uma nova visão de mundo (PINTO; ZANETIC, 1999, p. 07).

Podemos procurar na BNCC quais as competências e habilidades que possibilitem o desenvolvimento da FMC no Ensino Médio.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é o documento que engloba as aprendizagens essenciais que todos os estudantes devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica. É um trabalho coletivo, inspirado nas mais avançadas experiências do mundo, visando contribuir com as redes de ensino para a elaboração de currículos e propostas pedagógicas, tendo um patamar comum de aprendizagens a todos estudantes (BRASIL, 2018).

Tendo como direcionamento a BNCC e os desafios de planejar ações que envolvem os conceitos de Física Moderna e Contemporânea em sala de aula, o presente trabalho tem como objetivo propor uma sequência de ensino para o Ensino Médio que aborda o Princípio da Incerteza de Heisenberg em articulação com a BNCC.

A seguir apresentamos a teoria que fundamenta nosso trabalho, de forma a abranger diversas discussões para o ensino de física moderna e contemporânea no ensino médio.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio

Nesta seção abordaremos alguns estudos que investigam e fomentam o uso da Física Moderna e Contemporânea em sala de aula da Educação Básica. Para isso, embasamos nosso texto na tese da professora doutora Nilva Lúcia Lombardi Sales (SALES, 2014) e na palestra “Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica: em que ponto estamos nessa caminhada?”, ministrada por Sales, no ano de 2020 Sales (2020), no IV da Encontro de Ensino de Física da Universidade Federal de São Carlos, através de uma transmissão no youtube. Além de outros referenciais teóricos, que apresentaremos no decorrer do texto.

Sales (2020), Sales (2014) aponta que no início do século XX, quando as áreas de pesquisa já estavam bem estabelecidas, como por exemplo, a Mecânica Clássica, surgiram dois novos paradigmas na Ciência, a Mecânica Quântica e a Teoria da Relatividade. Tais paradigmas possibilitaram abordar e propor soluções a novos e antigos problemas.

A Mecânica Quântica apresenta ruptura com a Mecânica Clássica, pois não existe mais o determinismo nas medidas e previsões, e as relações de causa e efeito presente em algumas explicações, como por exemplo as Leis de Newton. Sales (2020), Sales (2014) destaca que esta nova forma de fazer ciência, em um universo probabilístico, gera novos problemas de pesquisa, que resultam em temas presentes na Física Contemporânea, como a Cosmologia, Física do Estado Sólido, entre outras Corroboramos como a autora, ao apresentar que a Física Moderna consiste nas discussões presentes até a metade do século XX, e que a Física contemporânea esteja relacionada com as consequências e os desdobramentos que acontecem da segunda metade do século XX até os dias atuais.

Acerca do processo de ensino, Sales (2020), Sales (2014) destaca que é importante considerar que existem grandes diferenças em ensinar elementos que já estão consolidados, como a Mecânica Clássica, a Termodinâmica e o Eletromagnetismo e até mesmo a Física Moderna, visto que existem diversos conceitos e elementos já consolidados na Mecânica Quântica e Teoria da Relatividade, e elementos não consolidados, com os conceitos da Física Contemporânea. Ao abordar uma Física em construção ou que sustenta tal processo, é possível investigar questões que ainda estamos desenvolvendo além de compreender a Natureza da Ciência.

Com o objetivo de apresentar a caminhada acerca do ensino de FMC na Educação Básica, Sales (2020), Sales (2014) aponta diversas considerações baseado nos estudos de Pinto e Zanetic (1999), Ostermann e Moreira (2000), Jardim, Guerra e Chrispino (2011), Luz e Higa (2013),

Araújo e Hosoume (2013) e Monteiro, Nardi e Filho (2009). Ao apontar o estudo de Pinto e Zanetic (1999), Sales (2020), Sales (2014) destaca que a Física desenvolvida no século XX ainda está longe da sala de aula. E que os autores, Zanetic e Pinto, ao discutir a importância de levar Física Moderna à sala de aula, deixa explícito que, naquele momento, final do século XX, ela não chegou de uma forma permanente em nossas escolas.

Sales (2020), Sales (2014), considerando o estudo de Pinto e Zanetic (1999), pontua que se insistirmos em temas de Física cada vez mais distantes da vivência dos estudantes fica difícil sustentar a permanência das aulas de Física no Ensino Médio. Vale destacar que nos últimos anos a disciplina da Física teve diversas reduções nos número de aulas por semanas. Nesse cenário, repensar as temáticas de Física em sala de aula é fundamental para sustentar sua permanência Sales (2020), Sales (2014).

Ao citar Ostermann (2000), além de situar que nossa caminhada para inserir FMC na Educação Básica se iniciou no final do século XX, Sales (2020), Sales (2014) cita que com o levantamento, a autora e o autor realizaram um conjunto de reflexões que defendem a necessidade de atualizar os currículos de Física para abordar temas de FMC. Contudo, levar tais temas para práticas em sala de aula ainda apresenta um desafio.

Ainda sobre a pesquisa de Ostermann (2000), Sales (2020), Sales (2014) aponta que com a revisão, os autores perceberam que existem bons materiais que abordam temas de FMC voltados para professores que permite levá-los para sala de aula. Contudo, colocá-lo em prática é um desafio. Acerca da caminhada, Sales (2020), Sales (2014) pontua que até aquele momento, o estudo de Ostermann (2000), existiam diversas justificativas para o ensino de FMC na educação básica.

Para que a FMC esteja presente em sala de aula é fundamental que o currículo, em alguma medida, o favoreça (SALES, 2020; SALES, 2014). No início do século XXI, tínhamos em vigor os Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 2002) que, conforme Sales (2020), Sales (2014), incorporaram os discursos apresentados por pesquisadores da área. Com o objetivo de identificar os avanços acerca do ensino de FMC no início do século XXI, Pereira e Ostermann (2009), quase dez anos depois de Ostermann (2000), realizaram a revisão da literatura e encontraram 102 artigos. Sales (2020), Sales (2014) pontua que o número de artigos é considerável para a área ainda em processo de consolidação.

Pereira e Ostermann (2009) agruparam os artigos em quatro categorias, sendo elas: (i) propostas didáticas testadas em sala de aula, que consiste em artigos em que ocorre a implementação de estratégias didáticas objetivando o estudo de temas de FMC; (ii) levantamento

de concepções, considera os artigos em que se aprecia o conhecimento de professores e estudantes sobre temáticas abordadas pela FMC; (iii) bibliografia de consulta para professores, trata-se de artigos voltados para a consulta bibliográfica direcionadas a professores de física; e (iv) análise curricular, foram os artigos que se dedicaram à análise curricular ou outras análises para o ensino de FMC. Os autores observaram um aumento das publicações acerca do ensino de FMC, contudo houvesse um predomínio de artigos relacionados a categoria (iii). Sobre a primeira categoria, conforme os autores, existe um número considerável de artigos, contudo poucos investigaram o processo de construção de conhecimento.

Um dos apontamentos realizados por Sales (2020), Sales (2014) acerca da Pereira e Ostermann (2009) está relacionada ao desenvolvimento das atividades sobre FMC em sala de aula, pois além de orientar e motivar os professores em levar as propostas para suas aulas, é importante que reconheçam aplicabilidade do material e a aproximação da proposta a realidade.

Com relação às tendências no período de 2001 à 2006, pode-se afirmar que a grande maioria dos temas de pesquisa sobre o ensino de FMC, refere-se à mecânica quântica. Esses trabalhos totalizam um número de 26 artigos contra 11 trabalhos sobre relatividade especial e geral, e 13 trabalhos sobre outros temas (radiação, supercondutividade, física de partículas, física nuclear, armas nucleares, etc.) (PEREIRA; OSTERMANN, 2009, p. 413).

Sales (2020), Sales (2014) aponta que o estudo de Pereira e Ostermann (2009) apresenta as tendências das temáticas de FMC presentes nos artigos com predomínio de Mecânica Quântica (26 artigos) seguido da Teoria da Relatividade (11 artigos), ela ainda destaca o predomínio da Física Moderna nas pesquisas.

Buscando identificar as justificativas e expectativas apresentadas por pesquisadores acerca da inserção de Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica, Valente (2009) preparou um levantamento bibliográfico que lhe permitiu identificar os objetivos educacionais e separá-los em três categorias, sendo elas: (a) questões da própria ciência, em que as justificativas para inserir FMC estavam relacionadas à compreensão de novas dimensões seja do conhecimento ou da natureza da ciência; (b) aspectos de caráter tecnológico, vinculados a relação ciência e tecnologia em que os conceitos da FMC são fundamentais para compreender a tecnologia e os aparatos tecnológicos; e, (c) implicações sociais desses novos conhecimentos, em que a FMC está diretamente relacionada à formação de um cidadão crítico e que saiba lidar com os problemas contemporâneos e a sociedade tecnológica.

Já na década de 2010, Sales (2020), Sales (2014) aponta a existência de diversas fontes de pesquisas, como Jardim, Guerra e Chrispino (2011) Jardim, Luz e Higa (2013) , Araújo e Hosoume (2013) . Além disso, vê-se trabalhos que investigam a sala de aula que abordam FMC,

contudo com menor quantidade Sales (2020), Sales (2014). Outro ponto que a autora destaca é o predomínio da Física Moderna em comparação com a Física Contemporânea. Ao destacar a importância dos professores para levar FMC para sala de aula, Sales (2020), Sales (2014) levanta o seguinte questionamento: eles (professores) acham importante inserir física moderna no ensino médio? Para esboçar uma possível resposta ao questionamento, Sales (2020), Sales (2014) aponta o estudo de Grimes, Lawall e Neto (2011) e com ele apresenta que a maioria dos professores reconhece a relevância em ensinar Física Moderna, outros destacam a importância dos estudantes compreenderem tais temáticas. Acerca da formação inicial dos professores, naquele momento, década de 2010, Sales (2020), Sales (2014) destaca o trabalho de Shinomiya e Ricardo (2011) que apresenta que ela é insuficiente para levar FMC para sala de aula, e com isso se concentram na Física Clássica, sendo a área que possuem mais facilidades.

