

## Conceitos de Mecânica Quântica para o Ensino Médio por meio de um jogo de tabuleiro

### Quantum mechanics concepts for high school by means of a board game

### Conceptos de Mecánica Cuántica para Bachillerato a través de un juego de mesa

Wilton Souza Sampaio<sup>1\*</sup>, Diego Araujo Frota<sup>2\*\*</sup>

#### Resumo

O presente artigo traz um relato de experiência da aplicação de um produto educacional desenvolvido no programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. O objetivo deste trabalho foi avaliar a efetividade da utilização, no contexto da Educação Básica, do produto educacional, cujo elemento central é um jogo de tabuleiro. Intitulado Mundo Quântico, ele aborda conceitos introdutórios de Mecânica Quântica. Tanto a construção como a aplicação do produto e posterior análise de resultados foi baseada na Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud. A partir da sua aplicação, foi possível constatar que a utilização do jogo nas aulas despertou o interesse dos estudantes em participar das atividades. Observou-se ainda que alguns estudantes mostraram compreender os conceitos quânticos apresentados no jogo, um indicio da ocorrência de aprendizagem. Os resultados obtidos neste trabalho podem vir a contribuir para o desenvolvimento de futuras pesquisas que consistam na utilização de jogos no ensino de Física.

**Palavras-chave:** ensino; mecânica quântica; jogo de tabuleiro.

#### Abstract

In this article we present an experience report an educational product's application, developed at the National Professional Master's Program in Physics Teaching. The aim of this work was to evaluate the effectiveness of the product, whose central element is a board game, in the context of Basic Education. Called Quantum World, it addresses introductory concepts of Quantum Mechanics. Its construction, application and the subsequently analysis were based on Gérard Vergnaud's Theory of Conceptual Fields. It was possible to verify that the use of the game in classes increase students' participation in the proposed activities. It was also observed that some students showed understanding of the quantum mechanics concepts addressed in the game, at the level at which they were presented, indicating learn possibilities. The results obtained in this work may contribute to the development of future research involving the use of games in Physics teaching.

**Keywords:** teaching; quantum mechanics; board games.

#### Resumen

<sup>1\*</sup> Mestre em Ensino de Física pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). Docente no Curso de Licenciatura em Física da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), Sobral, Ceará, Brasil. Av. Padre Francisco Sadoc de Araújo, 850, Campus da Betânia, Sobral, Ceará, Brasil, CEP: 62.040-370. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5317-6059>. Lattes: <https://lattes.cnpq.br/3014214446698514>. E-mail: [wiltonsouzazasampaio@gmail.com](mailto:wiltonsouzazasampaio@gmail.com).

<sup>2\*\*</sup> Doutor em Física pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Docente no Curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Sobral, Ceará, Brasil. Docente do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) – polo 56. Endereço para correspondência: Av. Dr. Guarani, 317, Sobral, Ceará, Brasil, CEP: 62042-030. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4381-1044>. Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4895203791998053>. E-mail: [diego.frota@ifce.edu.br](mailto:diego.frota@ifce.edu.br).

Este artículo presenta un relato de experiencia sobre la aplicación de un producto educativo desarrollado en la Maestría Nacional Profesional en Enseñanza de la Física. El objetivo de este trabajo fue evaluar la efectividad de la utilización, en el contexto de la Educación Básica, del producto, cuyo elemento central es un juego de mesa. Titulado Quantum World, cubre conceptos introductorios de la Mecánica Cuántica. Tanto la construcción como aplicación del producto y posterior análisis de resultados se basaron en la Teoría Conceptual de Campos de Gérard Vergnaud. A partir de su aplicación se pudo comprobar que el uso del juego en las clases despertó el interés de los estudiantes por participar en las actividades. También se observó que algunos estudiantes demostraron comprender los conceptos cuánticos presentados en el juego, un indicio de que se está produciendo un aprendizaje. Los resultados obtenidos en este trabajo podrán contribuir al desarrollo de futuras investigaciones que consistan en el uso de juegos en la enseñanza de la Física.

**Palabras clave:** enseñanza; mecánica cuántica; juego de mesa.

## Introdução

A elaboração dos currículos escolares leva em conta que “será necessário sempre fazer escolhas em relação ao que é mais importante ou fundamental, estabelecendo para isso referências apropriadas” (Brasil, 2002, p. 61). No âmbito da disciplina de Física, não é difícil perceber que é comum haver forte ênfase na Física Clássica em detrimento da Física Moderna e Contemporânea. No entanto, não há justificativa plausível para tal. Se tomarmos como referência as aplicações no cotidiano, a Mecânica Quântica (MQ), por exemplo, tem grande importância na atualidade, trazendo contribuições indispensáveis à tecnologia presente no dia a dia, como a dos nossos celulares, computadores etc, justificando sua importância também no currículo escolar.

