

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

Diego Utpadel

JOGO DE TABULEIRO DE FÍSICA QUÂNTICA COMO FERRAMENTA DE ENSINO

JARAGUÁ DO SUL
NOVEMBRO/2022

DIEGO UTPADEL

JOGO DE TABULEIRO DE FÍSICA QUÂNTICA COMO FERRAMENTA DE ENSINO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Licenciatura em Física do Campus Centro do Instituto Federal de Santa Catarina para a obtenção do diploma de Licenciado em Física.

Orientador: Luiz Henrique Martins Arthury

JARAGUÁ DO SUL
NOVEMBRO/2022

DIEGO UTPADEL

JOGO DE TABULEIRO DE FÍSICA QUÂNTICA COMO FERRAMENTA DE ENSINO

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Licenciando em Física, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Jaraguá do Sul, 23 de novembro de 2022.

Prof. Luiz Henrique Martins Arthury, Dr
Orientador
Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Catia Regina Barp Machado, Me.
Instituto Federal de Santa Catarina

Prof. Júlio Eduardo Bortolini, Me.
Instituto Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Gostaria de aproveitar esse espaço para agradecer minha família, que me auxiliou em tudo que precisei para concluir minhas metas. Agradecer a minha parceira, Letícia Barbosa, que sempre esteve ao meu lado, me auxiliando para que eu pudesse alcançar meus objetivos. Aproveito para agradecer a todos os professores que me auxiliaram no meu caminho formativo, principalmente meu orientador pelo auxílio na escrita dessa pesquisa. Agradeço aos meus colegas de curso que me auxiliaram na jornada formativa e durante o processo de desenvolvimento desse projeto. Também gostaria de agradecer a todos os estudantes que aceitaram participar de um processo de ensino-aprendizagem com a realização deste trabalho.

RESUMO

A motivação para essa pesquisa se deu na busca de uma forma diferente de se trabalhar o ensino de física do que é usualmente feito em sala de aula. Portanto, foi realizada uma busca sobre diferentes metodologias para o ensino de física, como também ferramentas de ensino diferentes do padrão. A seguinte pesquisa buscou encontrar embasamento sobre ferramentas de ensino, por meio da literatura sobre o ensino de física moderna e contemporânea, na qual pode-se encontrar a importância de simulações computacionais e experimentos-práticos, também o uso de jogos para o ensino de física. Dessa forma, foi possível se obter a fundamentação necessária para a construção de uma sequência didática, conjunta de um jogo didático, chamado de Caminhos do Quantum, como ferramenta de ensino para o conteúdo de Mecânica Quântica. A sequência didática e o jogo foram aplicados em duas turmas do ensino médio, de duas turmas de primeiros anos, em duas escolas estaduais da região de Jaraguá do Sul. Todos os resultados sobre a aplicação da sequência didática, como a do jogo e o retorno dos estudantes se encontram descritos neste trabalho.

Palavras-Chave: Ensino de Física Moderna. Ensino de Mecânica Quântica. Jogos para o ensino de física.

ABSTRACT

The motivation for this research happens in the search for a different way of working the teaching of physics, which is usually done in the classroom. In this paper was realized a search of different methodology in the context of the learning of physics, as tools in the teaching of physics, other than the mainstream. The following research sought in the literature about the teaching of modern physics, in which it can be found the importance of computer simulations and practical-experiments, beyond others tools of teaching, as the use of games to learn physics. That way, it was possible to obtain the foundation necessary to create a didactic sequence and a didactic game, called as Caminhos do Quantum, to be a tool for teaching subjects as the Quantum Mechanics. The didactic sequence and the game were applied in two first years of high school classes, which occurred in two different estate schools in satellite cities in the region of Jaraguá do Sul. All the results of the application of the didactic sequence, as well as the game and the return of the students can be found described in this paper.

Keywords: Teaching of Modern Physics. Teaching of Quantum Mechanics. Games for the teaching of physics.

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice 1 – Sequência Didática	57
Apêndice 2 – Regras e Perguntas do Caminhos do Quantum	64
Apêndice 3 – Materiais de Apoio	69
Apêndice 4 – Questionário	70

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - História em Quadrinhos sobre Física Quântica.

Figura 2 - Primeiro tabuleiro do jogo Caminhos do Quantum.

Figura 3 - Versão final do tabuleiro.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Respostas à pergunta 1	44
Quadro 2 – Respostas à pergunta 2	46
Quadro 3 – Respostas à pergunta 3	47
Quadro 4 – Respostas à pergunta 4	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PSSC – Physical Science Study Committee

FAI – Física Auto Instrutiva

PEF – Projeto de Ensino de Física

GREF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física

NEM – Novo Ensino Médio

FMC – Física Moderna e Contemporânea

TDIC – Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação

BNCC – Base Nacional Comum Curricular

MQ – Mecânica Quântica

HQ – História em Quadrinho

EEB – Escola de Educação Básica

UC – Unidade Curricular

JT1 – Jogador Teste 1

JT2 – Jogador Teste 2

JT3 – Jogador Teste 3

JT4 – Jogador Teste 4

IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 PROPOSTA	17
2.1 Justificativa	17
2.2 Objetivos	18
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
3.1 O Ensino de Física	20
3.2 Uma Breve História da Mecânica Quântica	22
3.3 O Ensino de Física Moderna	25
3.3 Ensino Por Meio de Jogos	28
4 METODOLOGIA	33
4.1 Desenvolvimento da Proposta	34
4.2 Métodos	35
5 DESENVOLVIMENTO	38
5.1 Aplicação da Sequência Didática	38
5.2 Relatos Sobre o Teste do Jogo	40
5.3 Aplicação do Jogo	42
6 Considerações Finais	51
REFERÊNCIAS	53
APÊNDICES	56

1 INTRODUÇÃO

O ensino de Ciências da Natureza, especialmente o de física, é um desafio para muitos, já que são diversos aspectos e características que devem ser levadas em conta. Não existe apenas a necessidade de o professor buscar os conceitos e conteúdos que possam importar em sua visão para um processo de ensino-aprendizagem crítico e amplo. Mas além disso um ensino sobre o que é ciência, abordando suas rupturas, os caminhos que se seguiram para sua construção, assim como os fatos históricos, devem ser utilizados para tentar desconstruir muitos estigmas criados pela nossa sociedade. É importante que tais aspectos da ciência sejam abordados durante todo percurso formativo do jovem, pois “será essa a formação que muitos, que não terão profissões ligadas ao meio científico, levarão para a vida toda” (PIGLIARINI e ALMEIDA, 2016, p. 301).

Há ainda outras dificuldades como a forma que são abordadas muitas fórmulas e poucos conceitos, o que gera desinteresse por muitos temas que são poucos contextualizados pelo professor. Como apontado por Paulo e Moreira (2004) uma abordagem mais conceitual, em contraproposta a uma abordagem mais matemática do ensino de física moderna e contemporânea, apresenta bons resultados. Dessa forma temos um grande desafio para todos os professores e professoras de física, que necessitam alterar essa situação, trazendo significado para a sala de aula e para seu conteúdo.

Um tipo de prática normalmente presente nas escolas é o que Paulo Freire (1974) chama de “Educação Bancária”, que também comumente é aplicada no ensino de ciências, em específico na matemática, física e química. Ausubel (1978) possui uma definição similar, constatando que a aprendizagem pode ser mecânica, processo em que o aluno apenas memoriza os saberes, com pouco ou nenhum significado ao estudante, que acaba por facilmente esquecer tudo o que supostamente aprendeu (e então não aprendeu).

Em sua obra “Educação como Prática da Liberdade”, Paulo Freire (1967) ressalta a importância que a escolarização tem na formação da nossa nação democrática, ainda toca no ponto de estarmos em um período de transitividade

ingênua para uma transitividade crítica, em nosso breve tempo como democracia. Sabemos que o país passou, e passa, por momentos complicados em sua história, principalmente quando o objeto de estudo é a educação.

O investimento no sistema nacional de ensino e suas escolas é muito recente, principalmente quando falamos do ensino de física, que podemos situar às tentativas de implementação de programas estrangeiros como o *Physical Science Study Committee* (PSSC), programas nacionais como os *Física Auto Instrutiva* (FAI), *Projeto de Ensino de Física* (PEF) e *Grupo de Reelaboração do Ensino de Física* (GREF), aplicados a partir da década de 1960. O investimento e pesquisa no ensino de física cresce desde então, devemos continuar dessa forma, buscando formas de atualizar as possibilidades para um ensino que nos auxilie nesse período de transitividade, como comentado por Freire (1967).

No ensino de física, pretende-se que os alunos compreendam os conceitos, por mais abstratos que sejam. Por isso, precisamos pensar, buscar formas de ensino que realizem esse processo de forma gradual e que busquem certo significado. A *teoria da aprendizagem significativa* traz uma forma de trabalharmos os conteúdos a partir de conhecimentos prévios, os quais Ausubel (1978) denomina de *subsunçores*, que permitem conexões cognitivas entre o novo conhecimento e o que o aluno já traz para sala de aula.

[...] por exemplo, se os conceitos de força e campo já existem na estrutura cognitiva do aluno, eles poderão servir de subsunçores para novas informações referentes a certos tipos de força e campo, por exemplo, a força e o campo eletromagnéticos (MOREIRA, 1979, p. 276).

A configuração do novo ensino médio (NEM), de acordo com a Base Nacional Comum Curricular vigente, separa os conteúdos por áreas do conhecimento, fazendo com que a carga horária passe a ter 3.000 horas, sendo que 1.800 horas são voltadas para o estudo das áreas e suas habilidades. Quando o assunto é sobre as habilidades e competências previstas de Ciências da Natureza e Suas Tecnologias, fala-se de algo ainda muito geral e pouco explorado, já que o documento traz apenas os preceitos e assuntos a serem abordados, permitindo que os sistemas de ensino, redes e escolas escolham com o que irão trabalhar. Isso dá a oportunidade de pensarmos formas de aprofundarmos um conhecimento, focando numa aprendizagem mais significativa para o estudante.

Além de toda reforma que será realizada em nosso país com o projeto do NEM, temos diversas situações sobre o ensino de física que provém de muito tempo, desde a década de 90 tem recebido uma atenção maior por parte da academia e por alguns professores, que seria o ensino de física moderna e contemporânea (FMC) no ensino médio, Paulo e Moreira (2004). Atualmente a FMC normalmente é pouco abordada pelos professores em sala de aula, seja pela falta de tempo para trabalhar todo o conteúdo programado, considerado mais clássico, ou ainda pela falta de formação adequada de professores para tratar sobre o assunto.

Não basta introduzir novos assuntos que proporcionem análise e estudos de problemas mais atuais se não houver uma preparação adequada dos alunos das licenciaturas para esta mudança e se o profissional em exercício não tiver a oportunidade de se atualizar (OLIVEIRA, 2007, p. 448).

O professor de física atualmente tem a sua disponibilidade diversas ferramentas de ensino, provenientes de artigos e sites que trazem ideias e possibilidades de experimentos práticos a serem realizados em sala de aula, ou em algum espaço não formal. O uso das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação, com simulações computacionais ou aplicativos, podem auxiliar com a análise de fenômenos e outros experimentos.

As ferramentas e metodologias de ensino auxiliam a prática docente, assim como impacta diretamente na qualidade da aula de física, sendo que são elas que possibilitam um diálogo maior com o estudante, instigando a curiosidade dos jovens e os colocando em um papel ativo no processo de ensino-aprendizagem.

Quando o assunto abordado são as ferramentas de ensino para a FMC o professor pode se encontrar numa situação complicada, já que alguns experimentos podem até parecer complexos, a depender de seu conhecimento e prática, apenas depender de simulações computacionais pode acabar distanciando o aluno do fato de que a física está ao nosso redor.

As ferramentas de ensino não se restringem a experimentos e simulações computacionais, existem diversas formas de se trabalhar o conteúdo, seja com o uso da história da física, ou também com a leitura de textos, ferramentas que podem ser utilizadas no uso de metodologias ativas, como a de Instrução pelos Colegas e Ensino sob Medida (ARAUJO e MAZUR, 2013).

Uma possível ferramenta de ensino são os jogos, que podem ser utilizados em casos como o ensino de FMC. Constatamos que os jogos possuem grande

importância em nosso desenvolvimento, portanto, seria proveitoso os considerarmos como ferramentas importantes de ensino.

Os jogos apresentam pontos positivos para o desenvolvimento na educação e o maior desafio ao utilizá-lo como ferramenta que auxilia o processo de ensino-aprendizagem é reter a atenção e o interesse dos alunos, tornando a aprendizagem divertida e fazer com que o aprendizado seja efetivo e transpasse o ambiente da sala de aula (MACHADO, 2018, p. 24).

O presente projeto tem como objetivo formular uma sequência e um material didático que auxiliem aos professores de física, de forma a buscarmos um processo de ensino-aprendizagem interessante, que possa formar um cidadão crítico e consciente dentro da sociedade em que está inserido.

2 PROPOSTA

Essa pesquisa teve como proposta a elaboração de uma sequência didática e de um jogo para o ensino de física moderna e contemporânea, a qual se baseia no formato de perguntas e respostas, para promover uma aprendizagem significativa, Ausubel (1978).

2.1 Justificativa

Um dos desafios para o professor de física é de concluir a ementa para o ensino médio dentro do tempo estipulado. Levamos em consideração que muitos pensam ser impossível tratar o assunto da física contemporânea com tempo hábil. Porém não podemos continuar prolongando um problema, mas precisamos encontrar soluções, continuar com um currículo desatualizado só irá prejudicar a formação dos jovens, “estamos no século XXI, porém a física ensinada não passa do século XIX” (MOREIRA, 2017, p. 2).

Moreira traz a discussão sobre dar um significado ao processo de ensino-aprendizagem, o que é um dos desafios do professor de física. O uso de ferramentas de ensino auxiliam o trabalho do professor, ao tentar aprofundar o conhecimento sobre o conteúdo.

Porém, existem diversas formas e ferramentas que o professor pode utilizar para abordar os conceitos de física, sejam tecnologias digitais da informação e comunicação (TDIC's) ou experimentos em sala de aula, ou fora dela, por exemplo. O profissional deve se preocupar em se utilizar certas ferramentas para casos específicos, ou ainda para turmas diferentes.

A discussão se restringe um pouco se falamos do ensino de física contemporânea, já que experimentos a serem realizados se tornam um pouco mais complicados, devido ao custo de alguns e da complexidade do experimento. Dependendo apenas de simulações virtuais pode vir a ter uma influência negativa ao serem trabalhados conteúdos mais abstratos.

Por se tratar do ensino de uma área da física que pode ser pouco visual para os alunos, apresentar a matéria apenas por meio de fórmulas pode distanciar o aluno do objetivo. “No ensino da Física é mais importante dar atenção aos conceitos

físicos do que as fórmulas. As fórmulas contêm conceitos. Não tem sentido decorar fórmulas sem entender os conceitos que as constituem.” (MOREIRA, 2021, p. 1).