Baseado no estudo de Monteiro, Nardi e Filho (2009), Sales (2020), Sales (2014) aponta que tanto os professores que fizeram bacharelado quanto os que fizeram licenciatura destacam que não se sentiam preparados para fazer discussões de FMC na Educação Básica. A autora indica, que na maioria das vezes, a discussão na formação inicial é feita pensando só na formação do físico, que atuará como pesquisador e não pensando em como levar tais temáticas para a sala de aula.

Portanto, é fundamental repensar a formação inicial e continuada de professores incluindo elementos acerca do processo de ensino de FMC. Não só discutindo FMC mas como ensiná-lo Sales (2020), Sales (2014).

O ensino de FMC ainda está presente na literatura, desde de estudos que apresentam propostas didáticas à investigações realizadas em sala de aula, contudo nota-se um aumento na temática quando comparada com outras. Outro ponto que merece destaque é olhar para a formação do professor e o quanto chegam em sala de aula, pois passa pelo professor e prepará-lo para de fato ele se sentir confortável para levar FMC para a sala de aula Sales (2020), Sales (2014). Sales (2020), Sales (2014) ainda aponta que o caminho agora está relacionado a BNCC e como a FMC pode ser articulada neste contexto e a formação de nossos professores com a BNCC de formação.

2.2 O Princípio da Incerteza de Heisenberg

Dentre os novos paradigmas que emergem com a Física Moderna e Contemporânea, estamos interessados no Princípio da Incerteza proposto pelo alemão Werner Heisenberg (1901-1976).

Heisenberg deixou muitas incertezas sobre seus princípios. Na aclamada obra do inglês Michael Frayn (1933), chamada *Copenhague* (1997), o autor traz uma analogia do que pode ter acontecido no famoso encontro de Heisenberg e Bohr, quanto às questões sociais provocadas pela fissão nuclear nos meados do século XX.

No documentário da BBC, *Copenhague Fall Out – Niels Bohr Werner Heisenberg* (BBC FOUR, 2005), nos traz informações que nos permitem tentar entender um pouco mais da história de Heisenberg e sobre esse encontro. Em 1920, o físico ingressou no curso de física na universidade de Munique, e estudou com dois dos principais físicos quânticos da época, o dinamarquês Niels Bohr e o alemão Max Bohr. As ideias de ambos influenciaram Heisenberg a derrubar as bases da física clássica e erguer os fundamentos da física quântica.

Em 1924, Heisenberg aceita o convite de Bohr para trabalhar em Copenhague, e, nesse tempo, adquire o conhecimento necessário para desenvolver sua teoria. Ganhou o prêmio nobel de 1932 pela criação da mecânica quântica e sua aplicação que levou à descoberta das formas alotrópicas do átomo de hidrogênio, atingindo, portanto, o auge de sua carreira. Mas isso tudo seria interrompido com a chegada da segunda guerra mundial.

Vale lembrar que, após a ascensão de Adolf Hitler ao poder da Alemanha em 1938, a “nova física”, tanto a da relatividade quanto a da incerteza, começou a ser ligada à impureza e ao judaísmo. Dali em diante, o ambiente acadêmico teria grandes influências políticas e religiosas. Um exemplo disso foi a perseguição dos judeus durante esse período. Muitos cientistas da época eram de famílias judaicas, e os que moravam na Alemanha nazista foram proibidos de trabalhar no país. Com isso, muitos desses cientistas tiveram que sair da Alemanha, recorrendo a países que os aceitavam, como por exemplo os Estados Unidos. (DÖRRIES, 2005).

No período conturbado após ascensão de Adolf Hitler ao poder da Alemanha em 1919, Heisenberg começou a ser investigado pelo governo nazista. E por mais que estivesse sem esperanças, como relata em seu livro “Mais brilhante que mil sóis” (1956), ele tomou sua decisão de ficar na Alemanha e continuar na universidade e ver onde esse caminho iria levá-lo.

Com a segunda guerra mundial começando, em 1939 a Alemanha nazista montou um programa de armas nucleares formado por cientistas renomados, entre eles Heisenberg, e a busca pelo desenvolvimento da bomba atômica iria começar (DÖRRIES, 2005).

Após esse encontro ter acontecido, apareceram muitas dúvidas sobre a real intenção da visita de Heisenberg à Bohr. Isso porque a influência dos fatores, tanto sociais como políticos, na produção do conhecimento científico foi muito significativa durante esse período.

Na carta de Heisenberg para o autor Robert Jungk, contida no livro *Mais brilhante do que mil sóis*, explica que, no fim, sua intenção era convencer os cientistas nucleares de ambos os lados da guerra a impedir o desenvolvimento de uma bomba atômica, afirmando aos governantes que dificuldades técnicas e econômicas tornavam essa tarefa impossível em um futuro próximo.

Porém, em 1998, a família de Bohr divulgou diversas cartas que ele havia escrito ao físico alemão, que não foram enviadas. Nelas, Bohr descreve uma história diferente, na qual, durante a visita de Heisenberg, ele “sentiu que o jovem se gabava não apenas da próxima vitória da Alemanha, mas também de sua capacidade de construir uma bomba atômica em um futuro próximo”.

São interpretações, e não saberemos qual delas realmente é a verdade. De um lado temos um cientista que queria ajudar o mundo a não viver do pesadelo atômico, e de outro um cientista que ajudou Hitler, na construção de bombas atômicas. Heisenberg, um físico que deixou o mundo com o princípio da incerteza, mas também um mundo de incertezas sobre seus princípios (VENTURA, 2020).

Com o breve relato histórico nos parágrafos supracitados, buscamos contextualizar aspectos sociais em que o Princípio da Incerteza emergiu. Na próxima seção, apresentaremos e discutiremos aspectos físicos do princípio em si.

2.2.1 Discutindo o Princípio da Incerteza

Para a escrita desta seção tomou-se como referência a obra de Eisberg et al. (1988) .

Para que se possa construir uma equação de movimento na mecânica clássica, precisa-se de alguns elementos fundamentais, como a distância, velocidade e os intervalos de tempo que são envolvidos no sistema. A mecânica clássica, newtoniana, desenvolveu uma série de conceitos e equações na quais nós poderíamos determinar com muita precisão a evolução de um sistema físico a partir do momento que você conhece as condições iniciais do sistema em relação a um referencial. Se são conhecidas as condições iniciais do sistema, pode-se descrever como esse sistema evolui no tempo, ou seja, consegue-se fazer previsões sobre o futuro desse sistema. E no mundo quântico, como realizar medidas?

As equações que envolvem a Física Quântica não são equações determinísticas, como na Mecânica Newtoniana, são equações probabilísticas o que a torna a Física das probabilidades. Por exemplo, quando se fazem medidas de velocidade e posição de um carro, consegue-se determinar com bastante precisão as medidas, mas é diferente quando se tenta medir a posição e a velocidade

de um elétron, um objeto quântico, muito pequeno. Obtém-se uma incerteza, não conseguindo medir com precisão a posição desse objeto.

O uso de considerações probabilísticas não é estranho à física clássica. Por exemplo, a mecânica estatística clássica se utiliza da teoria de probabilidades. Entretanto, na física clássica as leis básicas (tais como a lei de Newton) são determinísticas, e a análise estatística é apenas um artifício prático para tratar sistemas muito complicados. De acordo com Heisenberg e Bohr, no entanto, a interpretação probabilística é fundamental em mecânica quântica, e deve-se abandonar o determinismo (EISBERG et al., 1988, p. 97).

Se quisermos analisar a posição de um elétron, um objeto quântico, temos que levar em consideração novos fatores. Para medir sua posição é preciso encontrá-lo, e, para isso, é necessário iluminá-lo. Como o elétron é da mesma ordem de comprimento de onda do fóton incidente, se utilizarmos um fóton muito energético, toda vez que esse fóton chocar com esse elétron, ele vai alterar as propriedades e características desse elétron, mudando portanto sua velocidade e direção, ou seja, as suas condições iniciais.

Portanto, todas as vezes que se tentarmos observar ou medir um objeto quântico, não importa o aparato que se monte, iremos interferir nas características fundamentais do objeto. Não é possível medir com precisão onde o elétron estava sem interferir em sua velocidade e vice-versa. Causando a incerteza, tanto na posição quanto no momento. E Heisenberg percebeu que:

A incerteza que eu tenho na medida da posição multiplicado pela incerteza que tenho do momento linear, vai ser maior ou igual a uma determinada constante ($\hbar/2$), de tal forma que:

$$\Delta p_x \Delta x \geq \hbar/2$$

Onde Δp_x é a incerteza do momento, Δx a incerteza da posição x , no mesmo instante, e $\hbar = h/2\pi$, sendo $h = 6,62607015 \times 10^{-34} Js$ a constante de Planck.

Então ficamos com uma incerteza, uma imprecisão na posição e no momento. Portanto, esta equação não pode ser mais escrita de uma forma determinística assim como na mecânica clássica, pois teremos esse erro, e, com isso, nossas previsões se tornam probabilísticas. O princípio da incerteza nos traz a relação da incerteza do momento e a incerteza da posição. Vale lembrar que estamos observando um produto de incertezas, de maneira que, se tentarmos diminuir a incerteza de p_x , menos certeza da posição x teremos:

A restrição não é em relação à precisão com que Δp_x ou Δx podem ser medidas, mas em relação ao produto $p_x x$ numa medida simultânea de ambos (EISBERG et al., 1988, p. 98).

Temos também uma outra relação de incerteza entre a medida de energia e o intervalo de tempo necessário para realizar a medida. Se tentarmos medir a energia deste elétron, junto do intervalo de tempo característico da rapidez com que ocorrem mudanças no sistema, também obtemos uma incerteza, de tal forma que:

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar/2$$

Onde ΔE é a incerteza da energia, e Δt o intervalo de tempo e $\hbar = h/2\pi$, sendo $h = 6,62607015 \times 10^{-34} Js$ a constante de Planck.

