

APÊNDICE A: PRODUTO EDUCACIONAL

1. INTRODUÇÃO

Esse trabalho foi concebido a partir de reflexões sobre as necessidades de inovação e mudança de paradigma do atual currículo de Física das escolas de Ensino Médio. Este trabalho aborda tópicos da Física Quântica, dando ênfase aos métodos e técnicas inerentes à época em que foram desenvolvidos a partir de uma ruptura com a Física Clássica, possibilitando aos alunos, encontrar agentes motivadores no estudo da Física e a um melhor entendimento das inovações tecnológicas atuais, como afirmam Wagner Jardim, Andreia Guerra e Alvaro Chrispino (Jardim, Guerra & Chrispino,2011).

Segundo Nelson Studart são inúmeras as possibilidades para “ensinagem” da Física Quântica e esta não deve se limitar apenas a uma abordagem histórica como é feita tradicionalmente (Lobato & Greca, 2005) com temas sobre radiação de corpo negro, efeito fotoelétrico etc. (Studart, 2020). É possível dar ênfase puramente a Teoria Quântica, isto é, sem necessidade de relacionamento prévio com a Física Clássica, tampouco fazendo uso de rigor matemático. Este trabalho foi desenvolvido de acordo com esta premissa, realizando a abordagem dos temas, através da natureza quântica, facilitando a aplicação por parte dos professores.

A motivação deste trabalho é apresentar um produto educacional capaz de possibilitar o acesso os conceitos de Física Quântica tanto para alunos do Ensino Médio quanto para professores. Isso é feito a partir da aplicação de uma sequência de ensino-aprendizagem baseada em um design instrucional gamificado, de maneira a proporcionar oportunidades de obtenção do conhecimento através de estratégias de ensino que coloque o aluno como protagonista no processo de aprendizagem, possibilitando um aprendizado mais significativo e interdisciplinar.

2. O ENSINO DE QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO

A inserção dos conteúdos da chamada Física Moderna e Contemporânea à grade curricular do Ensino Médio é discutida há quase 30 anos, sem que ainda haja consenso em sua efetiva implementação. (Terrazzan, 1992). Neto et al (2019) reiteram que é preciso transformar o ensino de física que vem sendo oferecido nas escolas, contemplando tópicos atuais da Física (Física Quântica e a Física Relativística), que muito contribuíam para o desenvolvimento da ciência e de novas tecnologias no século passado.

Apesar de parecer complexa, a Teoria Quântica possui abordagens consideradas básicas que se encaixam no contexto do Ensino Médio, no entanto ela acaba sendo suprimida por conta da falta de literaturas e ausência nos livros didáticos, o que se reflete na motivação e na falta de preparo dos professores em abordá-la. Como professores, ao abrir mão de ensinar Física Quântica, contribuimos para estagnação de um currículo já desgastado e cada vez menos atraente aos estudantes. Por quê, então, não fazer diferente? Nelson Studart lista várias razões para introduzir a Física Quântica no EM.

“Direito do aluno à aprendizagem: física quântica (mundo na escala atômica) é tão básica quanto a física clássica (mundo macroscópico).

Conteúdos significativos possibilitam ao aluno uma compreensão do mundo atual. Há demanda na sociedade por este conhecimento.

Há diversas aplicações práticas da física quântica ao nosso redor. Por exemplo: A eletrônica moderna é baseada na estrutura de bandas de semicondutores. Estes estão presentes em computadores e celulares. Há também o uso de lasers, LEDs e nanotecnologia em geral.

Interdisciplinaridade: Aplicações da Química quântica e Biologia quântica (tunelamento, coerência e emaranhamento).

Conhecimento de quântica contribui para a formação do cidadão: Combate à pseudociência: misticismo quântico, cura quântica, entre outros.”

(Studart,2020).

Professor, não se preocupe, a Física Quântica é realmente difícil de se compreender à primeira vista, não à toa Richard Feynman afirmou: “Posso dizer seguramente que ninguém entende a Física Quântica”.

Dessa forma, para que a aplicação do produto seja mais confortável, sugerimos algumas leituras que contribuam para revisar conceitos de Física Quântica trabalhados e com isso, adquirir maior segurança quando usar esse material instrucional. Tais leituras estão disponíveis em: (Cassinello, 2017); (Feynman, 2008); (Kuttner & Rosenblum, 2017); (Pontes, 2019).

Recomendamos ainda que assista previamente aos vídeos sugeridos na sequência didática apresentada nesse trabalho, pois eles certamente irão auxiliar na construção da argumentação e embasamento teórico durante a aplicação.

3. PLANEJANDO E APLICANDO O MATERIAL INSTRUCIONAL

O produto foi concebido para ser aplicado de maneira presencial, remota ou híbrida. Caso o professor opte pela maneira remota ou híbrida, sugere-se a utilização de ambientes virtuais de aprendizagem (AVA) como o Google Classroom, Microsoft Teams, Moodle etc., para facilitar o envio das atividades, bem como a comunicação com os alunos.