Outra alternativa a se pensar sobre o ensino de física, além das experiências práticas e simulações computacionais, é o uso de jogos para o ensino. “[...] os jogos proporcionam o diálogo no qual o andamento das aprendizagens dos alunos surge a partir de problematizações e construções do conhecimento” (TEIXEIRA; FRANZEN; ENGLER, 2015, p. 11359).

Os jogos são ferramentas didáticas com um grau amplo de aplicações, podendo ser utilizados como ferramentas para introduzir os estudantes nos termos e conteúdo a serem vistos posteriormente, como também podem ser interessantes para auxiliar com a conclusão de assuntos. Por saírem da rotina dos alunos, os jogos podem auxiliar com a disposição de participar ativamente de um processo de ensino-aprendizagem.

Percebe-se que são diversos aspectos a serem levados em conta no ensino de física, a situação pode ser ainda mais complicada quando falamos do ensino da física contemporânea. Dessa forma a seguinte pesquisa teve o intuito de apresentar um módulo de ensino com as etapas e assuntos a serem abordados para o ensino de física quântica, com um foco nos significados das teorias para os alunos, introduzindo um material didático, com intuito de que o mesmo seja potencialmente significativo para o processo ensino-aprendizagem.

2.2 Objetivos

A principal questão que guiou a construção e objetivo da pesquisa realizada é compreender se o material didático proposto possui impacto potencialmente significativo em uma turma de ensino médio, por meio de um jogo de tabuleiro de perguntas e respostas para o ensino de física moderna.

O objetivo geral era criar uma sequência didática e um jogo para o ensino de física quântica no ensino médio, de forma que o processo de ensino-aprendizagem entre professor e estudante possa ser potencialmente significativo.

Alguns pontos específicos foram elencados para que fosse possível atingir o objetivo geral:

- Elaborar um jogo como material didático junto de uma sequência didática, por meio de trabalhos já realizados sobre o ensino de física moderna;
- Implementar o jogo em turmas que tenham sido introduzidas aos temas da Mecânica Quântica;
- Elencar as sugestões e questões levantadas pelos estudantes, a fim de melhoria e correção do material didático.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 O Ensino de Física

Que o ensino de física enfrenta diversos problemas, alguns atuais, outros nem tanto, já está bem constatado. O que pode se resumir na leitura sobre o assunto é que “o atual processo de ensino-aprendizagem tem colaborado para uma aprendizagem mecânica, em que os alunos são acostumados a memorizar conceitos, ofuscando, desse modo, o pensar” (AGRA et al., 2019, p. 259).

Sobre o assunto podem ser abordados diversos ângulos, como a discussão sobre ferramentas no ensino, metodologias a serem aplicadas e a tentativa de mensurar o sucesso delas quando implementamos em sala de aula. E saber se o material selecionado para o conteúdo escolhido atingirá os objetivos desejados é algo complicado de se aferir.

A teoria de aprendizagem significativa de Ausubel (1978) bem nos traz que um material pode ser potencialmente significativo, pois não depende apenas dele para que ocorra uma aprendizagem significativa.

A teoria de Ausubel trabalha principalmente com a noção de conhecimentos prévios, que são caracterizados pelo termo subsunçor, por meio de materiais e atividades potencialmente significativas, a partir dos quais pode ocorrer uma transformação desse conhecimento prévio, tornando-o mais adequado:

É importante reiterar que a aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre conhecimentos prévios e conhecimentos novos, e que essa interação é não-literal e não-arbitrária. Nesse processo, os novos conhecimentos adquirem significado para o sujeito e os conhecimentos prévios adquirem novos significados ou maior estabilidade cognitiva (MOREIRA, 2012, p. 2).

Além do professor ficar responsável pela preparação das atividades que potencialmente podem complementar o conhecimento do aluno, ele também deve se preocupar em buscar a curiosidade do estudante, pois um dos pilares da teoria é o fato de que o jovem esteja disposto a compreender o conteúdo.

Outro desafio do professor ao trabalhar com temas como a Mecânica Quântica (MQ), é o de identificar quais as formas de se trabalhar o conteúdo, para que ao se encontrar em uma zona de desenvolvimento proximal, consiga alcançar a zona de desenvolvimento real, Vygotsky (2007). Além de se preocupar em incentivar

o aluno, o professor precisa complementar o processo de ensino-aprendizagem com os conhecimentos prévios de cada indivíduo.

Devemos também constatar que em conjunto com o problema de aferir se a aprendizagem está sendo potencialmente significativa, será que ela está envolvendo e atuando diretamente no conhecimento a ser compreendido? Ou podem ser concebidos outros conceitos diferentes do desejado, mas ainda de forma significativa? De modo geral, “a aprendizagem significativa é progressiva, grande parte do processo ocorre na zona cinza, na região do mais ou menos, onde o erro é normal.” (MOREIRA, 2012, p. 24).

Muitas coisas são decoradas de forma mecânica na escola, uma parte do processo de ensino-aprendizagem desenvolvido se encontra nessa zona cinza, onde a maioria do conhecimento potencialmente significativo se situa. O objetivo deve ser o mais significativo possível, porém não é possível determinar de forma totalmente precisa se assim o foi.

Portanto, qualquer conceito que foi compreendido pode um dia enfraquecer por falta de uso, ou ainda tomar outro formato em uma experiência significativa ligada com seu subsunçor específico.

A teoria de aprendizagem significativa possui um grande campo de pesquisa no ensino de física e ciências, com nomes importantes como Moreira, que se utilizam da teoria de Ausubel para um processo de ensino-aprendizagem que signifique algo para o aluno, o envolvendo com o que for programado pela escola e pelos professores, deixando de ser apenas um mero espectador.

Um profissional bem qualificado que compreende bem como se utilizar das ferramentas de ensino que a teoria nos traz, terá menos problemas em encontrar formas de abordar os conteúdos. Ele deve também considerar a turma em que se encontra, se questionar quais seriam as melhores ferramentas para que a experiências desses indivíduos pudessem alcançar um significado, quais materiais seriam potencialmente significativos para aqueles jovens considerando o conhecimento prévio que desenvolveram ao longo de suas vidas.

Outro fator que ressalta a importância do ensino de ciências é o rápido crescimento de notícias falsas e a proliferação das pseudociências. Como o próprio desenvolvimento da mecânica quântica pode levar a resultados extremamente positivos, o seu uso para meios menos nobres causou estragos irreparáveis: “o avanço das tecnologias de comunicação não promoveu apenas benesses às

sociedades, atualmente estamos passando por diversos problemas que são resultados diretos do mal uso das redes sociais” (MIGUEL et al., 2022, p.192). Fica a encargo do professor de física saber trabalhar a temática com intuito de formar cidadãos críticos e conscientes.

E se o tópico é ciência, é necessário compreender os fatos que constroem a história do conhecimento desenvolvido. O assunto que foi abordado neste trabalho é um conhecimento recente e temos diversos trabalhos sobre os desdobramentos históricos e conceituais, o que nos possibilita tocar em outro assunto importante para o ensino de física e ciência, que é a forma como é tratado o fazer ciência em sala de aula.

Tendo conhecimento de como se desenvolveu a teoria da Mecânica Quântica, pode-se introduzir o aluno ao fato que muitos desconhecem, nem todo cientista vive de experiências em laboratório.

3.2 Uma Breve História da Mecânica Quântica

O eletromagnetismo é uma teoria muito bem fundamentada, porém ao final do século XIX perceberam-se certas incompatibilidades entre a teoria de Maxwell e a mecânica clássica. Em 1888, Heinrich Hertz detectou experimentalmente as ondas de rádio, a teoria dizia que a radiação de calor, comportamento da luz visível e as ondas de rádios seriam resultados de um mesmo tipo de fenômeno, o das ondas eletromagnéticas.

Em 1897, Thomson definiu o *paradoxo da quantidade*, postulado a partir da fotoionização de certos elementos, percebendo que o raio x ionizava apenas uma parcela muito pequena das moléculas do gás utilizado, o que conflitava com a ideia de comportamento ondulatório do raio x. Em 1904 ele expandiu sua teoria para todo espectro da radiação eletromagnética, constatando uma natureza corpuscular.

Porém o momento que define o início da física quântica seria o postulado sobre corpos negros de Planck em 1900, constatando assim que corpos emitem e absorvem luz não de forma contínua, mas sim discreta. No caso a teoria não seria a mesma para quantidades de energia que estamos acostumados em casos macroscópicos, dos quais a energia resultante na realização de certos processos é contínua. Já no caso dos resultados obtidos por Planck via-se uma descontinuidade, obtendo-se valores múltiplos de um certo valor, sendo dessa forma discreta.

O assunto era também de importância para a indústria da época, em muitas fábricas de fundição era necessário conhecer a temperatura de certos materiais, a forma de fazê-lo era analisando o comportamento do material ao ser aquecido, estudando sua coloração com o aumento da temperatura, como consequência, a radiação emitida pelo material.

Porém, seu resultado foi obtido por meio de interpolações, uma ferramenta matemática que auxiliou Max Planck a alcançar a fórmula desejada, mas que fora obtido por meio de pouco embasamento teórico da física.

Não existiam os meios de comunicação como conhecemos hoje, juntamente com uma certa fragilidade da hipótese, resultou em uma baixa comoção sobre os resultados, “como o resultado de Planck era tortuoso e indireto, de início ninguém se convenceu de que o postulado quântico era realmente importante” (PESSOA, 2006, p. 91).

Após os trabalhos de Planck, Einstein traria sua teoria publicada em 1905, junto com outros artigos, como o “efeito fotoelétrico”. Este concluía que a luz ao incidir em um metal faz ejetar elétrons com energia associada aos quanta de radiação, postulando que a própria luz era discreta, diferente de Planck que defendia que o quantum ocorria apenas na interação entre a radiação eletromagnética e os objetos.

Outro físico que também contribuiu para a teoria da mecânica quântica, um dos primeiros a ressaltar o comportamento dual da radiação foi William H. Bragg, em 1907. Em 1910, Ernst Rutherford e Hans Geiger, concluíram com seus experimentos de que o átomo possuía um núcleo duro, divergente do que se acreditava na época.

Niels Bohr, se utilizando das teorias de Planck e Einstein, em 1913 conseguiu explicar as cores das linhas espectrais que eram emitidas pelo átomo de hidrogênio. Dessa forma o modelo proposto trazia certos níveis de energia em que os elétrons poderiam estar em volta do núcleo, agindo de forma discreta. E quando um elétron passava de uma camada mais energizada para uma inferior ocorria a emissão de um quantum de luz.

Até então houve um pouco de embate sobre a teoria proposta por Einstein em 1905, porém Millikan, em 1916, comprovou o efeito fotoelétrico explicado anteriormente. Maurice de Broglie chegou em seu resultado, em 1921, que sugeria que o raio x é constituído de partículas. Posteriormente, seu irmão Louis, em 1923 estendeu o conceito de dualidade onda-partícula para toda a matéria.

Neste mesmo ano, a teoria da mecânica quântica passaria a ser tratada de uma nova forma por alguns nomes que se debruçaram sobre o assunto, eles passaram a tratar da forma matemática, ao invés de procurar modelos visuais para o átomo. Nomes como Max Born, Niels Bohr, Werner Heisenberg e Wolfgang Pauli estavam à frente do movimento.

Em 1925, os estudos de Born e Heisenberg resultaram na teoria da mecânica matricial, no final do mesmo ano Paul Dirac, se utilizando da teoria de Heisenberg, propôs uma interpretação algébrica para a física quântica, abrindo assim duas abordagens diferentes sobre o mesmo assunto.

“Erwin Schrödinger, trabalhando em Zurique (na Suíça), publicou, em janeiro de 1926, uma nova versão da teoria, a Mecânica Ondulatória, com a qual era muito mais fácil fazer cálculos” (PESSOA Jr, 2006, p. 94). Ele generalizou, por meio da teoria de Louis de Broglie, descrevendo os estados de um átomo de hidrogênio em função de uma grandeza Ψ , chamada de função de onda. O problema da teoria era de que não se poderia constatar com certeza a posição dos elétrons e de que a função para duas ou mais partículas não podia ser representada em um espaço de apenas 3 dimensões.

Foi Max Born, em junho de 1926, que trouxe uma solução probabilística para a situação, na qual ele proporia uma forma de determinar de forma probabilística a região em que se encontra o elétron.

A mecânica quântica tomava sua forma ao final da década de 1920, com Heisenberg e seu princípio da incerteza, definindo que não seria possível obter-se todas as informações de uma partícula analisando duas grandezas, como por exemplo posição e velocidade. Dirac e Jordan, com a “teoria da transformação”, generalizaram a teoria quântica, em 1929, foi apresentada por John von Neumann.

Ao final da década de 1920 a teoria da mecânica quântica se encontrava bem estruturada, porém a pergunta que ainda circulava era qual vertente a se seguir, a interpretação ondulatória de Schrödinger, ou a interpretação de partícula acompanhada de uma onda de Louis de Broglie.

Heisenberg, que estava trabalhando com Niels Bohr na época, estudou sobre os impactos físicos e filosóficos das questões. Por meio de experimentos como a câmera de nuvens de Wilson, ele chegou à conclusão de que não poderíamos medir as duas características, ondulatória e corpuscular, ao mesmo tempo. Durante o

mesmo período Bohr chegou à interpretação da complementaridade¹. Entretanto, só realizou a apresentação de sua tese em setembro de 1927, no 5º Congresso de Solvay.

Utilizando-se de postulados de Planck, como o da “descontinuidade essencial”, determinou que nossa matemática nos levava à uma parede, a qual não possuíamos ferramentas para ultrapassar ou analisar de outra forma, pelo menos até aquele momento. Nesse mesmo encontro em Solvay, Bohr e Einstein tiveram discussões sobre suas teorias e conflitos. Ao se encontrarem novamente para o mesmo congresso em 1930, Einstein trouxe novos argumentos, os quais Bohr confrontou com a própria Teoria da Relatividade Geral de Einstein.

John von Neumann, em 1932, trouxe novas ferramentas com seu livro Fundamentos Matemáticos da Mecânica Quântica, propondo postulados para a Teoria Quântica. Sua teoria foi criticada por muitos, entretanto, tiveram comprovação na década de 1960.

A discussão entre Einstein e Bohr continuou no decorrer dos anos. Einstein se juntou com Podolski e Rosen, propondo um experimento que criava um conflito com a Teoria Quântica, resultando no Paradoxo EPR.

O proposto do Paradoxo EPR é de que o experimento mostrava o que eles chamaram de “anticorrelação perfeita”, que seria o fato de, por exemplo, ao medir o momento angular de um elétron (seu spin), que fora lançado ao mesmo tempo e direção oposta de outro elétron, independente da distância entre os medidores, os elétrons apontariam sempre spins contrários, dessa forma essa hipótese de localidade conduzia ao fato de as partículas terem grandezas bem definidas, contrariando diretamente o que predizia a quântica.