Podemos notar que é a constante de Planck h que diferencia os resultados quânticos dos clássicos. Isso porque, se h ou \hbar fossem zero, a física quântica seria precisa assim como a física clássica. Com isso, o fato de ser de ordem de grandeza muito pequena, tira o princípio da incerteza do alcance do nosso mundo macroscópico. De forma que,

A física clássica tem validade limitada e a sua aplicação em sistemas microscópicos conduzirá a contradições com os resultados experimentais. Se não podemos determinar x e p simultaneamente, então não podemos especificar as condições iniciais do movimento de forma exata. Assim, não podemos determinar precisamente o comportamento futuro de um sistema. Em vez de fazer previsões determinísticas, podemos afirmar apenas os possíveis resultados de uma observação, dando as probabilidades relativas de sua ocorrência. Como o ato de observar um sistema o perturba de uma forma que não é completamente previsível, a observação altera o movimento do sistema fazendo com que ele não possa ser perfeitamente conhecido (EISBERG et al., 1988, p. 99).

Reconhecendo a importância do Princípio da Incerteza para compreender a Física Quântica e conseqüentemente a nossa realidade, na próxima seção abordaremos algumas pesquisas que buscavam inserir e investigá-lo em sala de aula.

2.3 Alguns trabalhos e possibilidade para o ensino médio

Em nossa busca na literatura, encontramos três trabalhos que abordam o princípio da incerteza em sala de aula.

As pesquisas e atividades já realizadas sobre o princípio da incerteza, não necessariamente vem do curso de física. A dissertação de Edvaldo Silva dos Santos (SANTOS, 2018), por exemplo, tem como objetivo investigar a apropriação do princípio da incerteza por estudantes de Química no contexto do ensino do modelo atômico quântico.

A pesquisa foi elaborada de modo qualitativo, em uma turma do curso de Química de uma universidade brasileira, no 1º semestre de 2016.

Para a compreensão do modelo atômico de orbitais é necessário o ensino de conceitos básicos da teoria quântica, entre os quais o princípio da incerteza que, tomado numa perspectiva realista, indica a impossibilidade de se conhecer a trajetória de entes quânticos, tais como elétrons, átomos e moléculas (SANTOS, 2018, p. 09).

As aulas com os estudantes foram expositivas, interativas com a disponibilização de textos referentes ao princípio da incerteza, e realização de exercícios e provas. No início das aulas foi aplicado um questionário que englobava perguntas sobre vários pontos da Química Quântica. Entre as aulas ministradas pelo professor no decorrer do curso, as que apresentaram importância para a pesquisa tratavam do tema: Relações de incerteza e interpretação probabilística da teoria quântica.

Vale ressaltar que ao analisar os livros didáticos de química para o ensino médio aprovados no Programa Nacional do Livro e do Material Didático - PNLD - 2012, os autores constataram que dois, entre cinco deles, vão discutir o princípio da incerteza, mesmo sem estabelecer o vínculo com o modelo atômico.

Ademais, para a continuidade da pesquisa eles ainda propõem novas investigações acadêmicas como a elaboração de material didático voltado para o ensino do princípio da incerteza para estudantes do ensino médio e do ensino superior.

Outro trabalho interessante, é o artigo “Indeterminação e incerteza: a reconceptualização de conceitos de mecânica quântica a partir de uma atividade mediadora” (JUNIOR et al., 2017). Nele é proposto o estudo das concepções de estudantes da educação básica sobre incerteza e indeterminação, assim como o impacto de uma atividade desenvolvida especificamente para a discussão de tais aspectos.

Os autores discutem as limitações ontológicas e epistemológicas que incorrem na indeterminação e incerteza sobre os resultados advindos da teoria quântica. Sendo esse estudo, um importante passo para uma melhor compreensão dos desafios impostos pela compreensão do mundo em nível quântico. Conforme os autores, a atividade mediadora utilizada mostrou-se produtiva neste aspecto, uma vez que os dados mostram que os estudantes que participaram procuram ampliar as diferenças entre incerteza e indeterminação.

Por fim, no artigo, “Uma proposta de uso de Imagens como uma ferramenta alternativa para o Ensino de Física Quântica” realizado por Rodrigues, Rodrigues, Guerra e Cristina (2015) é apresentado uma proposta de estudo a partir de uma abordagem histórico-filosófica. A proposta nos traz uma nova perspectiva para se trabalhar o Princípio da Dualidade e da Incerteza no Ensino Médio. Visto que o conteúdo de mecânica quântica é bastante complexo ao se tratar de

formalismos matemáticos, este trabalho propõe uma nova estratégia de expor esses conteúdos, utilizando algumas imagens que nos remetem a esses fenômenos quânticos.

O trabalho procura ajudar na construção de novas práticas pedagógicas trazendo novos subsídios, através de imagens, para que possamos incentivar o estudo de FMC na educação básica, visando responder a seguinte questão: Imagens didáticas e artísticas podem constituir-se em elementos a serem usados em atividades que pretendem trabalhar os Princípios da Complementaridade e da Incerteza?

Os autores irão focar em dois princípios importantes na mecânica quântica, o Princípio da Complementaridade e da Incerteza. Para o princípio da incerteza, o autor vai evidenciar o caráter discreto da matéria, ou seja, que a mesma não é contínua, e sim quantizada. E para isso, o autor começa utilizando uma representação artística, chamada técnica do pontilhismo.

A técnica do pontilhismo consiste em utilizar apenas pontos, sejam coloridos ou não. Ou seja, não há uso de linhas e nem de colorações chapadas, retirando a ideia de continuidade.

A seguinte obra (Figura 2.1), chamada “De Modelle” (1888), é do artista plástico francês, Georges Seurat. Na Figura 2.2 temos uma maçã pintada em pontilhismo¹

Figura 2.1 – Obra de Georges Seurat, "As Modelos"



Fonte: Rodrigues, Guerra e Cristina (2015)

¹ Disponível em: <portaldeprofessor.mec.gov.com.br> acessado em 20/06/2021

Figura 2.2 – Maçã em pontilhismo

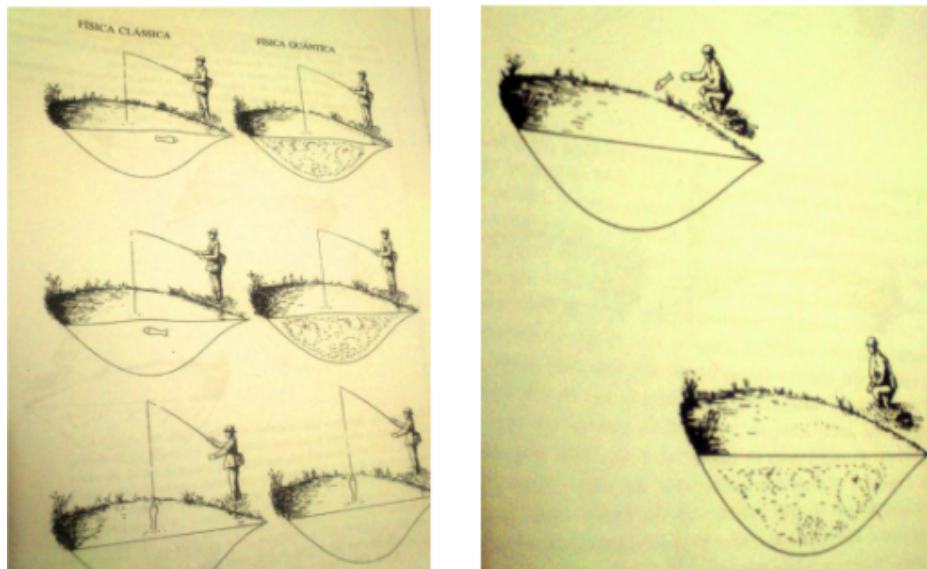


Fonte: Rodrigues, Guerra e Cristina (2015)

Trabalhando com essas duas imagens, é possível discutir a ideia de descontinuidade na arte, e, a partir disso, trazer uma interpretação quântica na qual a descontinuidade da matéria também se faz presente.

Do livro de “Introdução à física quântica” de Jean-Pierre Pharabod e Sven Ortoli publicado em 1984 (PHARABOD, 1986), os autores trazem algumas imagens que traduzem de alguma forma esses conceitos que também são discutidos na dissertação.

Figura 2.3 – "Peixes Solúveis" representando densidade de probabilidade



Retirado do livro “Introdução à física física quântica” de Jean-Pierre Pharabod e Sven Ortoli

Para o pescador, o peixe se movimenta na água à procura do alimento oferecido (Figura 2.3). Porém, se formos considerar o princípio da incerteza, o peixe, antes de morder a isca, era apenas uma espécie de potencialidade de peixe que ocupava todo o charco. Ou seja, Pharabod (1986) e Pharabod concluem que, ao associar o peixe a uma partícula quântica, o pescador passa

a enxergar no lago, como regiões que representariam uma nuvem característica da densidade de probabilidade de encontrar o peixe. (RODRIGUES; GUERRA; CRISTINA, 2015)

O trabalho propõe, portanto, o uso de imagens como ferramenta didática. Destacam ainda que a mecânica quântica de tão abstrata e difícil de representar, ao utilizar imagens, permite-se diferentes interpretações e análises, para que torne cada vez mais possíveis discussões acerca do tema.

Com o objetivo de propor a sequência de ensino, na próxima seção será apresentado os três momentos pedagógicos

2.4 Os três momentos pedagógicos

Os Três Momentos Pedagógicos permitem, por meio do diálogo entre professor e estudante, que ambos tenham, ao longo do processo de ensino e aprendizagem, uma compreensão maior a respeito dos conhecimentos e práticas envolvidos acerca de um tema de estudo (MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014). Sendo assim, é importante levar em consideração o conhecimento prévio que cada estudante traz e suas experiências. E, através do diálogo, ser possível uma maior interação entre professor e estudante, permitindo que o estudante expresse seu ponto de vista e suas conclusões acerca do tema. Neste contexto, o professor passa a ter uma postura mais questionadora, buscando favorecer a construção do conhecimento (ALBUQUERQUE; SANTOS; FERREIRA, 2015).

Os três momentos pedagógicos propostos por Delizoicov e Angotti (1990 apud MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014) consistem em: A problematização inicial, organização do conhecimento e a aplicação do conhecimento.

Na problematização inicial, de acordo com Delizoicov e Angotti (1990 apud MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014), serão discutidas situações reais, que façam parte do universo vivenciado pelos estudantes. Tais situações devem se relacionar com o tema e com os conteúdos que serão trabalhados. A partir destas situações reais é feita a problematização do conhecimento dos estudantes, que vão expondo suas concepções com o auxílio do professor, que instigará a participação dos mesmos através de constantes questionamentos.