A aplicação é dividida em cinco fases que representam o número total de encontros com a(s) turma(s), totalizando dez aulas. Dentro de cada fase há uma série de missões que os alunos deverão cumprir a fim de obter pontos de experiência, os quais serão convertidos em uma menção ao final da sequência de aulas. A distribuição dos pontos e formas de avaliação ficam a caráter do professor. Cada encontro tem duração aproximada de 100 minutos, o equivalente a duas aulas de 50 minutos em cada um.

No primeiro encontro deve ser feita uma abordagem investigativa a fim de verificar as concepções prévias dos alunos sobre o tema. No segundo encontro devem ser discutidos alguns fenômenos quânticos, dando ênfase a seu reconhecimento e interpretação a partir da aplicação de um roteiro investigativo. No terceiro encontro é onde, efetivamente, deve haver imersão na Física Quântica. Devem ser abordados alguns dos princípios fundamentais, como o da superposição, a descoerência e a complementaridade, permitindo discutir e conhecer os estados quânticos. No quarto encontro serão vistas aplicações e uso da Física Quântica de forma prática no cotidiano. Finalmente o último encontro é uma etapa de avaliação, tanto dos conhecimentos de Física adquiridos durante a aplicação, quanto da execução e aproveitamento da sequência didática.

O público-alvo para aplicação deste produto são alunos do Ensino Médio, em especial, alunos da segunda ou terceira série, uma vez que os conceitos desenvolvidos necessitam de um maior embasamento a respeito das teorias da Física posteriores àquelas contidas no produto

4. CONSTRUINDO A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Esse produto educacional foi elaborado objetivando a inserção dos tópicos de Física Quântica no ensino Médio. Ao todo, o produto prevê cinco fases (encontros com a turma) com o total de 9 aulas (duas a cada encontro), onde serão abordados tópicos relacionados a Física Quântica. O principal objetivo desta sequência é tornar acessível e possibilitar a inserção dos tópicos de Física Quântica aos alunos do Ensino Médio, visando sua compreensão e entendimento.

O produto é baseado na metodologia Design Based Research (DBR) e utiliza a Gamificação como estratégia de ensino, visando o desenvolvimento de valores, determinação e motivação aos alunos. Ao professor, é uma oportunidade de trabalhar com novas tecnologias, estratégias diferentes e motivadoras, rompendo com o “método tradicional”.

Fase 1 – Prólogo

- Objetivo: Identificar conhecimentos prévios em Física Quântica.
- Elementos de jogos: Utilização de avatares, formação de equipes, cumprimento de missões e distribuição de pontos.
- Tempo: 100 minutos (duas aulas)

Recomenda-se que o professor prepare o terreno para aplicação da sequência de aulas, a fim de que os alunos tenham em mente que se trata de uma metodologia diferenciada e de que é de extrema importância sua participação. É sugerido que na semana anterior à planejada para aplicação seja feita uma postagem aos alunos, ou, a divulgação de uma carta com o seguinte conteúdo:

“Durante as próximas semanas faremos aulas diferenciadas para abordar os conceitos da Física Quântica. Para isso, vamos utilizar alguns elementos de jogos como missões, pontos de experiência, desafios, competições e muito trabalho em equipe. A finalidade destas aulas é de que vocês possam aprender um dos conteúdos mais magníficos da Física de uma maneira que seja mais

leve e interessante a vocês, despertando sua motivação e interesse. Peço a colaboração e comprometimento de vocês para que encarem estas aulas como um verdadeiro aprendizado. Vamos nos reunir para que eu explique esta proposta com maiores detalhes.”

A fase 1 contempla as aulas iniciais onde o professor irá explicar aos alunos sobre o funcionamento do sistema gamificado, bem como os objetivos das sequências de aula. Além disso, o professor também irá explicar sobre as regras da gamificação e estrutura das missões. O grande objetivo da fase 1 é identificar o que os alunos entendem por Física Quântica, para tal, será feita uma etapa de reconhecimento de significados a fim de identificar as ideias prévias. Esta fase é dividida em duas missões: Reconhecimento de Território; Amigo estou aqui.

Após as explicações gerais sobre a sequência, o professor deverá iniciar a primeira missão, “Reconhecimento de Território”, onde os alunos serão iniciados na Física Quântica Para tal, deverão preencher um *word cloud* (Fig. 1) com as palavras que eles acreditam estar relacionadas ao assunto. Esta é uma etapa prévia, a qual o professor irá utilizar a participação dos alunos para fazer a introdução ao assunto. Após os alunos registrarem a participação, é mostrado a eles um vídeo sobre o surgimento da Física Quântica como forma de norteá-los no contexto histórico. É sugerido que após a exibição do vídeo, o professor teça comentários sobre o processo de surgimento e evolução da Física Quântica a nível de curiosidade, sem muitos detalhes, como forma a incentivar os próprios alunos buscarem a informação. Nesta missão os alunos serão pontuados mediante ao cumprimento da tarefa.