A história do desenvolvimento da mecânica quântica é repleta de desafios e grandes nomes enfrentando os problemas que a teoria nos impõe, muitos problemas que até hoje se encontram em aberto².

3.3 O Ensino de Física Moderna

¹ A teoria traz que os corpos quânticos possuem as características de onda-partícula, elas se complementam, porém não é possível obter informação sobre as duas ao mesmo tempo.

² Neste ano (2022) houve a premiação do Nobel de física pelos experimentos realizados com fótons emaranhados, estabelecendo a violação das desigualdades de Bell, pelas informações pioneiras sobre a quântica e ciência, o qual foi entregue aos físicos Alain Aspect, John F. Clauser e Anton Zeilinger.

O ensino de física contemporânea na escola é um assunto que é debatido desde o século passado, tendo propostas de atualizar o currículo e incentivar a abordagem de teorias contemporâneas da física com os estudantes:

[...] é preocupante como o ensino de ciências, particularmente a física no ensino médio, não tem acompanhado esse desenvolvimento e cada vez mais se distancia das necessidades dos alunos no que diz respeito ao estudo de conhecimentos científicos mais atuais (OLIVEIRA, et al., 2007, p. 447).

Ainda é um desafio grande para muitos professores o ensino dessa área, seja pela falta de conhecimento sobre o tema após anos sem contato com a física moderna, ou ainda pela falta de preparo para tratar sobre a teoria da mecânica quântica no ensino médio.

Outra situação é a de elencar os tópicos e assuntos propícios para serem abordados, a literatura traz diversos exemplos, desde o efeito fotoelétrico, dualidade onda partícula, modelo de partícula de Bohr, radiações e suas interações, até o Modelo Padrão. Ressalta-se que “a escolha dos temas a serem abordados deve ser feita de modo que o conhecimento de física deixe de se estruturar como um objeto em si mesmo, passando a ser entendido como um instrumento para a compreensão do mundo” (OLIVEIRA, et al., 2007, p. 449).

Além da questão dos tópicos da física moderna que podem ser abordados, deve-se pensar na forma que eles serão introduzidos e trabalhados, quais são as ferramentas a se utilizar para que o estudante consiga compreender os conceitos, mas ainda de forma crítica, podendo realizar as conexões necessárias com o seu cotidiano.

Souza e Franco (2013, p. 7) abordam algumas sugestões, seja do uso de CD's, para fazer um espectroscópio caseiro, até softwares que trabalham diversas abordagens, como o do Interferômetro de Mach-Zehnder para um fóton, que pode auxiliar na demonstração da dualidade onda-partícula.

É de extrema importância que o professor procure novas formas de situar o aluno em uma posição mais ativa, já que os mesmos continuamente se encontram em espaços e situações nos quais sua criatividade não é aguçada e incentivada da melhor forma, “por conseguinte, é questionável um esquema educacional baseado numa única perspectiva, que só daria conta das necessidades de um tipo particular de aluno ou alunos e não de outros.” (LABURÚ et al., 2001, p. 169).

Entretanto, poderá se encontrar com outra categoria de perguntas e pensamentos, de qualquer forma relacionados a ciência, mas sim na pseudociência, pois “a pseudociência mimetiza não só a ciência, mas também uma visão dogmática da ciência, muito difundida na cultura de massas e que é caracterizada pelo discurso de autoridade” (MIGUEL et al., 2022, p. 196). O professor necessita agir com cautela ao tratar de tais temas, principalmente quando algum tema é tratado como dogma.

É importante ressaltar que os alunos não devem apenas serem apresentados à ciência e como se faz ciência de forma apenas expositiva, mas é importante também assumirem uma posição ativa no processo:

[...] as práticas epistêmicas não devem simplesmente serem apresentadas aos estudantes, mas sim desenvolvidas por eles ao longo das aulas, sob a orientação do professor, de modo que eles desenvolvam autonomia em suas discussões sobre o problema apresentado em sala de aula para que possam também desenvolver essa autonomia ao abordarem outros problemas ao longo da vida. (SANTANA e SEDANO, 2021, p. 383).

Fica a encargo do professor realizar um ensino da ciência condizente com a pluralidade que vemos na realidade, na tentativa de desconstruir a ideia comum do cientista de jaleco no laboratório, também a ideia de que um cientista está longe da realidade do estudante, ou de uma possibilidade de carreira a se seguir no futuro pelo mesmo.

Deve-se contornar um caráter aproblemático e ahistórico no ensino de ciência, de forma que comumente “transmitem-se os conhecimentos já elaborados, sem mostrar os problemas que lhe deram origem, qual foi a sua evolução, as dificuldades encontradas etc” (PÉREZ et al., 2001, p. 131).

A nova BNCC já possui uma proposta ao tentar enfatizar algum tipo de ensino do conhecimento científico, conforme Brasil (2018, p. 466), seja nas matérias específicas, mas principalmente nas matérias eletivas da área de Ciências da Natureza e Suas Tecnologias, dando a oportunidade ao professor trabalhar diversos aspectos do fazer ciência e apresentar as diversas facetas dos métodos científicos.

Com toda a história do ensino de física e os projetos passados implementados, principalmente na década de 1960, percebe-se que apenas inserir o estudante em um laboratório ou a simples implementação de experimentos práticos, não o tornará cientista e muito menos auxiliará na compreensão do que é ciência,

sequer lhe proporcionará uma compreensão significativa dos conceitos físicos a serem abordados.

O que realmente impacta é o que o professor pode contribuir em sala, atuando de forma ativa junto com os estudantes, algo que faltava em antigos projetos e, que como ressalta Gaspar (1997, p. 8), foi a maior armadilha para esses projetos.

Ainda ao falarmos das ementas obrigatórias, os conteúdos de física moderna já se encontram nos documentos nacionais indicando a necessidade de serem abordados na sala de aula, infelizmente vemos um baixo movimento dos professores de física ao selecionar tais tópicos como importantes ao organizarem as ementas programáticas. Também se vê descrito muito bem no currículo estadual de Santa Catarina (2021, p. 186) os assuntos de estrutura da matéria e modelo atômico, assim como da fusão nuclear e astrofísica, temas da física contemporânea.

E ao se pesquisar a quantidade de material disponível para estudo sobre o tema, assim como sugestões das formas de abordá-lo e ferramentas a serem utilizadas, encontra-se um volume considerável, comparado com o pouco uso desse conhecimento. Mas ao falarmos de ferramentas de ensino, como já citados os experimentos e as simulações computacionais, existem outras formas de abordar o conteúdo, talvez de uma forma mais lúdica, como em jogos para o ensino.

3.4 Ensino Por Meio de Jogos

A literatura sobre o ensino de ciências, principalmente o de física, sobre experimentos práticos e uso de TDIC's são de suma importância, se o professor busca de qualquer forma um significado no aprendizado dos estudantes. Diversas ferramentas de ensino são muito úteis, tal como os jogos que “se estruturam em ferramentas para o desenvolvimento das crianças, pois, são adequados a situações que podem ser empreendidos em diferentes possibilidades tendo como objetivo, o prazer de jogar” (TEIXEIRA, 2015, p. 11358).

O ensino por meio de jogos é uma área importante de estudo na pedagogia. Porém, o uso do jogo como brinquedo pode não ser eficiente, a menos que se compreenda a necessidade de o tornar interessante, de forma a incentivar a ação do estudante, como ressaltado por Vygotsky (2007).

Precisa-se compreender que a busca pelo interesse de uma criança e de um jovem se direcionam por assuntos e formas de se abordar uma proposta totalmente distintas. Ressalta-se ainda por Vigotsky (2007) a importância de que o jogo não seja muito abstrato, resultando numa atividade apenas imaginária, mas deve-se buscar por uma ação concreta como objetivo na aplicação do jogo.

O jogo não é simplesmente um “passatempo” para distrair os alunos, ao contrário, corresponde a uma profunda exigência do organismo e ocupa lugar de extraordinária importância na educação escolar. [...] Estimula o indivíduo a observar e conhecer as pessoas e as coisas do ambiente em que vive (TEZANI, 2006, p. 1).

Portanto, a ação é um pilar da estrutura no momento a se desenvolver um jogo. Outro pilar a ser encontrado é o significado que o jogo tem para o jovem. O significado se encontra subordinado ao objeto, quando se analisa a razão objeto/significado, porém a situação se inverte quando se analisa a razão ação/significado.

Assim, “importa analisar o aspecto cognitivo do uso dos jogos em sala de aula e sua importância para os processos de aprendizagem e desenvolvimento” (TEZANI, 2006, p. 10). Considerando os fatos apontados, busca-se no jogo uma forma de buscar a curiosidade e incentivar o querer aprender do jovem.

Um dos problemas da área do ensino de ciências é o interesse dos estudantes. Depara-se com diversos artigos e pesquisas acadêmicas sobre o tema e também trabalhos que envolvem o estudo dos jogos como ferramenta de ensino.

Quando o assunto é o ensino de ciência e a compreensão que os jovens tem sobre o cientista, busca-se reconstruir essa imagem, portanto “o jogo como atividade da criança tem como finalidade a apropriação e o desenvolvimento de certas formas culturais de comportamentos” (NASCIMENTO; ARAUJO; MIGUEIS, 2009, p. 300).

Dessa forma o jogo atua com alguns aspectos interessantes ao pensarmos em formas de incentivar a participação do aluno, seja por meio de uma competição saudável, ou apenas como forma de desafio pessoal ou em grupo entre colegas e amigos.

O jogo como ferramenta de ensino se mostra uma aliada ao dia do professor, auxiliando em novas formas de abordar conceitos, para além de uma exposição ou momento experimental.

Portanto essa ferramenta tende a realizar uma realocação de um momento expositivo do estudante, colocando-o em uma situação ativa. Existem diversas formas de aplicar um jogo, de forma a acrescentar pontos positivos em sua aplicação, como sua maleabilidade.

Pode-se encontrar alguns exemplos dos últimos cinco anos de trabalhos voltados para a construção de jogos no ensino de física, como algumas dissertações de graduação, como as de Machado (2018) e Araújo (2020), como artigos de Pereira, Cardoso e Marino (2017), Reis et al. (2020), Batista, et al. (2022), Benedetti, Silva e Favaretto (2020) que tratam do tema e agregam a fundamentação a respeito do mesmo.

Tendo os trabalhos como base, os jogos de tabuleiro podem ser vistos como um grande aliado do professor. O jogo de tabuleiro “exige a interação presencial entre os jogadores e que requerem basicamente a capacidade de parar, concentrar-se, elaborar pensamentos e, sobretudo saber respeitar o tempo do outro e as regras pré-estabelecidas” (GEHLEN, 2013, p. 10).

O jogo de tabuleiro produzido e aplicado por Benedetti, Silva e Favaretto (2020) também traz aspectos importantes do desenvolvimento e aplicação de um jogo de tabuleiro, concluindo que a ferramenta de ensino pode ser utilizada como método de revisão eficiente e mais prazeroso ao estudante.

A pesquisa realizada por Reis et al. (2020), aborda que ao aplicar o jogo Cara a Cara com os Cientistas numa escola estadual do Acre, com auxílio de bolsistas do PIBID, obteve alguns resultados sobre o uso de jogos no ensino de FMC. Esse trabalho se deu com uma aula, onde foi aplicada uma sequência didática que iniciava com perguntas sobre o que se sabia sobre o tema, depois se seguia para uma apresentação do conteúdo. Após a exposição do conteúdo se conversou sobre o cotidiano e a relação com a FMC, finalizando com a aplicação do jogo e um questionário sobre a atividade realizada com os estudantes. Um ponto importante ressaltado no artigo foi de que “[...] na aplicação do jogo, os alunos se mostraram extremamente abertos a participação e entusiasmados para competir entre eles, como uma forma pública de expor o que haviam absorvido do conteúdo” (REIS, et al., 2020, p. 882).

Ao pensarmos em jogos para o ensino de física moderna, podemos tê-los como um importante aliado, em assuntos como a quântica, que muitas vezes, pode ser considerado um conteúdo abstrato para compreensão dos estudantes. Assim,

esse lado lúdico e descontraído de um jogo pode vir a ser um ótimo contraste para muitos, “a aplicação de um jogo didático pode mudar a visão e conhecimento de quem está aprendendo” (REIS et al., 2020, p. 884).

Em tempos de fortes linhas de pseudociência e muitas “profissões” ligadas a elas, um ensino crítico e contemporâneo é de extrema importância. A compreensão de conceitos da física quântica vai para além do estudo das áreas de química, biologia e física. A teoria nos auxilia a enxergar tudo o que está à nossa volta com um olhar crítico e consciente.

Portanto, a compreensão de tais conceitos impacta em como vivemos em sociedade, deve-se buscar ferramentas que auxiliem o ensino a cumprir seus objetivos, “o jogo é significativo para a construção do conhecimento, da autonomia, da organização do pensamento, desenvolvendo habilidades e capacidades” (TEIXEIRA, 2015, p. 11358).

Talvez seja necessário abordar a questão de que podem existir dois tipos de jogos como ferramenta de ensino formal, tendo o jogo didático e o jogo pedagógico. O primeiro surge a partir de um jogo já existente, enquanto o segundo necessita de um ineditismo, tal que “a principal diferenciação que fazem entre os dois tipos de jogos se encontra no processo de elaboração do jogo e em relação aos objetivos de utilização” (MORAES e SOARES, 2021, p. 4). Sendo que o atual projeto se vê na estruturação de um jogo com objetivos definidos, ainda tendo a proposta da aplicação do mesmo no ensino formal, podemos caracterizar a ideia proposta como um jogo pedagógico, que visa a construção de um novo jogo.

Podemos nos aproveitar do jogo como ferramenta para abordarmos diversos tópicos do ensino de ciência e as diversidades dos métodos científicos, de forma que não seja algo tão expositivo e maçante para os estudantes, o que pode ser de grande ajuda quando queremos chamar o interesse dos jovens para um conteúdo que aborda uma realidade que pode parecer distante para eles,

Ao pensarmos no caráter pedagógico a partir de um jogo, é importante observar que o jogo traz, intrinsecamente, uma característica muito significativa para o processo de ensino e aprendizagem, que é a capacidade de despertar a curiosidade e o interesse. (MORAES e SOARES, 2021, p. 15).

Por fim se destaca que o ensino de física é amplo, muito bem estudado, porém infelizmente em muitos casos continuamos a preservar certos olhares

conservadores, seja para métodos de avaliação, ou ferramentas de ensino, como é o caso. Permanecemos a conversar sobre TDIC's no ensino de ciência e física, sobre o uso de experimentos nas aulas de física, mas assim como métodos de avaliação, existem muitas ferramentas. Talvez seja necessário implementar mais formas de incentivar os professores a se utilizarem de outras ferramentas, com o objetivo de um ensino menos mecanicista.