A problematização poderá ocorrer pelo menos em dois sentidos. Por um lado, o estudante já poderá ter noções sobre as questões colocadas, fruto da aprendizagem anterior na escola ou fora dela. (...) Por outro lado, a problematização pode permitir que o estudante sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém Delizoicov e Angotti (1992 apud ALBUQUERQUE; SANTOS; FERREIRA, 2015, p. 465).

No primeiro momento problematiza-se o conhecimento que os estudantes vão expondo, e ele é caracterizado pela apreensão e compreensão da posição dos estudantes frente às questões em pauta, uma vez que a função do professor se volta mais para questionar posicionamentos, inclusive promovendo a discussão das distintas respostas dos estudantes, e lançar dúvidas sobre o assunto, para responder ou fornecer explicações (ALBUQUERQUE; SANTOS; FERREIRA, 2015).

Como física moderna é um assunto que naturalmente gera curiosidade dos estudantes, essa problematização pode se desenvolver de diversas maneiras. Através das discussões, é possível analisar quais temas são de interesse dos estudantes, para que a construção dos conceitos possa ser consolidada.

Na **organização de conhecimento**,

Os conhecimentos de Física necessários para a compreensão do tema central e da problematização inicial serão sistematicamente estudados neste momento, sob orientação do professor. Definições, conceitos, relações, leis apresentadas (...) serão agora aprofundadas Delizoicov e Angotti (1992 apud ALBUQUERQUE; SANTOS; FERREIRA, 2015, p. 466).

A construção de conceitos se dá a partir da problematização inicial, e é através dela que organizamos nosso conhecimento. Esse momento é muito importante uma vez que são conceitos que precisam ser adaptados para o nível de conhecimento deles.

Por fim, a **aplicação do conhecimento**, segundo Delizoicov e Angotti (1992 apud ALBUQUERQUE; SANTOS; FERREIRA, 2015, p. 465):

Destina-se, sobretudo, a abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo estudante para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinam o seu estudo, como outras situações que não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, mas que são explicadas pelo mesmo conhecimento Delizoicov e Angotti (1992 apud ALBUQUERQUE; SANTOS; FERREIRA, 2015, p. 467).

3 METODOLOGIA: SOBRE A CONSTRUÇÃO DA SEQUÊNCIA DE ENSINO

O modelo “tradicional” de ensino é focado no acúmulo e transmissão de conhecimentos (TEIXEIRA, 2019). Uma educação bancária, como apresentada por Paulo Freire. No processo de ensino e aprendizagem é necessário considerar a importância do conteúdo a ser ensinado para promover a formação de um estudante crítico e cientificamente alfabetizado (SASSERON; CARVALHO, 2011).

Ciência não é a realidade, nem tampouco representa a realidade, mas interpreta a realidade por intermédio de relações dependentes de teorias e modelos, possibilitando a construção e a reconstrução de conhecimentos (TEIXEIRA, 2019, p. 851).

Assim, é imprescindível, entre outras ações, que os estudantes investiguem situações que apresentam outras formas de interpretar a realidade, como a apresentada pela Física Moderna e Contemporânea. Dentre o amplo escopo de conhecimento abordado pela FMC, o Princípio da Incerteza de Heisenberg é fundamental para compreender a Mecânica Quântica e consequentemente a realidade.

Reconhecendo a importância de inserir FMC em sala de aula, conforme defendida por Machado e Nardi (2006), Valente (2009) e Rodrigues, Guerra e Cristina (2015), defendemos que tais conceitos estejam presentes no Ensino Médio por meio dos Itinerários Formativos da BNCC. Buscando contribuir para tal, propomos uma sequência de ensino cuja o processo de confecção pode ser sistematizado a seguir:

- Estudar e aspectos históricos no espaço da Mecânica Quântica, com o objetivo de identificar contexto histórico, situações-problema ou conceitos que pudessem articular com conceitos e problemas estudados no Ensino Médio. Ao término do estudo, identificou-se o Princípio da Incerteza de Heisenberg como potencialidade, sendo problematizado por meio do processo de medida e a percepção de certeza.
- Identificar na BNCC as Competências Gerais, as Competências de Ciências da Natureza e Habilidades que serão abordadas na sequência de ensino. Tais elementos serão apresentados na próxima seção, no Quadro 4.1.
- Pesquisar por materiais didáticos e paradidáticos, como textos de divulgação científica, documentários e filmes, que pudessem, em alguma medida, auxiliar a problematizar, direta ou indiretamente, o Princípio da Incerteza de Heisenberg.

- Planejar a sequência de ensino considerando os Três Momentos Pedagógicos propostos por Delizoicov e Angotti (1990 apud MUENCHEN; DELIZOICOV, 2014) consistem em: A problematização inicial, organização do conhecimento e a aplicação do conhecimento. Que abordamos na seção 2.4.
- Organizar um planejamento para orientar a uma possibilidade de intervenção em sala de aula, a partir da sequência de ensino proposta.

Com as etapas sistematizadas anteriormente, construímos a sequência de ensino apresentada na próxima seção

4 A SEQUÊNCIA DE ENSINO

A sequência de ensino foi construída com o objetivo de estudar o Princípio da Incerteza de Heisenberg, considerando um conjunto de habilidades abordadas pela BNCC, no Ensino Médio.

Das dez competências gerais, destacamos duas em nossa proposta. Das três competências da Ciências da Natureza a sequência aborda duas, na forma de duas habilidades. Tais Competências e Habilidades apresentamos no Quadro 4.1.

Contudo, vale destacar que a sequência de ensino não tem por objetivo e nem pretende abordar em plenitude as competências gerais das Ciências da Natureza. Assim, conforme o planejado e dependendo de sua realização em sala de aula, ela pode, em alguma medida, contribuir para elas, especialmente os trechos destacados. Optamos por destacar um fragmento, pois reconhecemos o processo de ensino e aprendizagem como complexo e cada ação pode contribuir um pouco para o desenvolvimento das competências.

Quadro 4.1 – Relação das Competências Gerais e das Ciências da Natureza e das Habilidades, conforme a BNCC, que a sequência de ensino visa contribuir.

Competências Gerais
Valorizar e utilizar os conhecimentos historicamente construídos sobre o mundo físico, social, cultural e digital para entender e explicar a realidade, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.
Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e criar soluções (inclusive tecnológicas) com base nos conhecimentos das diferentes áreas.
Competências das Ciências da Natureza
Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.
Habilidade (EM13CNT201) - Analisar e discutir modelos, teorias e leis propostos em diferentes épocas e culturas para comparar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo com as teorias científicas aceitas atualmente.
continua para próxima página

continuação da página anterior
Investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC).
Habilidade (EM13CNT303) - Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, tanto na forma de textos como em equações, gráficos e/ou tabelas, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações.

Fonte: Próprios Autores

Além das referências apresentadas na seção 2, acerca do Princípio da Incerteza de Heisenberg e seu contexto histórico, para construir a sequência de ensino utilizamos as obras Hewitt (2015) e os seguintes materiais paradidáticos: Asimov (1986), Davidovich (2010) e Orzel (2014), compondo a bibliografia da sequência.

A sequência de ensino foi desenvolvida com os seguintes objetivos de aprendizagens: a) compreender o Princípio da Incerteza de Heisenberg e sua importância para a Mecânica Quântica e as implicações para compreender a realidade; e, b) saber distinguir o Princípio da Incerteza dos erros de medidas.

Ao planejarmos a sequência, consideramos que os estudantes já estudaram e compreendem: (a) as características fundamentais da onda, como o seu comprimento, sua velocidade e seu meio de propagação, além do carácter dual da luz, ou seja, a dualidade onda-partícula; e, (b) alguns conceitos de mecânica, como velocidade e momento.

Ao propormos as atividades que compõem a sequência de ensino, estamos abordando a sala de aula como um ambiente de interações e é por meio dessas interações que os estudantes constroem o conhecimento. Assim, a professora atua como facilitadora do processo de ensino e aprendizagem, sendo um agente fundamental ao fomentar e enriquecer as interações em sala de aula.

A proposição, organização e condução das atividades devem, em alguma medida, favorecer o ambiente de interações. Assim, teremos diversos momentos em que os estudantes, em grupo, interagem com os materiais educacionais no sentido de solucionar ou propor soluções para

situações problemas. Além disso, contaremos com momentos de interações no grande grupo em que se pretende abordar os resultados dos grupos, para na sequência realizar, em alguma medida, a consolidação do conhecimento.

Teremos os estudantes interagindo em pequenos grupos, os estudantes interagindo no grande grupo e a professora realizando movimentos no sentido de consolidar o conhecimento.

Tais perspectivas estarão presentes em todas as ações que perpassam os Três Momentos Pedagógicos, os quais nortearam a proposição da sequência.

A sequência é composta por três atividades e em cada uma delas é abordado fortemente um dos três momentos pedagógicos de Delizoicov. Na primeira atividade temos a problematização inicial, na segunda a organização do conhecimento e na terceira a aplicação do conhecimento. Contudo, é fundamental que ao longo das atividades ocorra a consolidação dos conhecimentos.

Nas próximas três subseções são apresentadas cada atividade que compõem a sequência de ensino e na quarta um proposta de plano de aula para utilizá-la em sala de aula. Optou-se por essa disposição para dar ao leitor a possibilidade de refletir sobre as formas de utilizar a sequência em sala de aula.

4.1 Atividade I: Medidas e Certezas

A atividade será iniciada com a separação dos grupos, para que juntos possam interagir e discutir suas possíveis reflexões. É importante pedir também para que cada grupo separe uma folha para que possam anotar suas considerações acerca da atividade. Iniciaremos com a seguinte questão problematizadora:

A todo momento temos informações sobre medidas realizadas no nosso dia a dia e, na maioria das vezes, não percebemos. Alguns exemplos são: a velocidade do automóvel; “a velocidade da internet”; a taxa de transferência de dados; a temperatura dos corpos, entre outras situações.