Escreva 5 palavras que lhe remetam sobre Física Quântica

Enter a word	25
Enter another word	25
Enter another word	25
Enter another word	25
Enter another word	25

Submit

Powered by Mentimeter Terms

Figura 1: Interface do aplicativo Mentimeter para criação da nuvem de palavras. Própria autoria

Para encerrar a fase 1, na missão “Amigo estou aqui” os alunos deverão montar a sua equipe, na qual farão as futuras missões em grupo. O professor deverá solicitar aos alunos que se dividam em grupos de seis participantes. A missão consiste em escolher os participantes da equipe e um avatar, ou símbolo, para ela. Serão distribuídos pontos mediante a entrega da relação de participantes e ao símbolo utilizado. Há também uma pontuação extra, caso a equipe crie seu próprio símbolo. Haverá perda de pontos caso sejam utilizados nomes ou imagens impróprias durante a missão e pelo envio tardio.

Fase 2 – Fenômenos Quânticos

- Objetivo: Identificar e interpretar fenômenos quânticos.
- Conceitos de Física abordados: Princípio da Incerteza, Efeito do observador e Superposição.
- Elementos de jogos: Exploração, colaboração, cumprimento de missões e distribuição de pontos.
- Recursos: Simuladores virtuais e vídeos.
- Tempo: 100 minutos (duas aulas)

A fase 2 refere-se ao contato inicial dos alunos com a Física Quântica, isto é, nesta fase é dada ênfase a observação e reconhecimento dos fenômenos quânticos. Devem ser trabalhos os seguintes tópicos: Princípio da Incerteza, Efeito do observador e Superposição. O principal objetivo da fase 2 é o de que os alunos consigam identificar e interpretar o comportamento dos fenômenos quânticos. Sugere-se a aplicação de duas missões: Investigando os Fenômenos Quânticos e Diário de Aula – Fase 2

A fase 2 se inicia com a missão “Investigando os Fenômenos Quânticos”. Essa missão consiste na exploração de um simulador virtual sobre o Interferômetro de Mach-Zehnder (Fig. 2) desenvolvido pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O simulador é obtido através da página <http://www.lief.if.ufrgs.br/~cjh/vmzi.html>.

O Interferômetro de Mach-Zehnder consiste em um arranjo de espelhos e divisores de feixes, através deste experimento é possível demonstrar e observar o comportamento quântico dos fótons.

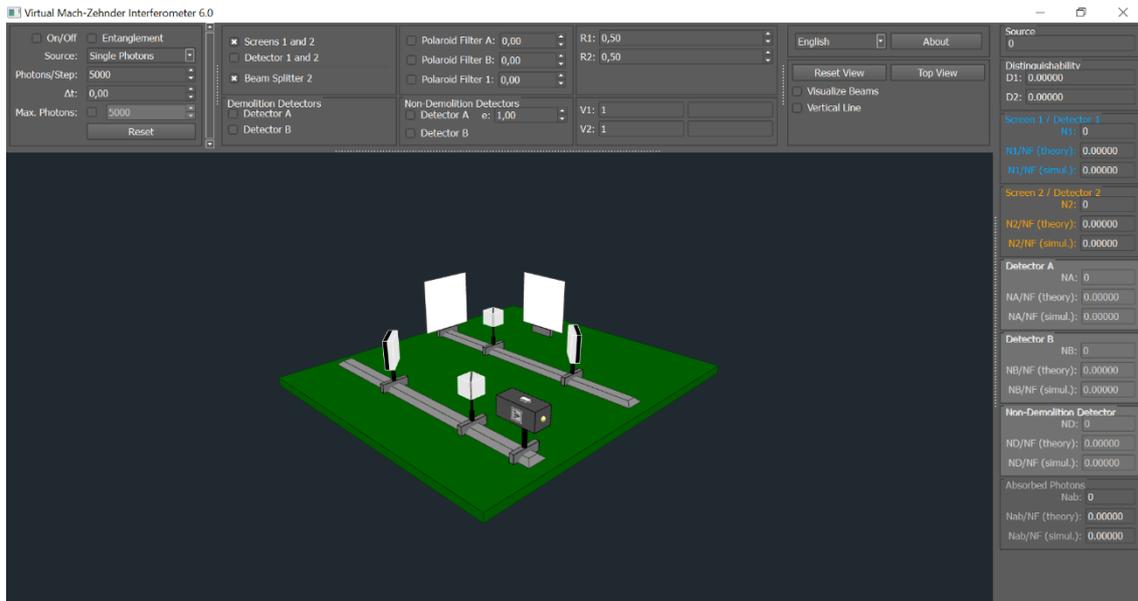


Figura 2: Interface do simulador do Interferômetro de Mach-Zehnder. Própria autoria

Os grupos deverão se reunir de maneira assíncrona e realizar um roteiro de exploração deste simulador, como etapa inicial desta segunda fase. As equipes deverão acessar o roteiro de exploração disponível na tarefa criada no Microsoft Teams. Um modelo de atividade pode ser encontrado no apêndice A deste material. Posteriormente, sugere-se que o professor e os alunos se reúnam para um encontro síncrono. Durante este encontro, o professor deve propor a explicação dos fenômenos observados na execução do roteiro, a partir da exibição de um experimento de dupla fenda, construindo uma discussão com os alunos.

O professor deve iniciar a discussão acessando a página da fabricante de eletrônicos Hitachi, mostrando um experimento de dupla fenda (Fig. 3) realizada pela empresa, tal experimento permite explorar o comportamento quântico da matéria. Na sequência, são sugeridos alguns vídeos explicativos sobre os experimentos observados, a fim de fomentar a discussão e comentários entre o professor e os alunos.