4 METODOLOGIA

Junto com o crescimento no enfoque do ensino de física na década de 1960, também é visto o crescimento no enfoque da pesquisa da educação, nesse caso o crescimento de pesquisas qualitativas em educação, como muito bem constatado por Bogdan e Biklen (1994, p. 40).

Ao se falar de pesquisa em educação somos direcionados para uma pesquisa qualitativa, muito pelo enfoque e participação do sujeito que busca realizar o estudo. “O pesquisador não fica fora da realidade que estuda, à margem dela, dos fenômenos aos quais procura captar seus significados e compreender” (TRIVIÑOS, 1987, p. 133).

Um projeto desenvolvido aos olhos do professor-pesquisador, possui algumas formas de obtenção de dados, entretanto o pesquisador também irá atuar como observador, dado que “a melhor técnica de recolha de dados consiste na observação participante e o foco do estudo centra-se numa organização particular” (BOGDAN e BIKLEN, 1994, p. 90).

O trabalho buscou trabalhar diversos aspectos do ensino de física. Portanto, houve a produção de uma sequência didática sobre o ensino de conteúdos da mecânica e sua história, utilizando-se de um uma história em quadrinhos como ferramenta de ensino. A partir das aulas realizou-se uma avaliação para compreender possíveis dificuldades dos estudantes.

Os dados apresentados e analisados nas partes finais do trabalho aqui apresentado, foram adquiridos a partir de um questionário estruturado, conforme o Apêndice 4, que é

aquela que parte de certos questionamentos básicos, apoiados em teorias e hipóteses, que interessam à pesquisa, e que, em seguida, oferecem amplo campo de interrogativas, fruto de novas hipóteses que vão surgindo à medida que se recebem as respostas do informante. (TRIVIÑOS, 1987, p. 146).

Foram delimitados tópicos que abordaram retornos dos estudantes que podem trazer um impacto positivo no desenvolvimento da proposta do jogo Caminhos do Quantum como ferramenta de ensino.

4.1 Desenvolvimento da Proposta

O objetivo desta pesquisa visou a construção do jogo Caminhos do Quantum, assim como sua aplicação em sala de aula. Para a aplicação do jogo, primeiramente foram realizadas rodadas de teste com colegas do curso de licenciatura em física, para verificar possíveis problemas nas regras e andamento do jogo. Foi possível perceber alguns pequenos entraves no andamento do jogo que foram apontados pelos colegas, após a revisão das regras e perguntas, foi realizada a aplicação.

As aplicações da sequência didática e do jogo foram realizadas em 2 turmas do primeiro ano do ensino médio, em momentos distintos, em uma disciplina eletiva do Novo Ensino Médio (NEM). Anterior a aplicação dos jogos, foi trabalhado o conteúdo de física quântica, abordando os tópicos de Teoria de Corpo Negro, Efeito Fotoelétrico, Raias Espectrais, Dualidade Onda-Partícula e Princípio da Incerteza.

Portanto, foi montado um plano de aula que totaliza 360 minutos, contando com a aplicação do jogo, sendo que 270 minutos foram direcionados para o momento de abordagem e conversa sobre o conteúdo e 90 minutos para recapitulação e aplicação do jogo, conforme o Apêndice 1. Cada aula possui 45 minutos de duração, sendo que em cada encontro eram realizadas duas aulas.

No início de cada aula foram trabalhadas as concepções prévias dos alunos, na intenção de auxiliar o professor a compreender possíveis caminhos metodológicos e ferramentais a se seguirem no ensino das turmas.

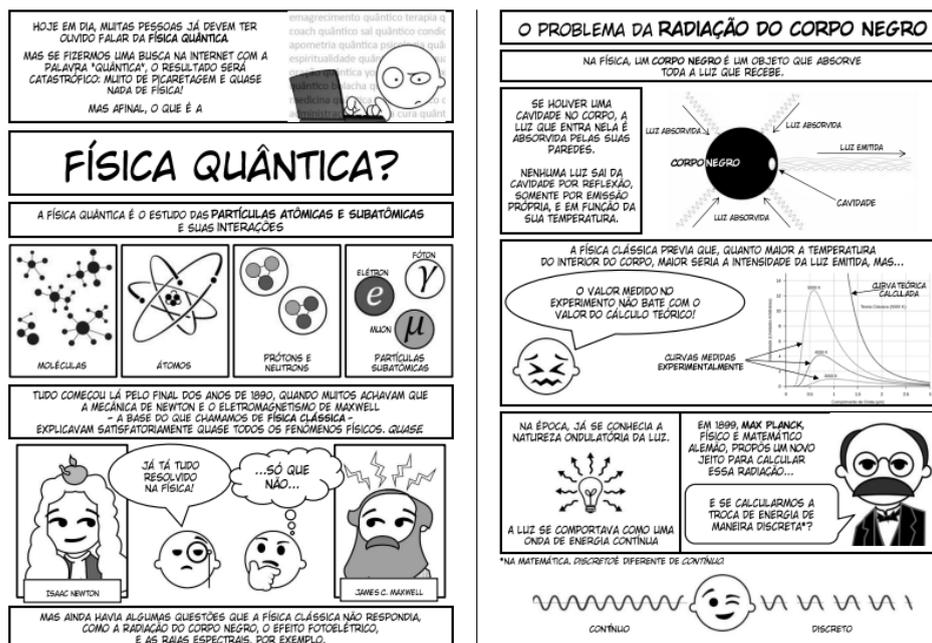
Como profissionais da educação sabemos que cada estudante é um indivíduo e cada turma será composta por tais pessoas. Se tem consciência que um educador crítico compreenderá formas de tornar a proposta potencialmente significativa em cada momento que ela for aplicada. Portanto, deve-se buscar formas de trabalhar com as turmas, baseando-se no que foi proposto pelo plano de aula.

No primeiro encontro foi conversado sobre o início da teoria e sua importância para a época. Buscou-se um ensino baseado na história e criticidade da ciência, considerando todos os conceitos que compõem a física quântica e filosofia por trás, vale ressaltar que “filosofia e história não podem trabalhar dissociadas; essa máxima atribuída a Imre Lakatos tem importância especial para a educação científica.” (CORDEIRO, 2021, p. 1134).

Após essa introdução, foi abordado a Teoria de Corpo Negro de Max Planck. Os conteúdos foram trabalhados utilizando-se da história em quadrinho (HQ)

produzida por Corrêa (2021), conforme figura 1, de forma que os estudantes se juntaram em grupos para lerem os quadrinhos e conversarem a respeito. Posteriormente, de forma expositiva-dialógica, o assunto foi abordado pelo professor.

Figura 1 - História em Quadrinhos sobre Física Quântica



Autor: Alan Correa (2021)

Ao final das últimas aulas de cada encontro foi disponibilizado um tempo para a construção de um resumo do conteúdo de forma individual, com intuito de utilizar o material como ferramenta avaliativa dos conceitos que foram compreendidos.

No segundo encontro foram abordados os tópicos do Efeito Fotoelétrico e das Raias Espectrais, seguindo a mesma metodologia proposta na primeira aula.

No terceiro encontro conversou-se sobre a Dualidade onda-partícula e o Princípio da Incerteza. Ao final da aula foi construído um espectroscópio caseiro, com o uso de uma caixa, CD e fita. Aproveitou-se para conversar com os estudantes sobre as aplicações do aparato e como ele difere quando estamos analisando a luz de uma lâmpada para as linhas espectrais de cada elemento.

No quarto encontro foi realizada uma recapitulação de todos os conceitos trabalhados nas aulas anteriores, tentando resumir conceitos importantes para o andamento do jogo.

Por fim, em um quinto encontro o jogo foi aplicado em duas turmas de primeiro ano do ensino médio.

4.2 Métodos

Utilizou-se das bases de dados do Google Acadêmico e do Scielo, assim como a leitura de textos realizadas em unidades curriculares (UC's) do curso de Licenciatura em Física do IFSC-Centro de Jaraguá do Sul, com o objetivo de delimitar o material utilizado como base e apoio na construção e fundamentação da presente investigação. Desta forma foram utilizadas as palavras chaves “Ensino de Física Moderna”, “Ensino de Física Contemporânea”, “Educação e Jogos” e “Jogos no Ensino de Física” na pesquisa para o referencial teórico da pesquisa.

Pretendeu-se que os textos escolhidos sejam atuais, portanto, delimitou-se o período de artigos do início dos anos 2000 até mais recente em 2022, com a exceção de alguns materiais mais antigos, em sua maioria disponibilizados pelas UC's cursadas. Por meio da pesquisa percebeu-se que a área de jogos para o ensino de mecânica quântica no ensino médio possui um bom acervo, com diferentes tipos de jogos propostos.

Delimitada a fundamentação, ocorreu a principal ideia para o jogo: um jogo de tabuleiro com perguntas e respostas sobre os mais variados temas da Física Quântica, tendo como objetivo principal chegar ao final do caminho após acertos nas perguntas propostas. Ao montar o jogo percebeu-se a necessidade de uma sequência didática que aborda os temas que estão contidos no jogo.

A proposta do jogo foi de atuar com perguntas e respostas, conforme o Apêndice 2, as quais abordaram os temas que foram trabalhados em sala. Indicou-se equipes de dois a três estudantes, que jogaram em um tabuleiro que possui três possíveis caminhos a se seguir. São três áreas, representadas pelas bifurcações nos caminhos do tabuleiro, em cada uma das áreas são feitas perguntas relacionadas a um dos três temas centrais. A cada pergunta respondida corretamente a equipe pode se locomover no tabuleiro de acordo com o número apontado pelo dado. A pergunta respondida de forma correta deve ir para o fundo do monte. A cada pergunta realizada e respondida de forma incorreta deve-se manter a peça na casa atual e passar a vez para o próximo jogador/equipe, as perguntas

devem ir para o fundo do monte de perguntas. O objetivo do jogo é chegar ao fim dos caminhos do quantum.

Portanto o Caminhos do Quantum visa trabalhar, de forma sucinta, o conteúdo visto em sala de aula, como nome dos físicos que atuaram no desenvolvimento da teoria, suas propostas, problemas e conclusões. Sendo indicado utilizar o material didático ao final de uma sequência didática no ensino de FMC, com intuito de se tornar um material potencialmente significativo para o aluno e o processo de ensino-aprendizagem.

Conforme Triviños (1987, p. 171) um questionário aberto não deve possuir muitas perguntas, pois as respostas a serem obtidas podem ser longas e os respondentes necessitam dedicar tempo e esforço na escrita.

O método de análise dos dados obtidos a partir do questionário aplicado nas turmas se deu por meio da classificação das respostas em áreas criadas a partir das respostas obtidas, conforme indicado por Triviños (1971, p.172). O mesmo ressalta como essa classificação lhe auxiliará a partir da interpretação dos dados obtidos.

Portanto, foi utilizado da família de perspectivas tidas pelo sujeito, conforme Bogdan e Biklen (1994, p. 223), categorizando em cada uma das perguntas pelo menos três temas distintos, sendo utilizadas de duas a quatro respostas em cada um dos temas.

5 DESENVOLVIMENTO

5.1 Aplicação da Sequência Didática

A sequência didática foi aplicada em duas turmas do primeiro ano do Novo Ensino Médio, em disciplinas eletivas da área de Ciências da Natureza. As turmas foram selecionadas com o propósito de trabalhar conteúdos de física moderna e contemporânea, que eram divididas em duas escolas na região de Jaraguá do Sul.

As duas escolas são do sistema de ensino do Estado de Santa Catarina, com uma turma do primeiro ano composta por 32 estudantes, tendo uma média de presença em torno de 25 estudantes. A segunda escola se localiza no município de Massaranduba, composta por 11 estudantes, tendo uma média de presença de 8 estudantes. As aulas foram ministradas em 4 encontros, com duas aulas a cada encontro.

A maior das duas turmas não apresentou muita participação com perguntas e comentários, porém a turma realizou, em sua maioria, as atividades propostas. A segunda turma, que possuía um número menor de estudantes, também não apresentou muita participação no decorrer das aulas.

As aulas foram guiadas por momentos de leituras da HQ sobre MQ e por momentos expositivos-dialógicos. Foi proposto aos estudantes que conversassem entre si ao final da leitura dos quadrinhos, porém não houve uma participação significativa dos mesmos nesses momentos.

Nos dois primeiros encontros houve uma participação tímida dos estudantes, o que mudou um pouco nos dois últimos encontros. Algumas dúvidas foram apresentadas nos encontros, principalmente aos finais das aulas, quando os estudantes foram solicitados a tentarem resumir com suas palavras o que conseguiram compreender do que fora abordado. Portanto, a participação durante os momentos expositivos-dialógicos não foi como esperada.

Um fator a se ressaltar sobre a participação é que a mesma aumentava em dias que haviam mais faltas nas turmas, possível resultado de menos conversas paralelas e distrações entre colegas.

Durante os momentos de aula foi comentado sobre o desenvolvimento do jogo, que o mesmo seria aplicado com os estudantes ao final dos tópicos do planejamento, somando a programação de uma sequência didática que conversasse com o jogo a ser aplicado, “essa elaboração prévia evita que o aluno tenha uma

visão errônea do jogo, considerando que seja apenas um passatempo, deve-se deixar claro que a atividade é uma forma diferenciada de aprender se divertindo” (BATISTA; CANOVAS e PEREIRA, 2022, p. 62).

Percebeu-se uma compreensão satisfatória dos estudantes nas primeiras aulas sobre a diferença de conceitos como discreto e contínuo, houve uma ênfase sobre tais termos devido a sua importância para compreensão da teoria.

Os estudantes apresentaram um pouco de dificuldade para relacionar a aplicação do conceito de energia discreta no caso da teoria de Corpo Negro e do Efeito Fotoelétrico.

Sobre a quantização das configurações eletrônicas de um átomo pode-se perceber uma boa compreensão, o que pode se relacionar ao fato de já terem abordado a evolução dos modelos atômicos, concluindo com o modelo de Rutherford-Bohr.

Foi necessário abordar alguns conceitos ondulatórios aos estudantes, tendo em vista que nenhuma das turmas havia estudado nada sobre o tema, já que o material didático (HQ), trazia conceitos do experimento de Dupla Fenda de Thomas Young. Entretanto, houve uma certa compreensão sobre a questão da dualidade-onda partícula, por mais que gerasse um pouco de estranheza aos jovens das turmas.

Por fim, apresentou-se grande dificuldade de compreensão nas ideias probabilísticas e estatísticas da MQ, algo a se esperar dos estudantes que acabaram de ingressar no ensino médio, que estão sendo introduzidos a novos conhecimentos sobre a física.