E é exatamente sobre o processo de medidas que versarão os questionamentos a seguir:

- a) Apresente situações do dia a dia em que estão presentes medidas. Afinal, o que é medir? Qual a importância destas medidas para nossas vidas?
- b) O instrumento utilizado pode afetar na medida realizada? Cite exemplos.
- c) Na opinião do grupo, realizar a medida de uma grandeza, como, por exemplo, a posição, pode afetar o conhecimento de outra grandeza, como, por exemplo, a velocidade? Em outras palavras, conhecer uma grandeza impacta em não conhecer a outra?"

continuação da página anterior

Fonte: Próprios Autores

4.1.1 Conversa com o professor

Durante a apresentação de cada questionamento é fundamental que a professora vá orientando as discussões, sempre que possível considerando as respostas apresentadas pelos estudantes.

Com o questionamento da alínea (a) pretende-se que os estudantes pensem em situações em que medidas estão presentes no dia a dia, bem como desafiá-los a apresentar uma definição para uma medida.

Na alínea (b), vamos abordar a interferência do instrumento na medida realizada. Pode-se abordar o funcionamento de um termômetro clínico, que para inferir a temperatura é necessário colocá-lo em contato com o corpo para que entre em equilíbrio térmico. Assim, por menor que seja, o instrumento vai interferir na medida. Não temos uma medida absoluta. Mas podemos corrigir as imprecisões se conhecemos as condições iniciais dos instrumentos de medida. Por mais que os instrumentos na escala macroscópica afetem na medida, isso significa imprecisões infinitesimais.

Na alínea (c) exploramos elementos fundamentais no princípio da incerteza.

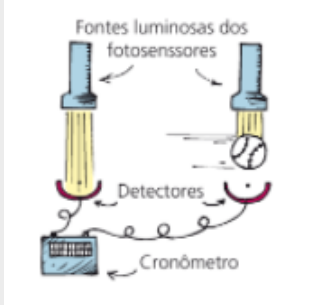
4.2 Atividade II: A certeza resulta em incerteza

Na atividade será abordado o Princípio da Incerteza de Heisenberg utilizando diversas analogias buscando construir uma compreensão conceitual. Para isso, utilizaremos a explicação do prof. Luís Davidovich¹ no programa Globo Ciência, que traz uma linguagem simples e direta, como referência e guia para a dinâmica que será conduzida em sala de aula.

Acredita-se que uma das grandes dificuldades encontradas pelos estudantes ao tratarem de assuntos quânticos é o quão abstrato esse assunto pode ser. Assim, buscaremos, com as analogias, utilizar situações reais, próximas dos estudantes para auxiliar no entendimento do assunto.

¹ O trecho que utilizamos está disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Z7wyTd1pLc0>> acessado em 20/06/2021

A ideia é montar um cenário em conjunto com os estudantes, utilizando a explicação apresentada pelo prof. Davidovich (2010) para enunciar o princípio da incerteza. Para isso, estruturamos um experimento mental, composto por um conjunto de questionamentos que os estudantes irão responder no decorrer da atividade.

Experimento mental²
Em nosso experimento mental, buscaremos identificar a velocidade de uma bola de bilhar e de um elétron. Assim, vocês atuarão no sentido de me auxiliar em tal processo.
<i>Proponha um experimento que me permita identificar a velocidade da bola de bilhar</i>
<p>Como adepto das tecnologias, imagine o seguinte instrumento de medida: dois sensores de luz, separados por uma distância conhecida. Quando a bola passar pelos sensores, o tempo de passagem é medido entre os instantes em que o primeiro e o segundo sensor são interrompidos. A precisão na medida da velocidade depende das incertezas relacionadas à distância entre os sensores e ao mecanismo de medida.</p> <p>A velocidade da bola é obtida dividindo-se a distância medida entre os sensores pelo tempo medido em que ela atravessou os feixes luminosos. Os fótons que incidem na bola alteram seu movimento muito menos do que algumas pulgas conseguem alterar o movimento de um superpetroleiro ao se chocarem com ele.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p>Fonte: Hewitt (1971, p. 593)</p> <p>Para continuarmos com a atividade, é necessário revisitar o comportamento da luz.</p>
O que é luz e como ela se comporta?
continua para próxima página

² Para a proposição do experimento mental, utilizamos a proposta presente na páginas 592, 593 e 594 da obra Física Conceitual

continuação da página anterior

Em nossos estudos, vimos que a luz pode ser compreendida como uma onda eletromagnética e que tem características como frequência, comprimento de onda e velocidade. Contudo, é importante dizer que, além de se comportar como onda, a luz também pode se comportar como partícula, intitulada de fóton, e que possui energia e quantidade de movimento - *momentum*. Portanto, a luz tem um comportamento dual, sendo onda-partícula. Dependendo do fenômeno, a luz pode se comportar como onda, por exemplo interferência e difração, ou como partícula, por exemplo o efeito fotoelétrico. Em nossos estudos, vamos considerar a luz como partícula, ou seja, o fóton.

Para estimar a velocidade de um elétron, devemos considerar que, para analisarmos e descrevermos o comportamento dos sistemas físicos em um universo microscópico, precisamos levar em consideração novas variáveis, que não existem no mundo macroscópico ou que não são afetadas por eles.

A mecânica newtoniana nos traz uma série de conceitos e equações nas quais nós poderíamos determinar com muita precisão a evolução de um sistema físico a partir do momento que conhecemos as condições iniciais do sistema em relação ao referencial. Ao fazermos medidas de velocidade e a posição de um carro, conseguimos determinar com bastante precisão as medidas, mas é diferente quando se tenta medir a posição e a velocidade de um objeto quântico, muito pequeno, como por exemplo o elétron.

Com o objetivo de localizar um elétron, vamos imaginar que seja possível localizá-lo por meio da luz. Ao iluminarmos o elétron, estamos emitindo fótons, e esses fótons são tão pequenos quanto o elétron, ocorrendo uma “colisão” entre eles, tendo transferência de energia de um para o outro.

O que você acha que acontecerá com a velocidade do elétron após a colisão?

Cada medida resultará em valores distintos, assim no mundo quântico, as medidas consistem em média das medidas, pois cada medida retorna um valor diferente e, ao falar de posição e velocidade, estamos falando de valor mais provável.

Quando iluminamos um elétron a fim de localizá-lo, estamos emitindo um fóton que, eventualmente, irá colidir com o elétron, imprimindo uma nova velocidade à ele. Ao localizar o elétron, iremos perder a informação da velocidade do elétron no momento em que foi observado.

O ato de observar algo tão minúsculo quanto um elétron incide sobre o mesmo produz uma considerável incerteza ou em sua posição ou em seu *momentum*. Embora essa incerteza seja completamente desprezível nas medições da posição e do movimento de objetos do cotidiano (macroscópicos), ela é o fator predominante no domínio atômico.

continua para próxima página

continuação da página anterior

A incerteza existente nas medições realizadas no domínio atômico foi expressa matematicamente pela primeira vez pelo físico alemão Werner Heisenberg, e é chamada de princípio da incerteza. Este é um princípio fundamental da mecânica quântica. Heisenberg descobriu que, quando se multiplica as incertezas existentes nas medidas de momentum e de posição de uma partícula, o resultado deve ser igual ou maior do que $\hbar/2$, (\hbar é a constante de Planck, h , dividida por 2π ; uma constante que é chamada de “ \hbar ”). Podemos expressar o princípio da incerteza por uma fórmula simples:

$$\Delta p_x \Delta x \geq \hbar/2$$

Extraídos de Hewitt (2015, p. 593).

O princípio da incerteza é um dos aspectos mais conhecidos da física do século XX e é comumente apresentado como um exemplo claro de como a mecânica quântica se diferencia das premissas elementares das teorias físicas clássicas. Isso porque, na mecânica clássica, quando conhecemos as condições iniciais, conseguimos com precisão determinar o movimento e a posição dos corpos de forma simultânea.

Ainda que o princípio da incerteza tenha sua validade restrita ao nível subatômico, ao inserir valores como indeterminação e probabilidade no campo do experimento empírico, tal princípio constitui uma transformação epistemológica fundamental para a ciência do século XX. Essa transformação conduziu à discrepâncias na interpretação do conteúdo físico, surgindo versões conceitualmente distintas para as relações de incerteza, podendo ser interpretadas como relações de incerteza ou indeterminação.

Extraído em: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Princ%C3%ADpio_da_incerteza_de_Heisenberg> Acessado em 17/06/2021.

Para saber mais:

Princípio da incerteza: 5 pontos para entender a teoria de Werner Heisenberg

1. Uma ideia contraintuitiva

As ideias da teoria quântica, que já vinham sido desenvolvidas por físicos como Niels Bohr, Paul Dirac e Erwin Schrodinger, tinham uma lógica pouco intuitiva: elas propunham que a energia não era contínua, mas sim dividida em “pacotes” (quanta). A luz, por sua vez, poderia ser descrita como uma onda e um fluxo desses pacotes.

2. Impossível precisar

O princípio da incerteza define que não podemos medir a posição (x) e o momentum (p) de uma partícula com total precisão. E mais: quanto mais precisamente conhecemos um dos valores, menos sabemos o outro. Se multiplicarmos os erros nas medições dos valores, o resultado deve ser um número maior ou igual de uma constante que recebeu o nome de $\hbar/2$. Onde \hbar , por sua vez, é igual à constante de Planck ($6,62607004 \times 10^{-34} J.s$) dividida por π .

continua para próxima página

continuação da página anterior

3. O limite do compreensível

A teoria de Heisenberg também determina que há um limite para o que podemos saber sobre o comportamento das menores escalas da natureza, que chamamos de partículas quânticas. O máximo que podemos fazer é calcular as probabilidades de como elas vão se comportar e onde estão — algo bem diferente do universo de Isaac Newton, no qual o movimento segue leis claras e fazer previsões é relativamente simples, se conhecidas as condições iniciais.

4. Uma explicação para o inexplicável

O princípio da incerteza explica por que os átomos não implodem, como o sol brilha e por que o vácuo espacial, na verdade, não está vazio (entendem a parte do inexplicável?). Veja o caso dos átomos: eles têm elétrons com cargas negativas orbitando um núcleo com cargas positivas. Pela lógica da física clássica, de que os opostos se atraem, tudo deveria entrar em colapso. E por que isso não acontece?

Segundo o princípio da incerteza, se um elétron se aproxima demais do núcleo, sua posição seria conhecida com precisão — a medição do momentum (ou velocidade), por sua vez, seria muito imprecisa. Se fosse esse o caso, o elétron seria rápido o suficiente para sair por completo do átomo.