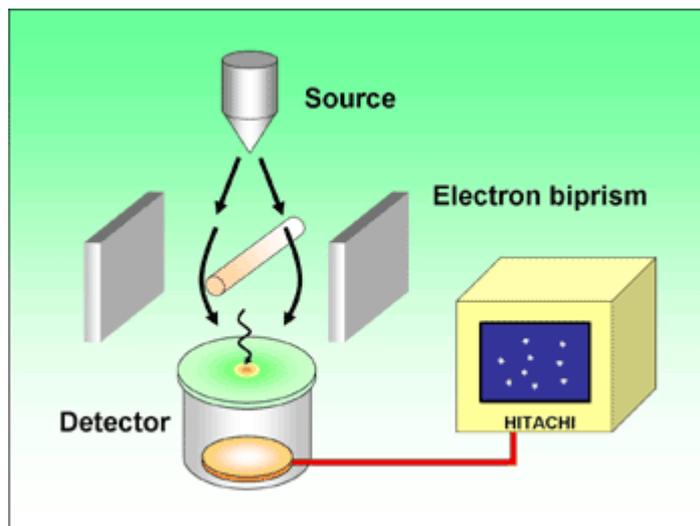


Figura 3: O experimento da dupla fenda com elétrons individuais. (Tonomura, s/d)

O primeiro vídeo se trata de uma animação que mostra os diversos padrões (Fig. 4) que podem ser obtidos pelo experimento da dupla fenda, tanto com partículas, quanto ondas, além de mostrar a mesma situação para objetos quânticos. Este vídeo pode ser utilizado para fazer a explicação do porquê ocorre a alteração do padrão de interferência projetado em um anteparo ao ser colocado um detector. O vídeo está disponível em (Broboff, 2012).

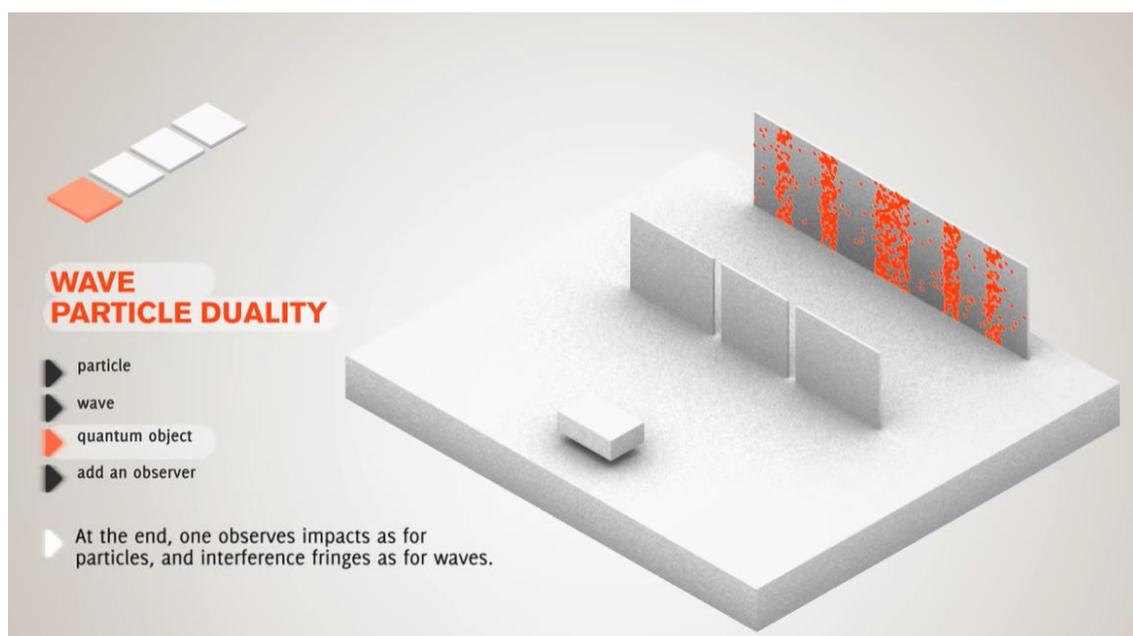


Figura 4: As animações reproduzidas no vídeo para diversas situações: partícula, onda, objeto quântico e adição de um observador. (Broboff, 2012)

O segundo vídeo é uma matéria do canal BBC sobre a Física Quântica. Nele, é explicada de forma simples algumas ideias da Física Quântica, bem como sua aplicação

em situações presentes em nossa vida. A exibição do vídeo tem a finalidade de mostrar a diferença entre a interpretação de fenômenos a nível microscópico e a nível macroscópico. O vídeo está disponível em (Barifuse, 2020).

O terceiro vídeo consiste na explicação sobre o Princípio da Incerteza e pode ser usado para explicar a imprevisibilidade dos fótons ao incidir sobre o anteparo, formando padrões totalmente aleatórios. O vídeo está disponível em (Orzel, 2014).