Na construção do espectroscópio houve entusiasmo dos estudantes durante o processo de montagem, na aplicação do equipamento dentro da sala e fora dela. Para visualização do experimento foram utilizadas lâmpadas e a luz emitida pelo Sol. Os estudantes apresentaram curiosidade para compreender a diferença entre a imagem da espectroscopia do hidrogênio e outros elementos, apresentada pelos quadrinhos e pelo professor, em comparação com que se visualizava no equipamento construído. Ao final da aula foi apresentado os conceitos que envolviam a dispersão da luz branca.

Quando os momentos de exposição da sequência didática chegaram ao fim, foi solicitado que os estudantes entregassem os resumos desenvolvidos para que o professor tivesse uma ferramenta na compreensão de conceitos que podem ter sido

potencialmente significativos. Nas duas turmas foi disponibilizado material para consulta, utilizando-se utilizando de livros do Novo Ensino Médio, assim como alguns fizeram pesquisas em casa, entregando com uma semana de atraso.

O que se percebeu na correção dos resumos entregues é que houve uma tentativa de escrita nos conceitos iniciais, entretanto não houve uma tentativa de escrita sobre os conceitos de Dualidade Onda-Partícula e Princípio da Incerteza. Porém, houveram estudantes que se empenharam e realizaram uma escrita sobre todos os conceitos.

Aos estudantes que não fizeram o resumo completo, solicitou-se que os mesmos fizessem uma pesquisa e completassem seu resumo, na busca que pudesse haver uma compreensão melhor de tais conceitos para que todos conseguissem participar da aplicação do jogo.

Com o retorno dos resumos dos estudantes foi possível identificar dificuldades de compreensão em temas específicos sobre absorção e reflexão de energia do Corpo Negro, interação do Efeito Fotoelétrico, Dualidade Onda-Partícula e características probabilísticas a MQ. Os dados observados auxiliaram o professor na construção de um momento expositivo-dialógico a ser apresentado na aula, anterior a aplicação do jogo.

5.2 Relatos Sobre o Teste do Jogo

Após a estruturação de um tabuleiro inicial, assim como as regras e perguntas, foi necessária uma partida teste para verificar se o jogo possuía qualquer erro lógico que pudesse impedir sua aplicação.

Foram convidados três colegas do curso de Licenciatura em Física da IFSC-Centro de Jaraguá do Sul, que já haviam realizado a unidade curricular (UC) de Ótica e Física Moderna, assim pode-se concluir que possuíam conhecimentos sobre a MQ, tema principal das perguntas do jogo. Um dos estudantes havia cursado também a UC de Mecânica Quântica para o Ensino Médio, o que pode ter auxiliado a responder os desafios do jogo.

A Figura 2 apresenta o primeiro modelo do tabuleiro de jogo, utilizado na partida teste:

Figura 2 – Primeiro tabuleiro do jogo Caminhos do Quantum.



Fonte: Do autor.

A partir da leitura das regras até o final do jogo, a partida teste levou aproximadamente 45 minutos. Além dos três jogadores, participou como mediador o criador do jogo, para que se pudesse compreender quaisquer dificuldades possíveis dos estudantes ao jogarem.

Ao se iniciar o jogo, cada jogador retirou com o número mais alto no dado sua posição em cada rodada, dessa forma será referido aqui como jogador teste 1 (JT1) o primeiro jogador, jogador teste 2 (JT2) o segundo e jogador teste 3 (JT3) o terceiro.

Na primeira bifurcação do tabuleiro, as perguntas realizadas eram da área de Cientistas e Curiosidades. O JT1 apresentou alguma facilidade com as perguntas recebidas, o JT2 também obteve um bom resultado ao responder uma boa quantidade de perguntas corretas. O JT3 apresentou certa dificuldade ao receber as perguntas, a ponto de ficar sem se locomover pelo tabuleiro, permitindo que os jogadores teste 1 e 2 obtivessem uma grande vantagem.

Em pouco tempo o JT1 obteve uma vantagem em relação aos demais jogadores e conseguiu alcançar as casas do tabuleiro que se encontram na segunda bifurcação. Então as perguntas a serem realizadas para esse jogador já tratavam sobre Conceitos Físicos, neste momento o JT1 apresentou certa dificuldade, permitindo que o JT2 conseguisse o alcançar.

Houve um momento em que todas as perguntas da primeira parte do tabuleiro já haviam sido respondidas, porém, o JT3 não conseguiu acertar perguntas o suficiente para que o mesmo conseguisse avançar no jogo. Com essa situação, houve uma alteração nas regras do jogo, de forma que não devem ser separados os cartões que foram respondidos de forma correta, mas sim adicionados ao fundo do monte de perguntas, para que exista a possibilidade de se continuar jogando. Esse jogador demonstrou certo incômodo por não conseguir avançar no jogo, assim começou-se a realizar perguntas já respondidas anteriormente para que o mesmo conseguisse sair da primeira parte do tabuleiro.

Nas perguntas sobre Conceitos Físicos o JT2 continuou apresentando um bom número de acertos, de forma que logo se encontrou na terceira bifurcação, onde as perguntas podem ser mais difíceis de se recordar, já que tratam de datas históricas, porém o número de casas até o fim da bifurcação é o menor das três partes do tabuleiro.

O JT1 chegou a avançar para a última bifurcação do tabuleiro, o JT3 conseguiu alcançar a bifurcação 2, porém o JT2 venceu o jogo. O que pode ter influenciado sua vitória, principalmente no conhecimento de datas, são os artigos lidos para a UC de Mecânica Quântica para o Ensino Médio, como comentado anteriormente.

Os três jogadores gostaram do jogo de forma geral, houveram alguns comentários com sugestões nas formulações das perguntas, mas de forma geral foi possível realizar uma boa partida com um tempo razoável de jogo, permitindo que o mesmo ocorra durante uma aula de 45 minutos.

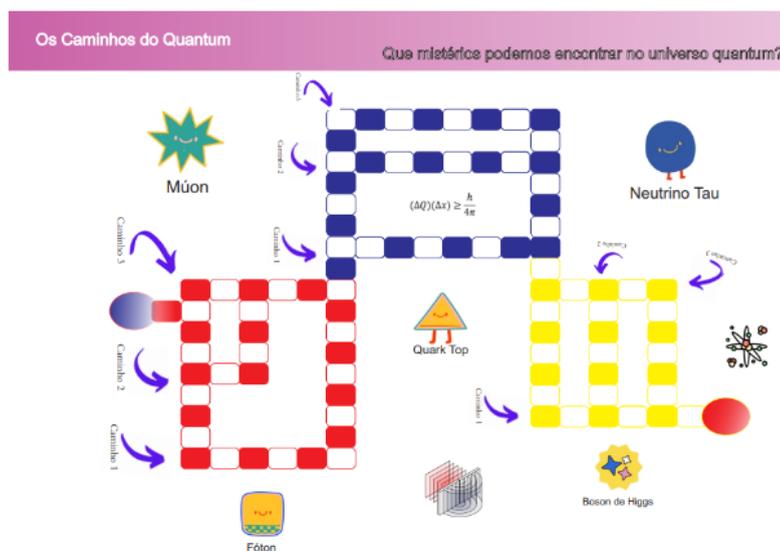
5.3 Aplicação do Jogo

A primeira aplicação do jogo foi realizada com os estudantes do município de Massaranduba, no dia primeiro de novembro de 2022, que contou com a presença de 5 jovens apenas.

O tabuleiro teve algumas mudanças, conforme a figura 2, como coloração das casas, algo indicado nas rodas de teste, na tentativa de tornar o mesmo mais atrativo.

Pode-se reparar as alterações em comparação da figura 2 com a figura 3:

Figura 3 - Versão final do tabuleiro.



Fonte: Do autor.

Os estudantes apresentaram interesse inicial ao participar da atividade, já que jogos no ensino não são comumente utilizados, principalmente no ensino médio.

O jogo começou com a separação de duplas, sendo que um dos jogadores acabou jogando sozinho, mas não impediu que o mesmo conseguisse bons resultados com as perguntas.

O professor acompanhou toda a partida, auxiliando na leitura e pronúncia de algumas palavras, tentando também interpretar as respostas e articulações dos estudantes, na tentativa de verificar se a manifestação dos jogadores condizia com o esperado nas respostas. Percebeu-se que “a intervenção do professor na atividade é crucial para evitar situações que gerem dúvidas entre os participantes, ele pode voltar uma jogada indicando qual teria sido a melhor estratégica.” (BATISTA; CANOVAS e PEREIRA, 2022, p. 62).

A equipe que escolheu o caminho 3 teve facilidade em acertar as perguntas das duas primeiras áreas, sendo dos temas de “cientistas e curiosidades” e “conceitos teóricos”. Entretanto, tiveram dificuldade na última parte do tabuleiro, no qual as perguntas são sobre a história, reunindo datas de publicações de artigos e prêmios Nobel.

O caminho 2 foi escolhido pelo estudante que estava sem equipe, o qual apresentou um pouco de dificuldade em responder algumas perguntas, enquanto outras obteve sucesso, principalmente nas perguntas sobre modelos atômicos. Entretanto, ao ir para as demais áreas do tabuleiro, segunda e terceira, começou a

ter dificuldade em responder as questões e apresentou certo incômodo e indignação.

O caminho 3 acabou sobrando para a outra equipe, que também apresentou certa dificuldade em algumas questões, porém obteve uma média de acertos que os permitiu avançar, de forma que todos os jogadores ficaram com uma pequena distância de casas entre um e outro.

Todos os jogadores conseguiram chegar à última parte do tabuleiro, na qual todos demonstraram grande dificuldade com as datas, o que já se esperava.

A segunda aplicação ocorreu em Guaramirim no dia quatro de novembro de 2022, contando com a participação de 23 estudantes, com uma das turmas do primeiro ano do ensino médio. A turma foi dividida em 4 grupos. Nesse caso a duração dos jogos foi maior, com mais de uma hora e meia de duração.

Percebeu-se dificuldade dos jovens ao responder muitas perguntas, em todas as áreas, o que pode ter gerado uma frustração inicial, porém não impediu a continuidade, o que se observou foi um momento de diversão e descontração da turma.

Houveram reclamações sobre a dificuldade das respostas, porém houve a confirmação, por parte dos estudantes, de que o conteúdo havia sido trabalhado em sala, também que foi apresentado um resumo na semana que antecedeu a aplicação do jogo. Foi ressaltado o estudo do resumo, porém o que se notou foi a falta de tempo dedicado para o conteúdo.

Entretanto, não foi um empecilho para a aplicação e participação, apenas pode ter tornado a experiência mais desafiadora do que se esperava. Muitos ressaltaram que lembravam de certos temas terem sido abordados em sala, porém a maioria não havia estudado dessa forma não possuíam recordação de diversas respostas do jogo. Pode-se considerar que o conhecimento então ainda se encontrava na *zona de desenvolvimento proximal* (VYGOTSKY, 2007).

O retorno dos estudantes, ao final da aula, foi positivo, de forma geral. A maioria demonstrou entusiasmo. Ocorreram elogios e sugestões para a melhoria e articulação do jogo, como alternativas nas respostas, algo indicado pela turma de Massaranduba.

Foram utilizados códigos para a classificação e ordenação dos dados obtidos por meio do questionário que consta no Apêndice 4, buscando classificar as informações obtidas. Portanto, as respostas selecionadas visam contribuir de forma

significativa para a melhoria do jogo, sendo descartadas respostas que não possuíam grande aprofundamento no tema, ou que não possuíam críticas construtivas para o processo.

Na primeira pergunta, que tratava sobre a experiência de participar do jogo, foi possível perceber que existiam temas centrais em como os estudantes perceberam a experiência do jogo. Portanto, foram separadas as respostas em dificuldades, diversão e aprendizado. Conforme a Quadro 1:

Quadro 1 – Respostas à pergunta 1

Categoria	Jogadores	Resposta à pergunta 1
Dificuldades	Jogador 1	Parecia complicado no começo, mas conforme fomos jogando ficou mais fácil e divertido
	Jogador 2	Eu diria que foi desafiador mas muito legal
	Jogador 3	Foi muito legal porém no começo do jogo achei meio difícil e no percorrer do jogo fui pegando o jeito
	Jogador 4	Foi bom porque é algo que a gente aprendeu na aula, e foi difícil de responder mesmo assim.
Diversão	Jogador 5	Foi incrível, mexe bastante com a mente, é divertido jogar com os amigos.
	Jogador 6	Foi muito divertido. Uma maneira de aprender saindo do padrão.
	Jogador 7	Foi legal e divertido, as perguntas todas bem feitas e achei muito criativo o jogo.
Aprendizado	Jogador 8	Foi massa porque o que o professor explicou na aula foi tudo no jogo.
	Jogador 9	Foi divertido, embora depois de um tempo talvez fique um pouco repetido, achei muito interessante, da pra aprender sobre várias coisas que havia ficado em dúvida.
	Jogador 10	Foi muito interessante pois consegui colocar tudo que aprendi nas aulas em prática neste jogo.

	Jogador 11	Foi uma experiência bem legal e divertida, talvez até mais fácil de gravar a resposta para certas perguntas referente a física quântica.
--	------------	--

Fonte: Do Autor.

Pode-se reparar que algumas respostas refletiam o clima que se percebeu durante as partidas de dificuldades em avançar no tabuleiro. Em nenhuma das turmas obteve-se uma confirmação de que houve tempo dedicado para o estudo do assunto, mesmo que fora ressaltado pelo professor, o que pode ter resultado em dificuldade na participação e andamento do jogo.

Algo a se ressaltar é como a atividade que envolve os colegas de sala pode ser produtiva, auxiliando no estímulo da participação dos jovens. De forma a agregar a uma atividade que não se enquadre nas aulas consideradas como padrão, possivelmente sendo momentos expositivos-dialógicos.

Outro fato a ser destacado é como os jovens veem a educação apenas como uma forma de memorização, o que pode ser concluído a partir de respostas que estão no terceiro tema da tabela 1, onde relaciona a diversão com a memorização de respostas.

Na segunda pergunta as respostas foram categorizadas pelos temas de Perguntas e Respostas, Superação de Dificuldades e Estudo. Foram escolhidas tais categorias de forma a enquadrar as dificuldades que os estudantes apresentaram, seja elas nas perguntas do jogo, na superação dos entraves que os estudantes encontraram durante a partida e a possível falta de estudo e preparo anterior ao jogo.

As respostas se encontram no quadro 2:

Quadro 2 – Respostas à pergunta 2

Categoria	Jogadores	Resposta à pergunta 2
Perguntas e Respostas	Jogador 9	Acredito que talvez tenha sido só eu mas, depois de um tempo começou a ficar confuso pois as perguntas e os físicos eram parecidos, mas foi simples de entender.
	Jogador 2	Tive dificuldade nos nomes dos físicos.