5. Sim, mas e o vácuo?

Por definição, vácuo é ausência de tudo. Menos para teoria quântica: existe uma incerteza na quantidade de energia dos processos quânticos e no tempo necessário para que os processos de fato aconteçam. Além do cálculo de posição e momentum, a equação de Heisenberg serve para calcular energia e tempo. A lógica é a mesma: quanto mais se sabe sobre uma, menos se sabe sobre a outra.

O Princípio da Incerteza Explicado - Neste vídeo, Pedro Loos explica com animações o princípio da incerteza de Heisenberg e seu impacto na ciência. Ele traz uma interpretação do princípio da incerteza na qual existe um limite quântico na precisão de experimentos para certas quantidades físicas. Mostrando que não é possível medirmos posição e velocidade ao mesmo tempo.

4.2.1 Conversa com o professor

Após as discussões do experimento mental, reforçar as diferenças entre as previsões clássicas e quânticas para o princípio da incerteza. Para isso, a professora poderá utilizar os 5 pontos para entender a teoria de Werner Heisenberg mostrado acima. Alguns desses pontos (2 e 3) são informações que já foram repassadas para os estudantes, desse modo reforçar esse conceitos podem ajudar no entendimento. Ademais, os outros pontos, em específico o 4 e 5, são informações novas que podem ajudar a construir esse conhecimento. Além desses tópicos, é proposto um vídeo no youtube do canal “Ciência todo dia³ para explicar o princípio da incerteza. Nele contém

³ Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=DzFU9Xtu2-A&t=1s>> acessado em 20/06/2021

uma discussão mais profunda acerca desses tópicos apresentados e pode ser repassado para os alunos da forma como o professor preferir.

4.3 Atividade 3: Medir sem interferir?

Na atividade utilizaremos o texto **O que é o Princípio da Incerteza de Heisenberg?** escrito por Isaac Asimov, para retomarmos as principais discussões realizadas em sala de aula. Assim, propomos debater o texto, dando espaço para os estudantes levantarem dúvidas ou outros questionamentos no sentido de compreendê-lo.

O que é o Princípio da Incerteza de Heisenberg?⁴ - (Isaac Asimov^{5 6})

Para explicar o conceito de incerteza, consideremos, inicialmente, o conceito de certeza. Quando se conhece alguma coisa a respeito de determinado objeto, com segurança e exatidão, tem-se certeza acerca de um conjunto de dados, seja lá quais forem.

Mas será que os táquions⁷ existem realmente? É possível admitirmos a existência de um universo de táquions que não viola a teoria de Einstein, mas possibilidade de existência não significa necessariamente existência.

E como se chega a conhecer algo? De uma maneira ou de outra, deve-se interagir com o objeto. Deve-se pesá-lo na determinação de seu peso, deve-se golpeá-lo para verificar sua dureza, ou talvez apenas olhar para ele, a fim de ver onde se encontra. Mas alguma interação deve haver, ainda que seja mínima.

Pode-se sustentar que esta interação sempre introduz alguma perturbação na propriedade que se deseja determinar. Em outras palavras, o próprio ato de aprender interfere no objeto em estudo, de forma que no final este não fica conhecido de maneira exata.

A título de exemplo, suponhamos que o leitor queira medir a temperatura da água de sua banheira. Para isso, introduz nela um termômetro. Mas o termômetro está frio e a sua presença na água torna-a um pouco mais fria. Pode-se obter uma boa aproximação da temperatura, mas não com a precisão de trilionésimo de grau. O termômetro alterou a temperatura que estava sendo medida, mas a perturbação por ele introduzida foi quase imensurável.

continua para próxima página

⁴ Texto disponível em: <<https://livrepensamento.com/2016/06/01/asimov-explica-o-principio-da-incerteza/>> acessado em 10/06/2021.

⁵ * Isaac Asimov foi escritor e bioquímico nascido na Rússia. Foi um dos maiores autores de Ficção Científica da História e um dos grandes nomes da divulgação científica de todos os tempos.

⁶ ASIMOV, Isaac. Asimov Explica. Trad. Edna Feldman. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Francisco Alves. 1986.

⁷ O táquion é uma partícula hipotética cuja velocidade excede a velocidade da luz. Disponível em: <<https://pt.wikipedia.org/wiki/T%C3%A1quion>> acessado em 16/06/2021.

continuação da página anterior

Como outro exemplo, suponhamos que agora você queira medir a pressão do ar num pneu. Para tanto, utiliza-se de um instrumento munido de pequeno êmbolo, o qual é empurrado por uma pequena quantidade de ar que escapa do pneu. Mas o fato de que o ar escapa significa que a pressão de ar baixou um pouquinho no ato de medi-la.

É possível construir instrumentos de medição tão pequenos e sensíveis, e que se utilizem de métodos indiretos, de forma a não introduzir a menor modificação na propriedade que se deseja medir?

Em 1927, o físico alemão Werner Heisenberg concluiu que não. Um instrumento de medição pode ser muito pequeno, de dimensões tão reduzidas quanto uma partícula subatômica mas não menor. Ele deve utilizar-se de, no mínimo, um quantum de energia, mas não menos. Uma única partícula e um único quantum de energia já são suficientes para introduzir algumas alterações. Se você simplesmente olhar para algo, a fim de vê-lo, isso é possível em virtude do fato de que fótons de luz ricocheteiam no objeto, o que introduz alguma mudança.

Essas mudanças são extremamente pequenas e, na vida cotidiana, podem ser ignoradas, e realmente o são – mas de qualquer maneira as mudanças ainda estão lá. E se estivermos lidando com objetos tão pequenos, para os quais mesmo as menores mudanças assumem grandes proporções?

Se você quisesse saber a posição de um elétron, por exemplo, teria de fazer incidir sobre ele um quantum de luz, ou, mais provavelmente, um fóton de raio gama, a fim de “vê-lo”. O fóton incidente empurraria o elétron, tirando-o de sua posição original.

Heisenberg conseguiu demonstrar, em particular, a impossibilidade de se elaborar qualquer método para se determinar exatamente e ao mesmo tempo a posição e o momento de qualquer objeto. Quanto mais acurada for a determinação da posição, mais imprecisa será a determinação do momento, e vice-versa. Calculou também qual seria o valor da falta de precisão ou “incerteza” em tais grandezas, sendo esse o seu “princípio da incerteza”.

O princípio da incerteza implica em uma certa “granulosidade” no universo. Ao se ampliar uma foto de jornal, chega-se, por fim, ao ponto em que apenas pequenos grãos ou pontos são percebidos, perdendo-se todos os detalhes. O mesmo acontece ao se olhar muito de perto para o universo.

Algumas pessoas ficaram desapontadas com esse princípio, pois julgavam-no uma confissão de eterna ignorância. Mas não é nada disso. Estamos interessados em aprender como o universo comporta-se, e o princípio da incerteza é um fator chave desse comportamento. A “granulosidade” está aí, e isso é tudo. Heisenberg mostrou-nos isso, e os físicos lhe são gratos.

Para sistematizar esse conceito, é sugerido o texto “O que é o princípio da incerteza de Heisenberg?” de Isaac Asimov. O professor deverá guiar a discussão, incentivar os alunos a

entenderem que com o princípio da incerteza não importa o quanto nós tentamos, nós nunca teremos como medir algumas coisas com precisão. Mostrando como somos limitados no nosso próprio conhecimento e que mesmo com essa limitação, é possível desenvolver teorias tão bem consolidadas como a mecânica quântica.

Na sequência, com os estudantes em grupos, serão apresentadas as seguintes questões:

- a) Para medidas de grandezas macroscópicas, como por exemplo a temperatura de um copo de água, a velocidade de um carro ou a pressão dos pneus do carro, pode ser aplicado o princípio da incerteza de Heisenberg? Justifique.
- b) Nós alteramos o que pretendemos medir ao realizarmos uma pesquisa de opinião pública? O princípio da incerteza de Heisenberg se aplica aqui?
- c) Em quais das seguintes situações as incertezas quânticas são significativas: ao medir simultaneamente a rapidez e a localização de uma bola de beisebol; de uma bolinha de papel amassado; de um elétron? Justifique.
- d) Se as medidas mostram uma posição bem definida de um elétron, aquelas mesmas medidas podem também revelar com precisão qual é o seu *momentum*? Explique

4.3.1 Conversa com o professor:

Com as alíneas a) e b) espera-se que os estudantes relacionem situações do dia-dia com o princípio da incerteza. Para que com a alínea c) possam compreender quais situações as incertezas quânticas são significativas. Por fim, com a alínea d) que os estudantes possam identificar a incerteza que obtemos no *momentum* do elétron ao medir com precisão sua posição.

5 PROPOSTA PARA SALA DE AULA E REFLEXÕES SOBRE A TEMÁTICA

Com o objetivo de apresentar uma possibilidade de uso da sequência de ensino em sala de aula, organizamos esta seção. Não especificamos o ano de sua realização, pois, uma vez que os pré-requisitos forem apresentados, mostra-se possível a realização da mesma. No Quadro 5.1, organizo a sequência e suas três atividades, conforme os três momentos pedagógicos e com o tempo de duração previsto para cada uma delas.