O professor deverá exibir os vídeos, tecendo comentários que relacionam a prática realizada no simulador com o conteúdo assistido, estimulando uma discussão junto aos alunos. A distribuição dos pontos desta missão ocorrerá mediante ao cumprimento das etapas do roteiro, bem como a objetividade, clareza e coesão das ideias apresentadas na entrega.

Para encerrar a fase 2, sugere-se que os grupos participem de uma missão online denominada “Diário de Aula – Fase 2”, onde será construído um relato descritivo sobre o segundo encontro. O diário possui finalidade de auto avaliação aos alunos, servindo para: revisar o entendimento sobre os conhecimentos trabalhados neste encontro, avaliar a disposição e execução do trabalho em grupo. Ao professor, o diário servirá como avaliação, distribuindo a pontuação mediante ao conteúdo entregue. Os pontos serão distribuídos mediante a coerência e organização na transcrição do raciocínio e das ideias desenvolvidas, e, ao cumprimento do prazo para postagem do diário.

Fase 3 – Alicerces da Física Quântica

- Objetivo: Conhecer Estados Quânticos.
- Conceitos de Física abordados: Experimento de Schrödinger, Superposição de estados quânticos, Notação de Dirac, complementaridade e descoerência.
- Elementos de jogos: Colaboração, Competição, cumprimento de missões e distribuição de pontos.
- Recursos: Jogo *Schrödinger's Cats*, formulários virtuais e vídeos.
- Tempo: 100 minutos (duas aulas)

A fase 3 contempla o embasamento teórico sobre a Física Quântica, isto é, onde serão apresentados tópicos como o Experimento de Schrödinger, a Superposição de estados quânticos, a Notação de Dirac, complementaridade e descoerência. O objetivo principal da fase 3 é de que os alunos consigam conhecer os Estados dos sistemas

Quânticos, introduzindo os tópicos previstos a partir das discussões propostas no encontro. Sugerem-se para este encontro as missões: Gatos em caixas, gatos em cartas e Diário de aula – Fase 3;

No início do encontro o professor deverá propor uma questão conceitual, através do Google *Forms*, onde os alunos deverão explicar o significado de uma imagem que envolve a representação de Estados Quânticos (Fig. 5). A participação nesta atividade renderá uma bonificação de pontos aos alunos. O professor deverá enviar o link para os alunos participarem.

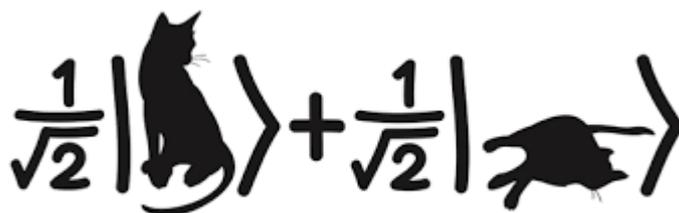


Figura 5: A imagem cujo significado deverá ser explicado através do formulário online. (Elerman, 2017)

Após os alunos enviarem o formulário, o professor deverá iniciar a discussão mostrando as respostas dadas. Elas servirão como embasamento à abordagem da Superposição de Estados Quânticos e da Notação de Dirac. É pertinente destacar e comentar respostas que se aproximem do significado da imagem, utilizando como motivação à sua explicação correta. Serão exibidos vídeos para auxiliar a fomentar a discussão. O primeiro deles tem a finalidade de explicar o teor do experimento de Schrödinger, dando ênfase à crítica feita pelo cientista ao propor a situação imaginária. Sugere-se a exibição do vídeo disponível em (Reich, 2013). No vídeo a seguir, a finalidade é a explicação dos Estados de Superposição e de que como a observação “quebra” a coerência entre os estados. Sugere-se a exibição do vídeo do professor Christopher Monroe do Instituto de Computação Quântica (Monroe, 2011). Por fim, o último vídeo tem a finalidade de explicar a notação utilizada na imagem do formulário, a chamada notação de Dirac ou “notação Bra-Ket”. Sugere-se a exibição do vídeo explicativo (Cohen, 2016), onde o professor pode fazer pausas para realizar as explicações pertinentes.

Em seguida, sugere-se a aplicação de uma missão bônus, denominada “Gatos em caixas, gatos em cartas”, nela, serão disputadas partidas entre as equipes no jogo virtual *Schrödinger's Cats*. O jogo (Fig. 6) permite ao professor explorar e explicar o

experimento mental proposto por Erwin Schrödinger, conhecido como “Gato de Schrödinger”, enfatizando o conceito da Superposição. O *game* pode ser jogado online, com duas a seis pessoas.



Figura 6: Ambiente do jogo *Schrödinger's Cats*. Captura de tela obtida no ambiente do jogo.

O professor deverá detalhar a missão bônus, primeiramente mostrando o ambiente do jogo e depois explicando suas regras. As regras estão disponíveis na página do desenvolvedor do jogo (Stowe, 2015).