	Jogador 15	Na parte azul tive uma dificuldade com as perguntas e demorei um pouco para sair.
	Jogador 5	Tive que pensar o dobro pois esqueci todas as repostas.
Superação de Dificuldades	Jogador 14	Tive algumas dificuldades mais com o tempo foi mais fácil.
	Jogador 4	Tive um pouco de dificuldade porque na hora foi difícil, mas depois foi tranquilo.
Estudo	Jogador 3	A parte das perguntas, pois não tinha estudado.
	Jogador 12	Tive um pouco de dificuldade, mas o jogo em si não é tão difícil, pois era só estudar o conteúdo passado.
	Jogador 13	Si porque a maioria das pessoas não lembravam a resposta.

Fonte: Do Autor.

Na pergunta número dois é possível perceber que houve dificuldade geral nas repostas das perguntas, mas é algo que pode ser explicado por se tratar de um tema diferente do que normalmente é abordado, fugindo um pouco do que se pode perceber no cotidiano dos estudantes. A dificuldade pode estar relacionada à falta de estudo que foi comentada pela maioria dos estudantes, conforme comentado pelos jogadores 3, 12 e 13.

Entretanto, houve relatos de algumas facilidades a partir do decorrer do jogo, conforme comentado pelos jogadores 4 e 14. Algo que era uma pretensão do formato planejado, em que as perguntas irão se repetindo com o tempo, algumas perguntas possuem repostas para outras. Portanto, para quem estiver atento ao jogo, pode ser percebido incentivos para que o jogo flua de uma forma tranquila.

Algo interessante que foi percebido na fala do jogador 9 tratava-se de uma possível confusão em perguntas construídas de formas similares. A redação das perguntas aparenta ser um tópico importante, principalmente pois foi pontuado que pode causar confusão.

Na terceira pergunta, que tratava sobre a visão dos estudantes sobre jogos no ensino, foi perceptível que muitos viram o jogo como uma ferramenta que pode auxiliar no processo de ensino-aprendizagem, categorizando tais repostas como Aprendizado. Alguns estudantes ressaltaram como o uso de jogos em sala é algo

novo, categorizando essas respostas como Novidade. E a última categoria foi separada pela percepção dos estudantes de como o jogo como ferramenta de ensino é uma alternativa ao ensino tradicional, sendo categorizado como Fuga do Padrão. Como se pode ver na quadro 3:

Quadro 3 - Respostas à pergunta 3

Categoria	Jogadores	Resposta à pergunta 3
Aprendizado	Jogador 1	Acho que foi bom porque ajudou a lembrar e memorizar os assuntos.
	Jogador 7	Acho bom pois estimula a vontade de acertar para ganhar e decorar as repostas que já foram.
	Jogador 16	Você vai decorando as perguntas e respostas, tem perguntas interessantes, é legal.
	Jogador 15	Muito bom, podendo até contar como nota, pois usa de todo nosso conhecimento.
Novidade	Jogador 4	Muito bom porque jogar jogos em física é totalmente diferente é algo novo.
	Jogador 10	Muito bom pois a gente conseguiu colocar todo conhecimento em prática e ainda conseguimos interagir entre colegas transformando o jogo em uma competição.
	Jogador 9	Acho muito bom, é uma forma diferente de aprender, muito dinâmico e diferente, jogaria mais vezes.
Fuga do padrão	Jogador 2	Vejo como uma forma de melhorar a aprendizagem, porque na minha opinião foi mais fácil aprender brincando.
	Jogador 12	Vejo como algo interessante, diversificado, como uma forma mais divertida de aprender.
	Jogador 6	Uma maneira de aprender física mais fácil, principalmente para quem tem problemas com aulas no modo padrão.
	Jogador 3	Acho uma ótima ideia, ajuda aprender a atenção e pelo meu ponto de vista é mais fácil de aprender o assunto porque não fica na mesmice.

Fonte: Do autor.

Algo a se perceber nas respostas dos estudantes é um retorno similar ao que se encontra na literatura sobre o tema sobre como o jogo é uma forma diferente de tratar o processo de ensino-aprendizagem, fugindo de uma rotina na qual os estudantes normalmente se encontram, com aulas expositivas-dialógicas e provas.

Novamente se percebe a ideia de memorização de conteúdos como forma de aprendizagem dos estudantes, porém é uma das formas de se continuar o jogo, pois prestando atenção nas perguntas realizadas e respostas obtidas, é possível melhorar a participação, o que envolve o engajamento do jovem, podendo influenciar num processo de ensino-aprendizagem.

Foi bem pontuado pelo jogador 10 uma das iniciativas do jogo, que é colocar em prática os conhecimentos abordados em sala para que o jogo pudesse fluir de uma forma construtiva para o conhecimento.

Por fim, as sugestões dos estudantes foram classificadas em Quantidade de Perguntas, Alternativas nas Respostas e Outras Sugestões. Conforme a quadro 4:

Quadro 4 – Respostas à pergunta 4

Categoria	Jogadores	Resposta à pergunta 4
Quantidade de perguntas	Jogador 15	Ter uma maior variedade de perguntas.
	Jogador 9	Acho que devia haver mais perguntas embora tinha muitas sim, fora isso gostei demais.
Alternativas nas respostas	Jogador 11	Pergunta com alternativas, principalmente nas perguntas que pedem anos.
	Jogador 1	Adicionar opções de resposta e dicas.
Outras sugestões	Jogador 2	Poderia ter mais caminhos.
	Jogador 7	Prêmios.

Fonte: Do autor.

As sugestões apontadas por grande parte dos estudantes foi de adicionar alternativas nas respostas das perguntas, na tentativa de afastar possíveis confusões, principalmente nas perguntas da última bifurcação do tabuleiro, que continham datas. Os estudantes demonstraram grande dificuldade em contextualizar

os acontecimentos das MQ no período de 1900 até 1930, que foi trabalhado em sala.

Outra sugestão que foi pontuada por parte das turmas foi um aumento na quantidade de perguntas, para se evitarem repetições, por mais que o intuito do jogo fosse que estas ocorressem, facilitando um possível acerto das respostas.

Algo a ser adicionado, a depender do professor e da turma trabalhada, pode ser a entrega de prêmios para cada uma das equipes, podendo aumentar a competitividade entre os colegas, o que pode ser positivo em alguns casos, não necessariamente em todos. Foi percebido frustração de alguns durante as partidas, algo que faz parte de um jogo, porém devem ser evitadas situações que gerem um atrito maior que o necessário para o bom andamento da partida.

De forma geral as partidas foram concluídas com sucesso, em alguns casos dentro do tempo previsto para o jogo, uma duração de no máximo 90 minutos. Houveram casos em que as partidas tiveram uma duração mais longa do que o esperado, possivelmente devido à falta de estudo sobre o tema.

O que foi apresentado pelos estudantes foi um retorno positivo da experiência, coincidindo com o que foi possível obter a partir das leituras realizadas para a escrita deste trabalho, conforme Gehlen (2013); Machado (2018); Moraes (2021); Reis et. al. (2020); Nascimento, Araujo e Migueis (2009); Pereira, Cardoso e Marino (2017); Teixeira, Franzen e Engler (2015) e Tezani (2006) .

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experiência que o jogo causou nos estudantes pode ser considerada positiva, a partir dos retornos obtidos nas respostas, considerando comentários dos estudantes realizados durante e após o jogo.

O que se pode constatar encontra reflexo na literatura sobre jogos no ensino. A motivação do estudante é um componente importante para a aprendizagem significativa, o jogo tornou a experiência de tratar o tema de Mecânica Quântica para além de um desafio, mas também uma diversão.

O jogo é uma ferramenta pouco usual no ensino das escolas onde o mesmo foi aplicado, conclusão realizada a partir de comentários dos estudantes, então este momento que foge da rotina de exposições-dialógicas tem muita a agregar para o processo de ensino-aprendizagem do jovem.

As teorias contidas nos tópicos de FMC, neste caso da MQ, são teorias importantes a serem trabalhadas em sala, o jogo traz uma abordagem lúdica, para um conteúdo que pode ser muito abstrato para o jovem.

A aplicação da sequência didática contou com simulações computacionais, uso de histórias em quadrinhos e a construção de um espectroscópio caseiro, na tentativa de criar um sentimento de curiosidade nos estudantes. Entretanto, houve o comentário de uma das estudantes que sentiu falta de momentos mais interativos em sala, na abordagem do tema, algo que pode ser implementado na sequência didática, com aumento de experimentos e simulações computacionais e também animações.

No retorno dos estudantes obtiveram-se boas sugestões, como a adição de alternativas nas respostas, sendo confeccionadas perguntas de múltipla escolha, já que muitos admitiram dificuldades para recordar de nomes, anos e algumas teorias. Isso reflete em algo que foi perceptível nos estudantes, dificuldade em expressar alguns dados e conceitos físicos, algo que pode ser considerado usual, pela complexidade do tema.

O momento de aplicação do jogo pode ser utilizado como método de avaliação do professor, para compreender possíveis dificuldades de aprendizagem, o levantamento de tópicos e temas que podem ser interpretados de forma errônea pelos estudantes. Portanto, é de extrema importância a participação ativa do

professor durante a aplicação do jogo, auxiliando na condução do mesmo, ou realizando correções de concepções incompletas ou incorretas.

O jogo obteve uma participação ativa da maioria dos jovens, sendo encontrados poucos desinteressados. Ao receber um retorno positivo da atividade, ressalta-se a importância do uso de jogos no ensino, a ferramenta traz benefícios para a construção de concepções sobre conceitos físicos que impactam no cerne da matéria de nosso universo, sendo recomendado o uso como um momento de possível aprendizado e diversão.

Ocorreram ainda outras pontuações realizadas pelos professores membros da banca de defesa do trabalho de conclusão de curso, como aprimoramento de algumas regras do jogo, até a revisão da fundamentação teórica. Tais modificações deverão ocorrer futuramente no trabalho, tendo em vista o curto período letivo que houve para redação do trabalho e correção do mesmo.

REFERÊNCIAS

AGRA, Glenda, FORMIGA, Nilto Soares, OLIVEIRA, Patrícia Simplício de, Costa Marta Miriam Lopes, FENRNANDES, Maria das Graças Melo, NÓBREGA, Maria Miriam Lima da. **Analysis of the concept of Meaningful Learning in light of the Ausubel's Theory**. Revista Brasileira de Enfermagem. 2019, vol. 72 nº1, p. 248-55. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0034-7167-2017-0691>.

ARAÚJO, Ives Solano; MAZUR, Erick. **Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, 2013, 30(2), p. 362–384.

ARAÚJO, Liane Castro de. **Jogos como recursos didáticos na alfabetização: o que dizem e fazer as professoras**. Educação em Revista [online]. 2020, v. 36 [Acessado 29 Junho 2022] , e220532. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0102-4698220532>>. Epub 31 Jan 2020. ISSN 1982-6621. <https://doi.org/10.1590/0102-4698220532>.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Educational psychology: A cognitive view**. 2ª ed. Nova York: Holt, Rinehart and Winston, 1978.

BENEDETTI, Edeimar Filho, SILVA, Adriana de Oliveira Delgado, FAVARETTO, Danilo Vieira. **Um jogo de tabuleiro utilizando tópicos contextualizados em Física**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 42, e20190356, 2020.

BATISTA, Michel Corci; SANTOS, Oscar Rodrigues dos; CANOVAS, Devanir Pereira dos Santos; PEREIRA, Ricardo Francisco. **Um Jogo de Tabuleiro como Recurso Didático para o Ensino de Luz e Cores no Ensino Médio**. Revista do Professor de Física, v. 6, n. 2, p. 55-64, Brasília, 2022. Instituto de Física - Universidade de Brasília.

BOGDAN, Robert; BIKLEN, Sari. **Investigação qualitativa em educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Portugal: Porto Editora, 1994.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

CORDEIRO. Marinês Domingues. **Ciência e Valores: uma leitura epistemologicamente guiada de fontes primárias**. RBECM, Passo Fundo, v. 4, edição especial, p. 1130-1154, 2021.

CORRÊA, A. R., ARTHURY, L. H. M. **Afinal o que é Física Quântica? Uma história em quadrinhos para o uso no ensino médio**. Revista do Professor de Física, v. 5, n. 1, p. 70-96, Brasília, 2021. Instituto de Física - Universidade de Brasília.

FREIRE, Paulo. Educação como prática da liberdade. Rio de Janeiro, Editora Paz e Terra LTDA, v. 199, 1967.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. 1.ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra 1974.

GASPAR, Alberto. **Cinquenta Anos de Ensino de Física: Muitos Equívocos, Alguns Acertos e a Necessidade do Resgate do Papel do Professor**. Trabalho apresentado no XV Encontro de Físicos do norte e Nordeste, Natal, RN, 12 a 18 de outubro de 1997.

GEHLEN, Salete Marcolina. **Jogos de Tabuleiro: Uma forma lúdica de ensinar e aprender**. Orientação de outra natureza; (Programa de Desenvolvimento Educacional - PDE) - Universidade Estadual do Centro-Oeste; 2013.

LABURÚ, Carlos Eduardo, CARVALHO, Marcelo Alves de, BATISTA, Irinéa de Lourdes. **Controvérsias Construtivistas**. Caderno Brasileiro do Ensino de Física, v. 18 n. 2, 2001.

MACHADO, Thiago Neves. **Jogos no ensino de Física: Elaboração de um jogo de Cartas como Abordagem no Ensino de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea no ensino Médio**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2018.

MIGUEL, Mário Lucas, SANTOS, Leandro José, SOUZA, Leonardo Antônio Mendes. **Algumas percepções de estudantes do ensino médio sobre ciências, pseudociência e movimento anticientíficos**. Investigações em Ensino de Ciências. V. 27 n°1, páginas 191-222, 2022.

MORAES, Fernando Aparecido de, SOARES, Márlon Herbert Flora Barbosa. **Uma proposta para a elaboração do jogo pedagógico a partir da concepção de esquemas conceituais**. Educação em Revista [online]. 2021, v. 37 [Acessado 29 Junho 2022] , e25000. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/0102-469825000>>. Epub 01 Nov 2021. ISSN 1982-6621. <https://doi.org/10.1590/0102-469825000>.

MOREIRA, Marcos Antônio. **A Teoria de Aprendizagem de David Ausubel como Sistema de Referência para a Organização de Conteúdo de Física**. Revista Brasileira de Física, Vol. 9, NP 1, 1979.

MOREIRA, Marcos Antônio. **Desafios no ensino da física**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 43, suppl. 1, e20200451, 2021.

MOREIRA, Marcos Antônio. **Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea**. Revista do Professor de Física, Brasília, vol. 1, n. 1, 2017.

MOREIRA, Marcos Antônio. **O que afinal é aprendizagem significativa?**. Currículum, La Laguna, Espanha, 2012.

NASCIMENTO, Carolina Picchetti, ARAUJO, Elaine Sampaio, MIGUEIS, Marlene da Rocha. **O jogo como atividade: contribuições da teoria histórico-cultural**. Revista Semestral da Associação Brasileira de Psicologia Escolar e Educacional (ABRABPEE) * Volume 13, Número 2, Julho/Dezembro de 2009 * 293-302.