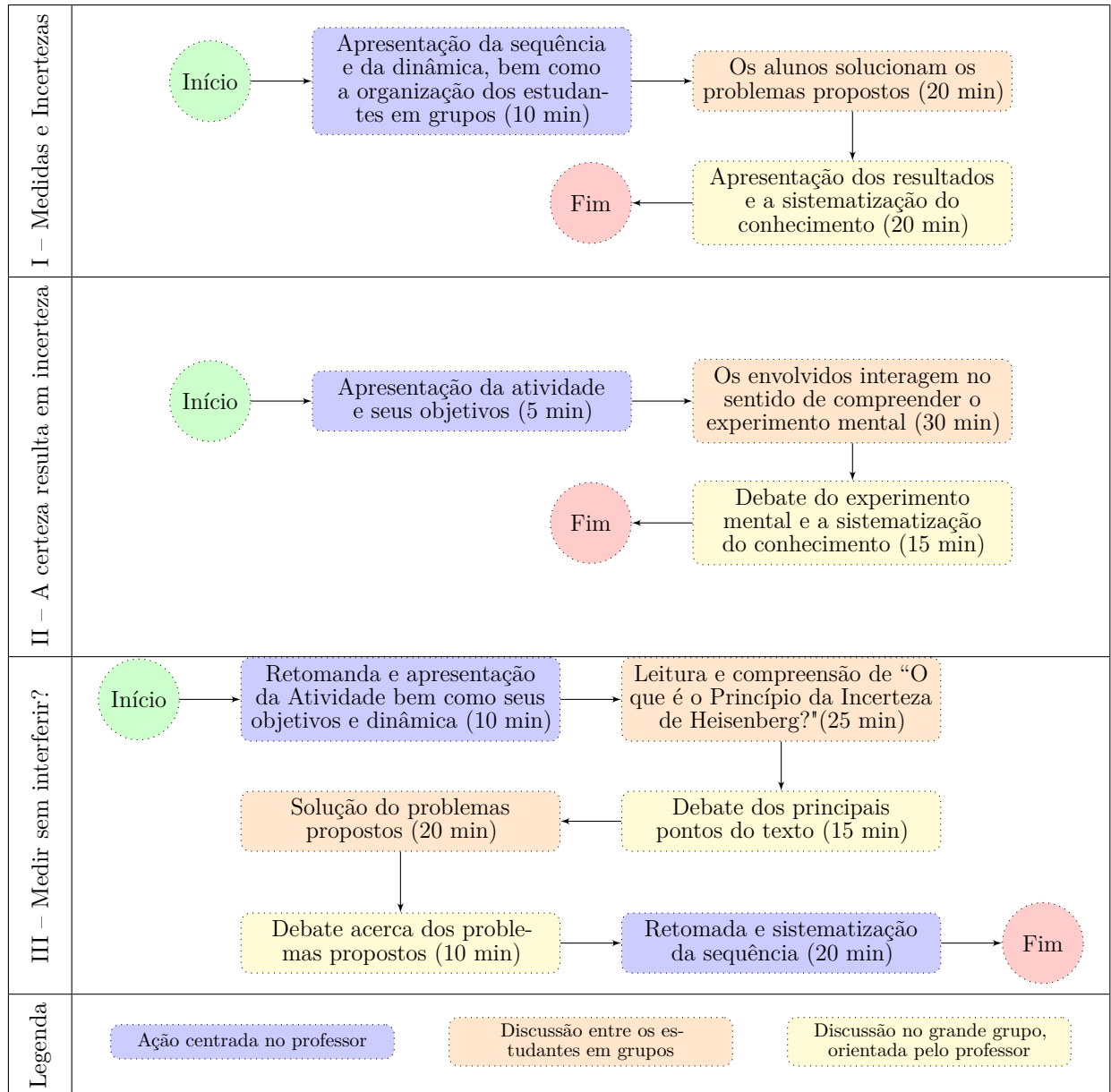
Quadro 5.1 – Organização das sequência de ensino em plano de aula

Atividade (Duração) 3MP	Objetivos de Aprendizagens	Habilidades da BNCC
Medidas e Incertezas (50 minutos) Problematização inicial	Identificar e compreender a importância das medidas e “certezas” envolvidas no cotidiano	EM13CNT201
A certeza resulta em incerteza (50 minutos) Organização do conhecimento	Compreender o Princípio da Incerteza de Heisenberg e sua importância para a Mecânica Quântica e as implicações para compreender a realidade	EM13CNT201
Medir sem interferir? (100 minutos) Aplicação do conhecimento	Saber distinguir o Princípio da Incerteza dos erros medidas.	EM13CNT303

Fonte: Próprios Autores

No Quadro 5.2, apresentamos o fluxograma detalhando os diferentes momentos para uso de cada atividade com a indicação das exposições do professor, das interações do grupos, e das ações nos grupos, conforme a legenda. Aqui buscaremos criar um ambiente de interações entre os estudantes e o professor envolvido

Quadro 5.2 – Organograma para organizar as ações em sala de aula, buscando fomentar uma ambiente de interações entre os estudantes e a professora.



Ao investigar a temática e com as buscas na literatura, reconhecemos diversos desafios e possibilidades ao levar os Princípios da Incerteza para a sala de aula, que serão apresentadas na próxima seção.

5.1 Algumas reflexões sobre a temáticas: Desafios e possibilidades

No decorrer do trabalhos apresentamos alguns estudos que problematizam e investigam o uso de Física Moderna e Contemporânea em sala de aula, apontando diversos argumentos a favor dessa inserção. No decorrer do estudo, vimos que com a proposta da Sequência de Ensino

que aborda o princípio da incerteza, não foi e não é uma tarefa fácil. Nessa seção, destaco alguns desafios e possibilidades que podem ser abordados ao tratar a temática em sala de aula.

5.1.1 Alguns Desafios

Acredito que os primeiros cálculos envolvendo o Princípio da incerteza não apresentam muitas dificuldades, pois são equações de primeiro grau envolvendo operações matemáticas simples e relações trigonométricas básicas.

Visto que o princípio é relacionado com ondulatória (frequência, comprimento de onda), e com cinemática (velocidade, momento), seria interessante trazermos a Física Moderna com esses conteúdos já estabelecidos nos materiais didáticos e como pré-requisitos para os estudantes. No entanto, mesmo com domínio dos conceitos, a interpretação dessas equações e suas relações podem ficar confusas e bastante abstratas, como por exemplo explicar o produto de incertezas e sua relação direta com a teoria, e até mesmo o significado da constante de Planck (EISBERG et al., 1988)

Em sala de aula, uma frase mal colocada no processo de ensino e aprendizagem envolvendo a Mecânica Quântica podem deturpar os conceitos estudados visto o alto grau de abstração, sendo de suma importância ficar atento a forma de verbalização e linguagem utilizadas nas ações em sala de aula (PAULO; MOREIRA, 2011).

Portanto, essa abordagem matemática pode se mostrar mais eficaz para ajudar os estudantes em manipulações algébricas de equações de primeiro grau, do que para entender de fato o princípio de Heisenberg.

Ao trazer esses conceitos para os estudantes do Ensino Médio, se mostra importante uma linguagem menos formal e mais condizente com a realidade deles. Ademais, é necessário reconhecermos nossas limitações quando tentamos transpor o “real-palpável” para o “real-imaginário”, porque podemos usar de analogias que podem confundir e estabelecer conceitos errôneos para os estudantes.

Por exemplo, quando na atividade II comparamos o movimento da bola de bilhar com a de um elétron, é importante ter cuidado ao falarmos de trajetórias, uma vez que na mecânica quântica, o movimento de partículas é descrito por meio de uma função de onda, e não de uma trajetória, como na mecânica clássica. Sendo essa função de onda, a função que dá a probabilidade de encontrarmos uma partícula numa determinada região do espaço (SCHRODINGER, 1980).

São conceitos que mesmo não abordados, surgem de maneira intrínseca e que podem confundir se forem mal colocados, e por isso é essencial nos atentarmos na linguagem e na maneira como transpomos esses conceitos para a construção desse conhecimento.

5.1.2 Possibilidades

O gato de Schrodinger

Outra abordagem que reforça a natureza estatística da mecânica quântica e o princípio da incerteza é o experimento mental do gato de Schrodinger. Esta experiência foi desenvolvida no ano de 1935 pelo físico Erwin Schrödinger e sua intenção era mostrar o comportamento das partículas subatômicas. A experiência consiste em colocar um gato dentro de uma caixa, onde um único átomo radioativo é ligado a um aparato medidor, que por sua vez está conectado a um martelo.

O martelo paira sobre um frasco de veneno, se o medidor detectar que o átomo radioativo decaiu, ou seja, perdendo um elétron, o martelo quebra o frasco, o veneno vaza e o gato morre. A probabilidade desse átomo perder ou não elétron é incalculável. Segundo o princípio da incerteza, a posição desse elétron é múltipla, ele está tanto perto do núcleo atômico ou quanto longe, ou ao mesmo tempo. Sua posição definitiva só é determinada se alguém passa a observá-lo. (SCHRODINGER, 1980)

A vida ou a morte do gato está diretamente ligada à posição do elétron e este está em mais de um lugar ao mesmo tempo. Dessa forma, o gato também está em um estado múltiplo, tanto vivo quanto morto. Visto que o gato não tem capacidade de observar o átomo e como a caixa está selada, ninguém pode ver nada ali dentro, se um observador abre a caixa e olha para dentro, ele imediatamente determina por observação em que posição o elétron está, o que também define a vida ou a morte do gato. (SCHRODINGER, 1980)

O paradoxo está na estranha situação do gato. Afirmar que a observação que determina vida ou morte do bicho, em vez de apenas registrar o estado dele, soa absurdo, porque se houvesse qualquer interferência que seja, como uma fonte de luz para observar o fenômeno, as duas realidades do mundo subatômico entrariam em choque e só seria possível ver uma delas.

Schrödinger quis mostrar com essa teoria o quanto isso seria absurdo quando afeta os objetos no mundo visível, como no caso, um gato dentro de uma caixa.

Claramente, o experimento mental do gato é um assunto delicado para se abordar no ensino médio. Isso se deve ao fato desse experimento ser complexo e trazendo, portanto, mais complicações para o entendimento do assunto. Porém, é um experimento que causa bastante

inquietação em quem tenta entender, podendo despertar a curiosidade e interesse dos estudantes acerca do tema.

Segunda Guerra Mundial

Outra possibilidade é tratar do contexto histórico da época, trazendo a história de Werner Heisenberg, de maneira a contextualizar o princípio da incerteza. Evidenciando a segunda guerra mundial e o papel dos cientistas nessa guerra, uma vez que foram eles os responsáveis pelas inovações tecnológicas aplicadas durante esse período. Com essa abordagem, é possível mostrar que a ciência vai estar atravessada por influências políticas, econômicas, sociais, morais e religiosas, e pode ser uma boa maneira de introduzir o tema do princípio da incerteza, de forma a incentivar a curiosidade dos alunos.