Os grupos deverão se enfrentar em três rodadas de maneira assíncrona, isto é, fora do horário da aula, registrando o histórico das rodadas disputadas. Um modelo da ficha de jogo pode ser encontrado no apêndice C deste material. Ao final das disputas, cada grupo deverá entregar ao professor uma tabela contendo a classificação de cada rodada. Sugere-se a seguinte distribuição de pontos a cada rodada:

Classificação	Pontuação
1ºLugar	25 pontos
2ºLugar	20 pontos
3ºLugar	15 pontos
4ºLugar	10 pontos
5ºLugar	5 pontos
6ºLugar	5 pontos

Para encerrar esta fase, sugere-se que o professor proponha a missão “Diário de Aula – Fase 3”, de forma online, onde os grupos deverão associar situações do mundo macroscópico à superposição de estados, semelhante àquilo proposto por Schrödinger com o experimento mental do gato. Nesta missão, os grupos também deverão fazer a representação de estados de algumas situações utilizando a notação de Dirac. O arquivo para realização da missão será disponibilizado no AVA e renderá pontos às equipes que cumprirem os requisitos necessários, são eles: pontualidade, clareza e organização. Um modelo da atividade pode ser encontrado no apêndice B deste material.

Fase 4 – Física Quântica aplicada

- Objetivo: Reconhecer aplicações da Física Quântica.
- Conceitos de Física abordados: Emaranhamento, Computação Quântica, Teleporte Quântico, Teoria dos Multiversos, Criptografia Quântica e Biologia Quântica.
- Elementos de jogos: Colaboração, realização, cumprimento de missões e distribuição de pontos.
- Recursos: Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA);
- Tempo: 100 minutos (duas aulas)

A fase 4 contempla a etapa de reconhecimento dos conteúdos estudados previamente, em aplicações da Física Quântica nas mais diversas áreas do conhecimento. Para isso, sugerem-se as missões: Física Quântica aplicada e Diário de aula – Fase 4.

A missão “Física Quântica aplicada” é uma atividade prospectiva que deve ser anunciada ao final do primeiro encontro. No entanto, seu cumprimento se dará efetivamente durante a fase 4, onde os grupos deverão apresentar vídeos envolvendo algumas aplicações da Física Quântica. Nesta missão serão desenvolvidos vídeos de até oito minutos sobre temas sugeridos pelo professor. Alguns temas (Fig. 7) que podem ser trabalhados são: Emaranhamento, Teleporte Quântico, Computação Quântica,

Multiversos Quânticos, Criptografia Quântica, Biologia Quântica. Os temas serão escolhidos previamente pelos grupos durante o segundo encontro, onde deverão preencher uma planilha virtual com sua escolha.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1									
2	Tema	Grupo Responsável							
3	Biologia Quântica								
4	Computação Quântica								
5	Criptografia Quântica								
6	Emaranhamento Quântico								
7	Multiversos Quânticos								
8	Teleporte Quântico								
9									
10									
11									

Figura 7: Sugestão de temas a serem abordados nos vídeos. Própria Autoria.

Os grupos têm a autonomia de desenvolver o trabalho de maneira livre, isto é, utilizando os recursos e metodologias que desejarem. O objetivo é permitir total liberdade para os grupos abordarem o tema escolhido utilizando criatividade e originalidade. Os grupos serão pontuados de acordo com a qualidade do trabalho e fidelidade ao tema escolhido.

De forma online, sugere-se que os alunos participem da missão “Diário de Aula – Fase 4”. Nesta missão, as equipes deverão construir um texto colaborativo, adaptando conceitualmente para Física Quântica uma famosa história que Richard Feynman contava aos seus alunos como forma de exemplificar alguns conceitos básicos da Física. O texto da atividade pode ser encontrado no apêndice D deste material. Nesta missão, as equipes deverão utilizar os princípios trabalhados durante os encontros anteriores, para adaptar a narrativa. Para auxiliá-los na construção do texto, o professor deve sugerir alguns vídeos sobre os temas (Loos, 2020) (Guisoli, 2018). Os pontos serão distribuídos a partir da análise de aspectos sobre a construção do texto, entre os quais: Criatividade e coerência, Relação com a Teoria Quântica e originalidade.

Fase 5 – Avaliação

- Objetivo: Avaliar o conhecimento individual e aproveitamento do curso.
- Conceitos de Física abordados: Princípio da Incerteza, Superposição de Estados, Distribuições de probabilidade, pacotes de onda.

- Elementos de jogos: Realização, cumprimento de missões e distribuição de pontos.
- Tempo: 50 minutos (uma aula)

A fase 5 contempla a etapa de avaliação dos conteúdos desenvolvidos, bem como a avaliação do aproveitamento do curso como um todo. Sugere-se o desenvolvimento das missões: Questionário Conceitual sobre a Física Quântica; Autoavaliação e Feedback.

A missão “Questionário Conceitual sobre a Física Quântica” é uma atividade de avaliação sobre o conhecimento individual de cada aluno, a respeito dos conteúdos desenvolvidos durante o curso. Será feita a aplicação de um questionário conceitual elaborado a partir de uma adaptação dos questionários⁶ *Quantum Physics Conceptual Survey* (QPCS)⁷ e *Quantum Mechanics Conceptual Survey* (QMCS)⁸, desenvolvidos pelos pesquisadores Sam McKagan, Kathy Perkins e Carl Wieman. O questionário (Fig. 8) tem como finalidade medir a eficácia de diferentes métodos de ensino para melhorar a compreensão conceitual dos alunos sobre a Física Quântica. Serão distribuídos pontos aos alunos que realizarem a entrega, isto é, eles não serão avaliados pela pontuação obtida no questionário e sim pela participação individual.