OLIVEIRA, Fabio Ferreira de, VIANNA, Deise Miranda, GERBASSI, Rueber Scofano. **Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007.

PAULO, Iramaia Jorge Cabral de, MOREIRA, Marco Antonio. **Abordando conceitos fundamentais da mecânica quântica no nível médio**. Revista brasileira de pesquisa em educação em ciências. Porto Alegre. Vol. 4, n. 2 (maio/ago. 2004), p. 63-73.

PÉREZ, Daniel Gil et al. **Para uma imagem não deformada do trabalho científico**. Ciência & Educação (Bauru) [online]. 2001, v. 7, n. 2 [Acessado 29 Junho 2022] , pp. 125-153. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1516-73132001000200001>>. Epub 06 Jan 2012. ISSN 1980-850X. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132001000200001>.

PEREIRA, Marta Maximo, CARDOSO, Suelen Pestana, MARINO, Thainá Martins. **Caça ao Higgs: Um jogo para ensino sobre física de partículas**. X CONGRESO INTERNACIONAL SOBRE INVESTIGACIÓN EN DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS. Sevilla, 2017.

PESSOA, Osvaldo Jr. **Introdução histórica à teoria Quântica, aos seus Problemas de Fundamento e às suas Interpretações**. Caderno de Física da UEFS 04 (01 e 02): pag. 89-114, 2006.

PIGLIARINI, Cassiano Rezende, ALMEIDA, Maria José P. M. de. **Leituras por alunos do ensino médio de textos de cientistas sobre o início da física quântica**. Ciência Educação, Bauru, v. 22, n. 2, p. 299-317, 2016.

REIS, Joisilany Santos dos, OLIVEIRA, Victoria Cristina Morais de, OLIVEIRA, Erik Rocha de, SANTOS, Bianca Martins, RAMIREZ, Fernando Cezar Rivarola. **Jogo “Cara a Cara com os Cientistas”: um recurso didático para o ensino de física moderna**. Scientia Naturalis, v. 2, n. 2, p. 873-885, 2020.

SANTA CATARINA, Secretaria de Estado da Educação. **Currículo Base do Ensino Médio do Território Catarinense**. Florianópolis, SC, 2021.

SANTANA, Uilian dos Santos, SEDANO, Luciana. **Práticas Epistêmicas no Ensino de Ciências por Investigação: Contribuições Necessárias para a Alfabetização Científica**. *Investigações em Ensino de Ciências – V26 n° 2*, páginas 378-403, 2021.

SOUZA, Ana Cláudia Mourão, FRANCO, Cláudia Cristina Dias. **Aprendendo Mecânica Quântica no Ensino Médio através de Softwares Educativos**. *Revista Encontro de Pesquisa em Educação v. 1 n. 1*, 2013, p. 5-18.

TEIXEIRA, Isabel Saidelles, FRANZEN, Fernanda Issler, ENGLER, Marina. **Utilização de Jogos como Ferramenta de Ensinoaprendizagem**. XII Congresso Nacional de educação, 2015.

TEZANI, Taís Cristina Rodrigues. **O jogo e os processos de aprendizagem e desenvolvimento: aspectos cognitivos e afetivos**. *Educação em Revista, Marília*, 2006, v.7, n.1/2, p. 1-16.

TRIVIÑOS, Augusto Nivaldo Silva. **Introdução a Pesquisa das Ciências Sociais: A Pesquisa Qualitativa em Educação**. Editora Atlas SA, São Paulo, 1987.

VIGOTSKY, Lev Semyonovich. **A formação social da mente: o desenvolvimento social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 2007.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 - Sequência Didática

Professor: Diego Utpadel

Escolas: EEB Alfredo Zimmermann e EEB Felipe Manke

Série: 1º Ano **Turma:** 102 e 101 respectivamente

Data: 02/08 - 01/09 e aplicação do jogo 01 e 04/11 **Duração:** 360 min

Tema da aula: “História da Ciência e Mecânica Quântica”

Objetivos:

- Compreender a história da ciência e sua evolução
- Evidenciar os impactos da ciência em nossa história
- Abordar conceitos da Física Quântica

Conteúdo:

- História da Ciência
- Mecânica Quântica
- Corpo Negro
- Efeito fotoelétrico
- Raias espectrais
- Dualidade Onda-partícula
- Princípio da Incerteza

Recursos instrucionais:

Jogos
Documentários
História em Quadrinho

Momento 1: Concepções

Dinâmica 1: No primeiro momento será realizada um questionário dialogado com a turma guiado por algumas perguntas.

O que é um átomo? Ele é indivisível?

O que é uma partícula?

O que é um elétron?

O que é a luz?
Qual a diferença entre onda e partícula?

Momento 2: Leitura de HQ (15 min)

Dinâmica 2: Nesse momento seria disponibilizado aos alunos uma história em quadrinhos, os quais seriam lidos até o quadrinho anterior ao título “O problema da radiação do Corpo Negro” (MQ). A turma pode ser dividida em equipes de 3 ou quatro participantes para leitura e conversa. Os estudantes são incentivados a conversarem sobre o que compreenderam nos quadrinhos lidos.

Momento 3: Exposição dialógica sobre início da MQ (15 min)

Dinâmica 3: Realizar a pergunta de como se inicia uma teoria(?). O que é uma hipótese? Existe limitante para uma hipótese? Para que serve um teste? Deve-se tentar ressaltar pontos de ruptura entre a teoria do eletromagnetismo e os impactos no início da MQ.

Segue texto que pode auxiliar na conversa sobre o que se sabia da teoria física anterior ao desenvolvimento da teoria de corpo negro:

O eletromagnetismo é uma teoria muito bem fundamentada, porém ao final do século XVIII perceberam-se certas lacunas na teoria de Maxwell, as leis estabelecidas pelo físico em 1861, condiziam com um comportamento ondulatório do elétron. Já em 1888, Heinrich Hertz, que detectou experimentalmente as ondas de rádio, a teoria dizia que a radiação de calor, comportamento da luz visível e as ondas de rádios seriam resultados de um mesmo tipo de fenômeno, o das ondas eletromagnéticas.

Já em 1897, Thomson definiu o paradoxo da quantidade, postulado a partir da fotoionização de certos elementos, percebendo que o raio x ionizava apenas uma parcela muito pequena das moléculas do gás utilizado, o que conflitava com a ideia de comportamento ondulatório do raio x. Em 1904 ele expandiu sua teoria para todo espectro da radiação eletromagnética, constatando uma natureza corpuscular.

Porém o momento que define o início da física quântica seria o postulado sobre corpos negros de Planck em 1900, constatando assim que corpos emitem e absorvem luz não de forma contínua, mas sim discreta. No caso a teoria não seria a mesma para quantidades de energia que estamos acostumados em casos macroscópicos, dos quais a energia resultante na realização de certos processos é contínua, já no caso dos resultados obtidos por Planck via-se uma descontinuidade, obtendo-se valores múltiplos de um certo valor, sendo dessa forma discreta.

O assunto era de importância para a indústria da época, em muitas fábricas de fundição era necessário conhecer a temperatura de certos materiais, a forma de fazê-lo era analisando o comportamento do material ao ser aquecido, estudando sua coloração com o aumento da temperatura. Porém, seu resultado foi obtido por meio de interpolações, uma ferramenta matemática que o auxiliou a alcançar a fórmula desejada, mas que fora obtido por meio de pouco embasamento teórico da física. “Como o resultado de Planck era tortuoso e indireto, de início ninguém se convenceu de que o postulado quântico era realmente importante.” (PESSOA, 2006, p. 91).

Momento 4: Leitura de HQ (15 min)

Dinâmica 4: Nesse momento seria realizada a leitura do capítulo sobre a radiação de Corpo Negro.

Momento 5: Exposição dialógica sobre radiação do Corpo Negro (15min)

Dinâmica 5: Expor que por meio do estudo da radiação de corpos que se percebeu a natureza quântica da radiação. Já que a radiação emitida na direção de um corpo opaco é parte emitida e parte refletida, conforme demonstram os quadrinhos.

“A radiação absorvida pelo corpo aumenta a energia cinética dos átomos que o constituem, fazendo-os oscilar mais vigorosamente em torno da posição de equilíbrio. Como a temperatura de um corpo é determinada pela energia cinética média dos átomos, a absorção de radiação faz a temperatura do corpo aumentar. Acontece que os átomos contêm partículas carregadas (os elétrons) que são aceleradas pelas oscilações; assim, de acordo com a teoria eletromagnética, os átomos emitem radiação, o que reduz a energia cinética dos átomos e, portanto, diminui a temperatura. Quando a taxa de absorção é igual à taxa de emissão, a temperatura permanece constante e dizemos que o corpo se encontra em equilíbrio térmico com o ambiente. Assim, um material que é um bom absorvedor de radiação é também um bom emissor.” (TIPLER; LLEWELLYN, 2014, p. 78).

O que a teoria traz também é que a luz visível se encontra no espectro de radiação de temperaturas da 600 a 700 °C. De forma que em temperaturas mais elevadas, a radiação emitida como luz possui diferentes comprimentos de onda, dessa forma diferentes tonalidades de cor.

“Um corpo que absorve toda a radiação incidente é chamado de corpo negro ideal. Em 1879, Josef Stefan descobriu uma relação empírica entre a potência por unidade de área irradiada por um corpo negro e a temperatura:” (TIPLER; LLEWELLYN, 2014, p. 78).

$$R = \sigma T^4$$

“Imaginando que cada átomo em um corpo oscila com uma frequência ν , Planck foi obrigado a postular que a energia desta oscilação é um múltiplo inteiro de uma quantidade discreta ϵ , dada por $\epsilon = h\nu$, onde h é hoje conhecida como a “constante de Planck”. Esta quantidade indivisível de energia ϵ era estranha à Física Clássica, seria conhecida como um “quantum” (ou pacote) de energia, donde se derivou a expressão ‘Física Quântica’ para a nova teoria que iria surgir. Planck foi obrigado a introduzir este conceito porque a única maneira de explicar a lei de radiação, que ele próprio havia obtido por interpolação (entre as leis de radiação de Wien e Rayleigh), era usando um método estatístico introduzido anteriormente por Ludwig Boltzmann, que “contava” o número de estados discretos de energia. Como o resultado de Planck era tortuoso e indireto, de início ninguém se convenceu de que o postulado quântico era realmente importante.” (PESSOA, 2006, p. 91).

Momento 6: Redação de resumo sobre o assunto abordado (30 min).

Dinâmica 6: O professor pode propor que os estudantes construam o início de um resumo sobre o que foi trabalhado na aula.

Momento 7: Leitura de HQ (15 min)

Dinâmica 7: Leitura sobre o Efeito Fotoelétrico proposto por Albert Einstein.

Momento 8: Exposição dialógica sobre Efeito Fotoelétrico (15 min)

Dinâmica 8: “É uma das grandes ironias da história da ciência que no famoso experimento, realizado em 1887, em que Hertz¹¹ produziu e detectou ondas eletromagnéticas, confirmando assim a teoria ondulatória da luz de Maxwell, tenha sido observado também, pela primeira vez, o efeito fotoelétrico, que levou diretamente à descrição da luz em termos de partículas.” (TIPLER; LLEWELLYN, 2014, p. 81).

“Os resultados experimentais, ilustrados na Figura 3-9a, mostram que V_0 não depende da intensidade da luz incidente, o que deixou os cientistas surpresos. Aparentemente, o aumento da energia por unidade de tempo incidente no catodo não resultava em um aumento da energia cinética máxima dos elétrons emitidos, o que estava em total desacordo com a teoria clássica. Em 1905, Einstein ofereceu uma explicação para esta observação em um artigo que foi publicado no mesmo volume dos *Annalen der Physik* que seus trabalhos a respeito da relatividade restrita e do movimento browniano.” (TIPLER; LLEWELLYN, 2014, p. 82).

“Segundo Einstein, a quantização da energia usada por Planck no problema do corpo negro era, na verdade, uma característica universal da luz. Em vez de estar distribuída uniformemente no espaço no qual se propaga, a luz é constituída por quanta discretos, de energia hf . Quando um desses quanta, denominados fótons, chega à superfície do catodo, toda a sua energia é transferida para um elétron. Se ϕ é a energia necessária para remover um elétron da superfície (ϕ recebe o nome de função trabalho e varia de metal para metal), a energia cinética máxima dos elétrons emitidos pelo catodo é dada por $hf - \phi$ em virtude da lei de conservação da energia” (TIPLER; LLEWELLYN, 2014, p. 83).

Após os trabalhos de Planck, Einstein traria sua teoria publicada em 1905, junto com outros artigos, com o “efeito fotoelétrico” concluía que a luz ao incidir em um metal cria uma corrente elétrica no mesmo, postulando que a própria luz era discreta, diferente de Planck que defendia que o quantum ocorria apenas na interação entre objetos.

Importante ressaltar as diferenças na teoria de Einstein e Planck, comentando sobre como os cientistas chegaram em seus resultados.

* Millikan em 1916 que comprovou o efeito fotoelétrico.

“Outra propriedade importante do efeito fotoelétrico que está em desacordo com a física clássica, mas pode ser facilmente explicada pela hipótese dos fótons é a ausência de um intervalo de tempo mensurável entre o momento em que a fonte luminosa é ligada e o momento em que os elétrons emitidos pelo catodo começam a aparecer. Classicamente, a energia luminosa se distribui de forma homogênea ao longo da superfície do catodo; o tempo necessário para que uma região do tamanho de um átomo adquira energia suficiente para emitir um elétron pode ser calculado a partir da intensidade (potência por unidade de área) da radiação incidente.” (TIPLER; LLEWELLYN, 2014, p. 84).

Momento 9: Leitura de HQ (15 min)

Dinâmica 9: Leitura sobre as raias espectrais encontradas por Niels Bohr.

Momento 10: Exposição dialógica sobre Niels Bohr (15 min)

Dinâmica 10: Foi Niels Bohr, se utilizando das teorias de Planck e Einstein, que em 1913 conseguiu explicar a as cores das linhas espectrais que eram emitidas pelo átomo de hidrogênio. Dessa forma o modelo proposto trazia certos níveis de energia em que os elétrons poderiam estar em volta do núcleo, agindo de forma discreta. E quando um elétron passava de uma camada mais energizada para uma inferior ocorria a emissão de um quantum de luz.

Pode-se introduzir Rutherford na conversa, apresentando o início do modelo, descoberta do próton por meio da experiência realizada com seus dois auxiliares, que eram estudantes. Ao final da fala de Rutherford pode ser comentado sobre sua concepção da existência de algo a mais no núcleo do átomo além do próton, o que viria a ser o nêutron.