Até mesmo o relacionamento extremamente significativo de Niels Bohr com Neil Heisenberg mudaria para sempre quando os nazistas chegaram ao poder na Alemanha na década de 1930. Bohr era dinamarquês, mas nasceu de uma mãe judia. Heisenberg era alemão e determinado a permanecer em sua terra natal para ajudar a reconstruir o país após a guerra. Enquanto a guerra se aproximava e os horrores do Holocausto começaram, a vida de ambos os homens divergiu. Bohr, praticamente da realeza na Dinamarca, usou sua mansão como refúgio para judeus que fugiam da Alemanha. Heisenberg foi convocado para a máquina de guerra alemã e para um papel que o levaria a supervisionar diretamente o projeto de bomba atômica nazista. (VENTURA, 2020)

Incrivelmente, em 1941, no auge da guerra, Heisenberg foi a Copenhague para encontrar Bohr. Os eventos desta reunião estão envoltos em mistério, mas o que foi dito e, mais importante, o que foi interpretado como dito, estabeleceu uma cadeia de eventos que levariam à fuga de Bohr para a América, onde resultou seu trabalho no Projeto Manhattan, no bombardeio de Hiroshima e Nagasaki e o fim da guerra.

O documentário (BBC FOUR, 2005) conta sua incrível história, adicionando novas idéias através da descoberta, muito depois da morte de ambos, de cartas não enviadas por Bohr a Heisenberg, contando o que foi dito naquela noite em Copenhague.

Essa abordagem permite uma compreensão aprofundada dos diversos aspectos da produção científica da época, trazendo à tona uma preocupação ética, e também uma discussão a respeito de política. A ciência também é política. Ou seja, tanto o mito da neutralidade científica quanto o da imparcialidade do conhecimento científico devem ser vistos sempre com certa suspeita. O cientista sempre vai estar atravessado por influências políticas, econômicas, sociais, morais e

religiosas. O conhecimento se dá a partir de desejos particulares, de uma aspiração que emerge de relações sociais, políticas, familiares e religiosas nas quais estamos inseridos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o presente trabalho, tivemos como objetivo propor uma sequência de ensino para o Ensino Médio que aborda o Princípio da Incerteza de Heisenberg em articulação com a BNCC (BRASIL, 2018). Ao longo do estudo, vimos que planejá-la não é uma tarefa fácil, pois, os conceitos abordados são complexos e com alto grau de abstração.

Com o contato com a sala de aula durante o curso, observei que, em algumas situações, alguns estudantes possuem certa resistência às equações matemáticas, e encontram dificuldades em relacionar essas teorias com as situações vividas em seu cotidiano. Essas situações acabam por desmotivar os estudantes perante a disciplina, o que justifica a importância de incluir os conceitos básicos da Física Moderna, como a proposta apresentada no decorrer do estudo, e, em especial, que fazem uma ponte entre situações do cotidiano e a sala de aula. Além do conteúdo, é fundamental que os estudantes estejam ativos no processo de ensino e aprendizagem.

Em nossa proposta, buscamos criar atividades em que os estudantes se envolvem em situações-problemas observadas no dia a dia e problematizar e compreender o Princípio da Incerteza. Com essas atividades, pretende-se promover um ambiente de interações entre os envolvidos (estudantes, professor e materiais educacionais). Na sequência de ensino, abordamos o princípio da incerteza, abrangendo conteúdos de cinemática e ondulatória.

O professor pode aproveitar a sequência didática proposta para apresentar os conteúdos que seriam provavelmente ministrados de forma tradicional, motivando e facilitando a compreensão dos alunos com um estudo diferenciado e mais moderno. Dessa forma, o professor não precisa alterar ou modificar seu plano de curso para apresentar conteúdos de Física Moderna, já que são temas que contemplam vários conteúdos essenciais no Currículo de Física no Ensino Médio.

Ao longo de todo processo de ensino e aprendizagem, e com a sequência de ensino não é diferente, o professor tem papel fundamental. Nas ações em sala de aula, suas intervenções devem ser coesas e bem fundamentadas, buscando garantir os melhores recursos didáticos mantendo os estudantes engajados nas soluções das situações problemas.

Ao ensinar ciência é fundamental considerar as diferentes formas de pensar dos estudantes, os envolvendo na cultura científica, estimulando-os a construir ter um pensamento crítico, desmistificando crenças e valores acerca da natureza da ciências, trazendo-a como um objeto de estudo que esta constante construção.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, K. B.; SANTOS, P. J. S. dos; FERREIRA, G. K. Os três momentos pedagógicos como metodologia para o ensino de óptica no ensino médio: o que é necessário para enxergarmos? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 2, p. 461–482, 2015.
- ARAÚJO, M. C.; HOSOUME, Y. A física moderna e contemporânea no ensino médio: algumas tendências da última década. **XX Simpósio Nacional de Ensino de Física**, 2013.
- ASIMOV, I. **Asimov Explica**. Tradução Edna Feldman. 3. ed. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1986.
- BBC FOUR. **Copenhagen Fall Out – Niels Bohr e Werner Heisenberg**. 2005.
- BRASIL. **PCN+ Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio. Ciências da natureza, Matemática e suas tecnologias**. Brasília, DF: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2002.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular: Educação é base**. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_-versaofinal_site.pdf>. Acesso em: 20/10/2020.
- COPENHAGEN, M. **Copenhagen**. [S.l.]: Bloomsbury Publishing, 1997.
- DAVIDOVICH, L. **Professor Luís Davidovich explica o Princípio da incerteza de Heisenberg**. 2010. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Z7wyTd1pLc0>>. Acesso em: 20/10/2020.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Física**. São Paulo: Cortez, 1990.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Física 2**. São Paulo: Cortez, 1992.
- DÖRRIES, M. **Michael Frayn's Copenhagen in debate: historical essays and documents on the 1941 meeting between Niels Bohr and Werner Heisenberg**. [S.l.]: University of California Office for, 2005. v. 20.
- EISBERG, R. M. et al. **Física cuántica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas**. [S.l.]: Limusa México, 1988.
- GRIMES, A. P.; LAWALL, I.; NETO, J. T. d. J. As concepções dos professores sobre a inserção de física moderna e contemporânea no ensino médio. **Atas do XIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, 2011.
- HEWITT, P. **Física Conceitual**. São Paulo: Bookman Editora, 2015.
- JARDIM, W. T.; GUERRA, A.; CHRISPINO, Á. Revisão de bibliografia: Física moderna e sua relevância no ensino médio. **XIX Simpósio Nacional de Ensino de Física**, p. 1–1, 2011.
- JUNIOR, C. R. S. et al. Indeterminação e incerteza: a reconceptualização de conceitos de mecânica quântica a partir de uma atividade mediadora. **XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2017.
- LUZ, W. M. da; HIGA, I. As pesquisas em ensino de física moderna e o papel do professor na construção de conhecimentos. **IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências**, 2013.

- MACHADO, D. I.; NARDI, R. Construção de conceitos de física moderna e sobre a natureza da ciência com o suporte da hipermídia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, SciELO Brasil, v. 28, n. 4, p. 473–485, 2006.
- MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; FILHO, J. B. B. A sistemática incompreensão da teoria quântica e as dificuldades dos professores na introdução da física moderna e contemporânea no ensino médio. **Ciência & Educação (Bauru)**, SciELO Brasil, v. 15, n. 3, p. 557–580, 2009.
- MOREIRA, M. A. A física dos quarks e a epistemologia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, SciELO Brasil, v. 29, n. 2, p. 161–173, 2007.
- MUENCHEN, C.; DELIZOICOV, D. Os três momentos pedagógicos e o contexto de produção do livro "física". **Ciência & Educação (Bauru)**, SciELO Brasil, v. 20, n. 3, p. 617–638, 2014.
- ORZEL, C. **What is the Heisenberg Uncertainty Principle?** 2014. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=TQKELOE9eY4>>. Acesso em: 20/04/2021.
- OSTERMANN, F. **Tópicos de Física Contemporânea em escolas de nível médio e na formação de professores de Física**. Tese (Doutorado) — Tese de Doutorado. Instituto de Física–UFRGS, 2000.
- OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. **Investigações em ensino de ciências**, v. 5, n. 1, p. 23–48, 2000.
- PAULO, I. J. C. d.; MOREIRA, M. A. O problema da linguagem e o ensino da mecânica quântica no nível médio. **Ciência Educação, Bauru v. 17**, 2011.
- PEREIRA, A. P. d.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em ensino de ciências. Porto Alegre**, v. 14, n. 3, p. 393–420, 2009.
- PHARABOD, S. O. J. **Introdução à Física Quântica**. [S.l.]: Dom Quixote, 1986.
- PINTO, A. C.; ZANETIC, J. É possível levar a física quântica para o ensino médio? **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 16, n. 1, p. 7–34, 1999.
- RODRIGUES, W. V.; GUERRA, A.; CRISTINA, S. Uma proposta de uso de imagens como uma ferramenta alternativa para o ensino de física quântica. **X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Águas de Lindóia, SP**, 2015.
- SALES, N. L. L. **Problematizando o ensino de física moderna e contemporânea na formação continuada de professores: uma análise das contribuições dos três momentos pedagógicos na construção da autonomia docente**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2014.
- SALES, N. L. L. **Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica**. 2020. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=9j4CgIVAbEQ>>. Acesso em: 20/01/2021.
- SANTOS, E. S. d. **Apropriação do princípio da incerteza por estudantes de Química no contexto do ensino do modelo atômico quântico**. Dissertação (Mestrado), 2018.
- SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. d. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 59–77, 2011.

SCHRODINGER, E. I. 11 the present situation in quantum mechanics: A translation of schrodinger's "cat paradox" paper. 1980.

SHINOMIYA, G. K.; RICARDO, E. C. Inclusão de tópicos de física moderna no ensino médio e a formação inicial dos professores. **Atas do XIII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, 2011.

SILVA, A. C. d.; ALMEIDA, M. J. P. M. d. Física quântica no ensino médio: o que dizem as pesquisas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), v. 28, n. 3, p. 624–652, 2011.

TEIXEIRA, O. P. B. A ciência, a natureza da ciência e o ensino de ciências. **Ciência & Educação (Bauru)**, SciELO Brasil, v. 25, n. 4, p. 851–854, 2019.

VALENTE, L. **A Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: Caminhos para a sala de aula**. 1–289 p. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, 2009.

VENTURA, D. **O mistério sobre Werner Heisenberg, o físico que ganhou o Nobel pela descoberta da mecânica quântica**. 2020. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/geral-52521356>>. Acesso em: 21/06/2020.