⁶ É necessário realizar um cadastro como professor na página <https://www.physport.org/>, a fim de obter acesso aos questionários.

⁷ Questões utilizadas: 4;5;6;7;15;16;17;18;19;20;21;22;23;24 e 25

⁸ Questão utilizada: 12

Questionário Conceitual sobre Física Quântica

Faça login no Google para salvar o que você já preencheu. Saiba mais

*Obrigatório

Você realiza uma simulação através do Interferômetro de Mach-Zehnder, 1 ponto incidindo fótons individualmente a partir de uma fonte. Um detector é colocado entre primeiro divisor de feixes e o espelho 1. No anteparo, obtemos o padrão a seguir. Com base na Interpretação de Copenhague, selecione a alternativa que melhor descreve o comportamento da trajetória dos fótons ao deixar a fonte emissora. *

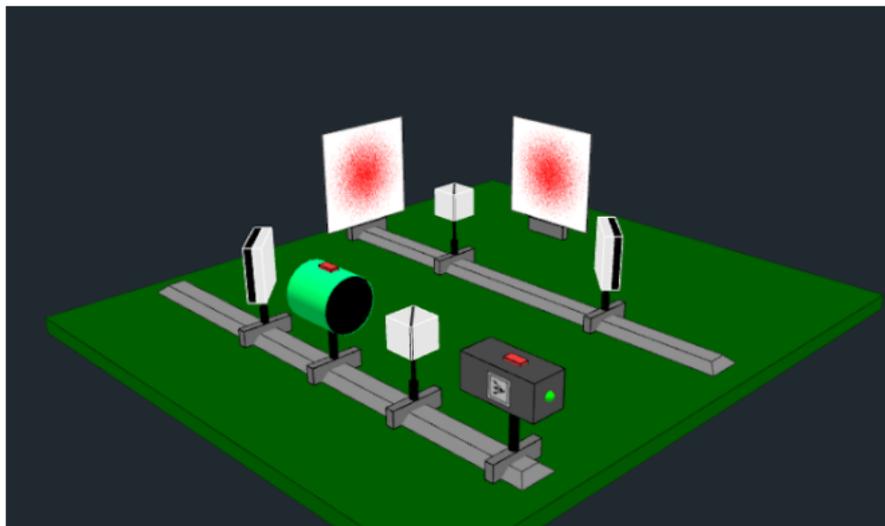


Figura 8: A adaptação dos questionários QPCS e QMCS feita através do *Google Forms*. Própria autoria

Após a conclusão do questionário, os alunos deverão participar da missão “Autoavaliação e Feedback, como forma de auto avaliarem sua participação, interesse e aprendizado durante o curso. Esta missão tem a finalidade de avaliar aspectos inerentes a organização, sequência e execução do curso, evidenciando seu aproveitamento ao professor. Os alunos são pontuados pela entrega do formulário de autoavaliação (Fig. 9). Este formulário não deve exigir o nome dos alunos, de maneira que a avaliação do curso seja feita de maneira anônima.

Autoavaliação e Feedback

Formulário destinado a pesquisa de autoavaliação e feedback sobre o curso de Física Quântica

***Obrigatório**

Avalie seu nível de conhecimento sobre o tema "Física Quântica", antes da realização do curso. *

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Comente sobre a nota acima. *

Sua resposta _____

Avalie seu nível de conhecimento sobre o tema "Física Quântica", após a realização do curso. *

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Figura 9: O formulário de autoavaliação e feedback. Própria autoria

Ao término da última missão, sugere-se que o professor divulgue a pontuação total aos alunos, através de uma planilha contendo a distribuição destes pontos no decorrer das missões realizadas. A planilha pode ser montada através do Microsoft Excel e servirá como controle das missões no decorrer da aplicação da sequência.

5. CONCLUSÕES

O material aqui apresentado foi fruto do trabalho no Programa de Pós-Graduação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), no polo da Universidade Federal do ABC, sob a orientação do Prof. Dr. Nelson Studart. Detalhes do desenvolvimento, estratégias utilizadas, bem como a descrição de todas as atividades utilizadas e o relato da aplicação deste produto podem ser encontrados na dissertação de Juan Carlos Valentas Romera.

Vale lembrar que todo material descrito pode ser aplicado de forma *ipsis litteris* ou então adaptado para qualquer realidade ou contexto educacional, cabendo ao professor realizar adaptações e ajustes necessários aos seus alunos. Espero que ele possa contribuir para a melhoria de sua prática docente encorajando-o (a) inserir a Física Quântica em seu contexto de ensino.

REFERÊNCIAS

Barifouse, R. O que é e para que serve a física quântica. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=AYXzh5Toguc>. Acesso em: 27 de fev. de 2022.

Bobroff, J. Wave Particle Duality. 2012. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=qCmtegdqOOA>. Acesso em: 27 de fev. de 2022.