“A radiação característica emitida pelos átomos dos elementos ao serem aquecidos em uma chama ou submetidos a descargas elétricas foi estudada exaustivamente no final do século XIX e início do século XX. Quando é observada através de um espectroscópio, essa radiação aparece como uma série de linhas de várias cores ou comprimentos de onda; as posições e intensidades das linhas são características de cada elemento. Os comprimentos de onda das linhas podiam ser determinados com grande precisão e os cientistas dedicaram muito tempo e esforço à tarefa de descobrir e interpretar regularidades nos espectros.” (TIPLER; LLEWELLYN, 2014, p. 96).

Pode-se aproveitar para se falar do espectroscópio e os resultados que são encontrados teoricamente, por Bohr, posteriormente mostrar imagem ou figura do que se encontra utilizando o equipamento.

Momento 11: Redação de resumo sobre o assunto abordado (30 min).

Dinâmica 11: O tempo foi direcionado para a redação do resumo sobre o que foi trabalhado na aula.

Momento 12: Leitura de HQ (15 min)

Dinâmica 12: Leitura sobre a teoria ondulatória de Louis de Broglie.

Momento 13: Exposição dialógica sobre as descobertas de Louis de Broglie (15 min)

Dinâmica 13: Maurice de Broglie chegou em seu resultado, em 1921, que sugeria que o raio x é constituído de partículas. E posteriormente, seu irmão Louis, que em 1923 estendeu o conceito de dualidade de partícula-onda para toda a matéria.

Neste mesmo ano a teoria da mecânica quântica passaria a ser tratada de uma nova forma por alguns nomes que se debruçaram sobre o assunto, eles passaram a tratar da forma matemática, ao invés de procurar modelos visuais para o átomo.

Pode-se abordar um pouco sobre o experimento da dupla fenda realizado por Thomas Young, que apresentam propriedades encontradas em ondas. Utilizando-se de analogias com pedras e objetos pontiformes pode-se tentar exaltar o comportamento de partículas. Se apresenta como deveria ser o comportamento de uma partícula no experimento de Dupla Fenda, posteriormente utiliza-se de um simulador computacional, como o do experimento de Mach-Zender, para se apresentar o comportamento ondulatório que se encontrava teoricamente e experimentalmente de partículas elementares como o fóton e o elétron.

Momento 14: Leitura de HQ (15 min)

Dinâmica 14: Leitura sobre a teoria do Princípio da Incerteza

Momento 15: Exposição dialógica sobre as descobertas de Werner Heisenberg e o Princípio da Incerteza (15 min)

Dinâmica 15: Se utilizando do que foi comentado anteriormente, principalmente sobre o experimento de Dupla Fenda e como a ideia de probabilidade está intrínseca na teoria quântica.

Para desta forma introduzir os conceitos de incerteza ao se medir e interpretar dados obtidos teoricamente e experimentalmente pelos cientistas na época.

“Considere um pacote de ondas $\Psi(x, t)$ que representa um elétron. A posição mais provável do elétron é o valor de x para o qual $|\Psi(x, t)|^2$ é máxima. Como $|\Psi(x, t)|^2$ é proporcional à probabilidade de que o elétron esteja em x e $|\Psi(x, t)|^2$ é diferente de zero para vários valores de x , existe uma indeterminação na posição do elétron (veja a Figura 5-19). Isso significa que, se medirmos as posições de vários elétrons que se encontram exatamente nas mesmas condições (ou seja, elétrons que podem ser representados pela mesma função de onda), não obteremos sempre o mesmo resultado; a função de distribuição dos resultados das medidas será $|\Psi(x, t)|^2$. Se o pacote de ondas for estreito, a indeterminação da posição será pequena. Entretanto, as ondas harmônicas que formam um pacote de ondas estreito possuem muitos números de onda k . Como o momento está relacionado ao número de onda através da equação $p = \hbar k$, o pacote também possui muitos valores de momento. Sabemos que, para todos os pacotes de onda, existe a seguinte relação entre Δx e Δk .” (TIPLER; LLEWELLYN, 2014, p. 135).

Pode neste momento ser apresentado a fórmula, ou as fórmulas, que são derivadas desse conceitos e como elas complementam a ideia de incerteza:

Momento 16: Construção de um espectroscópio caseiro (30 min)

Dinâmica 16: Com uma caixa, um CD e fita, pode-se construir um espectroscópio simples, o qual foi utilizado para se conversar sobre a difração da luz branca e como o aparelho está relacionado com a teoria da Niels Bohr.

Momento 17: Redação de resumo sobre o assunto abordado.

Dinâmica 17: Foi deixado que os estuantes terminassem a redação do resumo sobre o que foi trabalhado na aula em casa, que foi entregue ao professor na próxima aula.

Momento 18: Recapitulação (30 min).

Dinâmica 18: Após a correção dos resumos dos estudantes foi realizada uma recapitulação de assuntos que ficaram nebulosos aos estudantes.

Momento 19: Aplicação do jogo Caminhos do Quantum (60 min).

Dinâmica 19: Neste momento foi aplicado o jogo com os estudantes, com grupos de no máximo 3 estudantes.

Referências

- CORRÊA, A. R., ARTHURY, L. H. M. **Afinal o que é Física Quântica? Uma história em quadrinhos para o uso no ensino médio.** Revista do Professor de Física, v. 5, n. 1, p. 70-96, Brasília, 2021. Instituto de Física - Universidade de Brasília.
- PESSOA, Osvaldo Jr. **Interferometria, Interpretação e Intuição: Uma Introdução Conceitual à Física Quântica.** Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 19, no 1, março, 1997.
- PESSOA, Osvaldo Jr. **Introdução histórica à teoria Quântica, aos seus Problemas de Fundamento e às suas Interpretações.** Caderno de Física da UEFS 04 (01 e 02): pág. 89-114, 2006.
- TIPLER, Paul A.; LLEWELLYN, Ralph A. **Física Moderna, 6ª edição.** [Digite o Local da Editora]: Grupo GEN, 2014. E-book. 978-85-216-2689-3. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/978-85-216-2689-3/>. Acesso em: 04 set. 2022.

APÊNDICE 2 – Regras e Perguntas do Caminhos do Quantum

Jogo:

Regras para o jogo

Itens necessários

Tabuleiro

Peões para cada jogador ou grupo

Dados

Perguntas impressas

De 3 a 9 jogadores, podendo ser um jogo individual, ou ainda um jogo em grupos de até três pessoas, visando uma distribuição igualitária dos jogadores.

Início

Cada jogador, ou equipe, deve escolher uma das figuras, ou peças, para representar no tabuleiro.

Os jogadores devem jogar o dado e verificar quem tirou o maior número, quem tirar o maior número começa, o segundo maior número será o segundo jogador, assim por diante.

Ao se definir a sequência de jogadores, ou equipes, deve se definir por qual caminho cada equipe seguirá. Existem três bifurcações no tabuleiro, de forma que deve se seguir cada um dos caminhos a depender da escolha de cada jogador, ou equipe. A primeira equipe pode escolher entre os três caminhos possíveis, a segunda equipe pode escolher um dos dois caminhos que sobraram, de forma que a terceira equipe ficará com o caminho que sobrar.

Devem ser separadas as perguntas em montes específicos pelos tipos de perguntas e cada equipe deve embaralhar um dos montes de perguntas de forma aleatória.

Cada jogador, ou equipe, deve jogar o dado e andar o número de casas que tirar no dado, assim que andar deve responder uma das perguntas sobre cada uma das regiões em que se encontra. A primeira região as perguntas a serem feitas deve ser sobre cientistas e curiosidades. Na segunda região, as perguntas são sobre os conceitos, por fim na terceira região do tabuleiro devem ser realizadas as perguntas históricas no último percurso do tabuleiro.

A cada rodada, cada jogador ou equipe tem o direito de jogar o dado e andar as casas de acordo com o número do dado, para poder se movimentar, algum dos jogadores adversários, ou equipes adversárias, deve pegar um card de perguntas da região em que se encontra o jogador, ou equipe, realizar a pergunta que consta no card.

Ao responder uma pergunta corretamente, o jogador, ou equipe, tem o direito andar o equivalente ao número de casas retirado no dado.

Após a pergunta realizada, tenha sido respondida de forma correta ou incorreta, o card deve ir para o fundo do monte de perguntas referente aquele tema.

São três bifurcações totais no jogo, no qual totalizam três montes de perguntas com áreas de saber da física quântica distintas. As perguntas devem ser realizadas por jogadores, ou equipes adversárias, quem realiza a pergunta é a equipe ou jogador anterior. De forma que se o jogador 2 irá realizar sua jogada, quem deve ler a pergunta é o jogador 1.

Qualquer dúvida de pergunta ou resposta, se ela está correta ou não, pode-se pedir auxílio do professor.

Recorde que o momento é de diversão e descontração da turma, se possível evitar desentendimentos e brigas. O jogo foi projetado com o intuito de uma dinâmica que tenta agregar de forma significativa o processo de ensino-aprendizagem da mecânica quântica.

Um bom jogo e uma ótima partida a todos.

Jogadores

Idade recomendada: a partir de 14 anos.

Número de jogadores: 3 a 9.

Perguntas

CIENTISTAS E CURIOSIDADES

1. Fui eu quem propôs a quantização da energia para explicar a radiação de corpo negro. Quem sou eu? R: Max Planck
2. Quais cientistas propuseram o modelo atômico planetário? R: Bohr-Rutherford
3. Qual físico propôs o princípio da incerteza? Werner Heisenberg
4. Cite pelo menos um nome ou sobrenome de um físico que contribuiu para a mecânica quântica. R: Schrodinger, Niels Bohr, Max Planck, Albert Einstein, Heisenberg, Rutherford...
5. Qual o nome do físico que teorizou sobre a Física Quântica sem possuir graduação na área e depois conseguiu um doutorado na área e continuou a estudar? R: de Broglie
6. O experimento de fenda dupla foi realizado primeiramente por qual cientista? R: Thomas Young
7. Depois da física, qual área científica mais se beneficiou dos conceitos da Mecânica Quântica? R: Química

8. Cite pelo menos uma área da ciência que são impactadas pela Mecânica Quântica. R: Biologia, química, física...
9. Qual físico explicou as raias espectrais como sendo resultado de transições energéticas dos elétrons no átomo? R: Niels Bohr
10. Práticas conhecidas como Coach Quântico, medicina quântica e psicologia quântica, são baseadas em física quântica? R: Não.
11. Cite ao menos um antigo filósofo grego a propor a existência de átomos? R: Leucipo e Demócrito.
12. O modelo atômico comumente conhecido de “Pudim de Passas” foi proposto por? R: Thomson
13. O modelo atômico comumente conhecido de “Bola de Bilhar” foi proposto por? R: Dalton
14. Quem foi o físico que propôs as leis gerais do eletromagnetismo? R: Maxwell
15. Eu propus que a maior parte da massa de um átomo está concentrada em um núcleo pequeno e denso em relação ao tamanho do átomo. Quem sou eu? R: Rutherford
16. Maurice e Louis de Broglie foram dois irmãos que influenciaram a teoria da mecânica quântica, qual deles estendeu a dualidade onda-partícula para toda a matéria? R: Louis

CONCEITOS

17. A dualidade onda-partícula produz efeitos perceptíveis em partículas fundamentais. Cite uma dessas partículas. R: Elétron, fóton...
18. O que o francês Louis de Broglie descobriu? R: Conceito de dualidade onda-partícula se estende para toda a matéria.
19. Fui eu que descobri uma constante famosa na quantização de energia, quem sou eu? R: Max Planck
20. Existe um motivo para chamarmos a área de estudo das partículas e subpartículas de mecânica quântica, o que significa a palavra Quantum? R: Quantidade discretas

21. Eu fui um físico que postulou sobre a Mecânica Quântica no início da teoria, teorizando que a energia em níveis atômicos seria discreta. Quem sou eu? R: Max Planck
22. Uma característica que difere a Mecânica Quântica é como a energia se propaga. De que forma ela se propaga? R: De forma discreta
23. Qual fenômeno foi observado no experimento da dupla fenda para se afirmar que partículas possuem também um comportamento ondulatório? R: Interferência
24. O fóton é uma partícula da família dos bósons, ele é uma partícula fundamental? R: Sim
25. O elétron é uma partícula da família dos léptons, ele é uma partícula fundamental? R: Sim
26. O próton é uma partícula da família dos hádrons, ele é uma partícula fundamental? R: não
27. Um processo teorizado por Niels Bohr é o de que um elétron ao ser excitado pode pular para uma camada eletrônica mais energética. Ao retornar para o seu estado anterior, o que acontece? R: Emissão de um fóton/luz.
28. O que teoriza o Princípio da Incerteza? R: Não é possível medir ao mesmo tempo o momento e a posição, ou energia e tempo, de uma partícula atômica.
29. Foi construído em sala um equipamento no qual se via um espectro de cores, qual a função do espectroscópio? R: Decompor a luz incidente.
30. Na fórmula de energia segundo a Mecânica Quântica, quem propôs a constante h , vista na fórmula $E = hf$? R: Max Planck
31. Rutherford foi um físico que contribuiu com teorias para o modelo atômico “planetário”, foi ele que descobriu o próton e o nêutron? R: Não, apenas o próton.
32. Consigo me dispersar em várias cores, igual o Arco-íris, quem sou eu? Luz Branca

HISTÓRIA

33. Qual foi o ano em que Albert Einstein publicou seus principais artigos sobre quântica e relatividade? R: 1905.
34. Em que ano Planck publicou a ideia de quantização? R: 1900.

35. Quem pensou no primeiro modelo atômico quantizado? R: Niels Bohr
36. Em que ano Bohr conseguiu explicar as linhas espectrais do hidrogênio?
R:1913
37. Em que ano Millikan confirmou a lei de Einstein para o efeito fotoelétrico? R:
1916
38. Em que ano Heisenberg chegou ao Princípio da incerteza? R: 1927
39. Em que ano Max Planck recebeu o Nobel de Física? R: 1917
40. Qual foi o ano que Einstein recebeu o prêmio Nobel? R: 1921
41. Por qual motivo começou-se a estudar a mecânica quântica? R:
Compreender a temperatura e radiação emitida por materiais.
42. A maioria dos cientistas que desenvolveram os modelos atômicos era de
físicos ou químicos? R: Físicos.
43. Em que ano o físico Thomas Young determinou o comportamento ondulatório
da luz? R: 1801
44. Em que ano Niel Bohr recebeu o Nobel de Física pelas descobertas das raias
espectrais? R: 1922

APÊNDICE 3 – Materiais de Apoio

Site para sugestão de materiais didáticos:

<https://www.vascak.cz/physicsanimations.php?l=pt>

<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/177850?show=full>

<http://nupic.fe.usp.br/projeto-materiais/fisica-moderna-no-ensino-medio/>

APÊNDICE 4 - Questionário

Pergunta 1	Comente como foi jogar “Caminhos do Quantum”.
Pergunta 2	Você teve alguma dificuldade ao longo de sua participação no jogo? Comente, se for o caso.
Pergunta 3	Como você vê o uso de jogos como esse no ensino de física?
Pergunta 4	Você tem alguma sugestão em relação ao jogo?