Cassinello, A. O Mistério Quântico. Editoria Crítica, 2017

Cavalcanti, C. J. H, Ostermann, F. Netto, J.S., Lima, N.W. Teaching wave-particle complementarity using the Virtual Mach-Zehnder Interferometer. Revista Brasileira de Ensino de Física, Vol. 42. 2020.

Cohen, S. Introducing Bra and Ket. 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ZmyHkc9tPMQ>. Acesso em: 01 de mar. de 2022.

Elerman, D. Schrödinger's cat state vector. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Schroedingers-cat-state-vector_fig6_312892328. Acesso em: 01 de mar. de 2022.

Feynman, R.P. Lições de Física. Volume 1, Capítulo 37. Bookman, 2008

Gefter, A. A Private View of Quantum Reality. 04 de junho de 2015. Disponível em: <https://www.quantamagazine.org/quantum-bayesianism-explained-by-its-%20founder-20150604/>. Acesso em: 23 de fev. de 2022.

Guisoli, F. O Gato de Schrödinger e a Física Quântica. 2018. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=DyB-6Ke5fPk>. Acesso em: 01 de mar. de 2022.

Harrison, D.M. Schrödinger's Cat. 15 de março de 2007. Disponível em: <https://faraday.physics.utoronto.ca/PVB/Harrison/SchrodCat/SchrodCat.html>. Acesso em: 23 de fev. de 2022.

- Jardim, W. T.; Guerra, A.; Chrispino, A. Revisão de bibliografia: Física Moderna e sua relevância no Ensino Médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 18., 2011, Manaus. Atas. 2011
- Kuttner, F. Rosenblum, B. O enigma quântico: O encontro da física com a consciência. Editora Zahar, 2017.
- Lobato, T. Greca, I. M. Análise da inserção de conteúdos de teoria quântica.
- Loos, P. O Princípio da Incerteza Explicado. 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=DzfU9Xtu2-A>. Acesso em: 01 de mar. de 2022.
- Mckagan, S. Perkins, K. Wieman, C. Quantum Mechanics Conceptual Survey. 2009.
- Mckagan, S. Perkins, K. Wieman, C. Quantum Physics Conceptual Survey. 2009.
- Mckenney, S., Reeves, T.C. Systematic review of design-based research progress: Is a little knowledge a dangerous thing? Educational Researcher, v. 42, n. 2, 97-100 (2013).
- Mesquita, L., Brockington, G., Testoni, L.A., Studart, N. Metodologia do Design Educacional no Desenvolvimento de sequências de ensino e aprendizagem no ensino de Física. Rev. Bras. Ens. Fís. 43, e20200443 (2021)
- Monroe, C. INSTITUTE FOR QUANTUM COMPUTING. Quantum Mechanics: Two Rules and No Math. 2011. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=CC7nlBM2cSM>. Acesso em: 01 de mar. de 2022.
- Netto, J. G. P., de Oliveira, A.N., Siqueira, M. C. A. Ensino de Física moderna e contemporânea no Ensino Médio: o que pensam os envolvidos? ScientiaTec: Revista de Educação, Ciência e Tecnologia do IFRS, v.6, n.1, p: 65-89, Janeiro/Junho 2019.
- Orzel, C. O que é o Princípio da Incerteza de Heisenberg?. 2014. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=TQKELOE9eY4>. Acesso em: 27 de fev. de 2022.
- Ostermann, F. Prado, S. D. Interpretações da mecânica quântica em um interferômetro virtual de Mach-Zehnder. Revista Brasileira de Ensino de Física, Vol. 27, pág. 193. 2005.
- Pontes, R. G. Ondas, Partículas e Luz: Uma Abordagem Fenomenológica. Dissertação de Mestrado (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2019.
- Reich, H. O que é o Gato de Schrödinger? | Minuto da Física. 2013. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=ndZl7L_ciAQ. Acesso em: 01 de mar. de 2022.
- Stowe, J. SCHRÖDINGER'S CAT. Disponível em: <https://boardgamearena.com/lobby?game=1296>. Acesso em: 01 de mar. de 2022.
- Stowe, J. SCHRÖDINGER'S CAT RULES. Disponível em: https://www.dropbox.com/s/8qg9m9nzyatzpo/SCATS_Gamma_Playtest_Rules_01152015.pdf?dl=0. Acesso em: 01 de mar. de 2022.
- Studart, N. A gamificação como design instrucional. Rev. Bras. Ensino Fís. Vol. 44 , e20210362, 2022.

Studart, N. Desafios e Possibilidades da “Ensinaagem” de Quântica no Ensino Médio. Workshop MNPEF – UFABC – 2020. Disponível em: <https://youtu.be/Dn7-2YOPxhA>. Acesso em: 07 de mar. de 2022.

Terrazzan, E.A. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. Caderno Catarinense de Ensino de Física 9, 209 (1992).

Tonomura, A. Double-slit experiment. Disponível em: <https://www.hitachi.com/rd/research/materials/quantum/doubleslit/index.html>. Acesso em: 27 de fev. de 2022.

Turok, N. The Origin of Quantum Mechanics (feat. Neil Turok). 2012. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=i1TVZIBj7UA>. Acesso em: 27 de fev. de 2022.