Nesse contexto, o presente trabalho se dedica a analisar os resultados da aplicação, no Ensino Médio, de um Produto Educacional desenvolvido no âmbito do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF). O produto trata-se de um jogo de tabuleiro, cujas regras se baseiam em alguns conceitos introdutórios de MQ, como: partícula quântica, tunelamento quântico e comportamento probabilístico de sistemas quânticos.

Nos últimos anos, a gamificação tem se mostrado estratégia eficaz para o ensino e a aprendizagem, promovendo maior engajamento, motivação e retenção de conhecimento (Alves, 2022). Ela tem potencial de transformar a dinâmica de sala de aula, tornando o processo de aprendizagem mais interativo e prazeroso. Deterding *et al.* (2011), argumentam que a gamificação utiliza elementos de jogos em contextos não lúdicos para melhorar a experiência do usuário e promover a resolução de problemas. Em sala de aula, essa abordagem pode incentivar a participação ativa dos alunos, aumentar a colaboração e promover uma compreensão mais profunda dos conteúdos (Hamari, 2014).

Portanto, a inserção de jogos educativos, como o Mundo Quântico, não só facilitam a introdução de conceitos complexos, como os de MQ, bem como alavancam competências refinadas para a solução de problemas.

A construção e a aplicação do Produto Educacional, bem como a análise posterior dos resultados, são feitas com base em teorias construtivistas da educação, com ênfase especial na Teoria dos Campos Conceituais (TCC) de Gérard Vergnaud. Na TCC, entende-se que aprendizagem de conceitos se dá através da vivência de várias situações associadas a esses conceitos. O jogo Mundo Quântico, componente principal do nosso Produto Educacional, possibilita aos jogadores experimentarem diversas situações envolvendo conceitos introdutórios de MQ. Além disso, a Teoria de Vergnaud traz ainda o conceito de Invariante Operatório, que, implicitamente, orienta a análise de dados deste trabalho.

O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar a efetividade da proposta, já mencionada, de inserção de MQ na EB. Para fazer essa avaliação, o Produto Educacional abordado ao longo deste trabalho foi aplicado em turmas de 3º ano do Ensino Médio, possibilitando a coleta e a análise de dados. Além disso, esta pesquisa teve ainda como objetivos específicos: avaliar a qualidade do Produto Educacional, enquanto jogo de tabuleiro e ferramenta pedagógica; estudar o processo de aprendizagem dos alunos após e ao longo da aplicação do produto; conduzir os estudantes à aprendizagem dos conceitos de MQ presentes no jogo, de acordo com o nível de profundidade em que serão abordados.

### **Teoria dos Campos Conceituais e o Ensino de Física**

A Teoria dos Campos Conceituais supõe que o desenvolvimento cognitivo se dá quando o indivíduo conceitualiza o mundo externo, ou seja, internaliza as coisas reais através de conceitos. A TCC está interessada não só no processo de conceitualização do real, mas também no domínio dos campos conceituais já estabelecidos. “Para Vergnaud, o conhecimento está organizado em campos conceituais, cujo domínio, de parte do aprendiz, ocorre ao longo de um largo período de tempo, através de experiência, maturidade e aprendizagem” (Moreira, 2002, p. 16).

Vergnaud, define campos conceituais de algumas formas, mas sempre na mesma linha de pensamento. Pode-se considerar, “primeiramente, um campo conceitual como um conjunto de situações” (Vergnaud *et al.*, 1993, p. 9). Para Moreira (2002, p. 11), é um conjunto

de situações “cujo domínio requer o domínio de conceitos de várias naturezas distintas”. Diante dessas falas, evidencia-se a complexidade de um campo conceitual, visto que este contém um conjunto de situações cujo tratamento depende de um conjunto de conceitos, ao mesmo tempo que os conceitos dependem de um conjunto de situações que lhes atribuam sentido.

O processo de domínio dos campos conceituais é de vital importância para a relação aluno-professor. Nas palavras de Moreira (2002, p. 17), a TCC:

Considera o professor como importante mediador no longo processo que caracteriza o progressivo domínio de um campo conceitual pelo aluno. Sua tarefa consiste principalmente em ajudar o aluno a desenvolver seu repertório de esquemas e representações (Moreira, 2002, p.17).

A TCC foi elaborada no contexto do ensino de matemática, mas se aplica muito bem ao ensino de ciências em geral, fornecendo boa base teórica para as pesquisas em ensino de Física. A pesquisa de Sousa, Moreira e Matheus (2005), por exemplo, analisa o desempenho de uma turma de alunos de Física do ensino superior, estudando Eletromagnetismo de forma experimental, à luz da TCC. Ao longo da pesquisa, os autores utilizaram a seguinte metodologia:

[...] no início de cada aula, então, a docente da turma apresentou uma introdução teórica, explicitando os conceitos que seriam abordados no experimento e, ao final de cada experimento, foi aplicado um teste constando de um conjunto de questões. Tais questões consistiam de situações-problema diferentes daquelas propostas durante a realização dos experimentos, mas sem fugir do aporte teórico abordado em sala de aula. Essas questões foram elaboradas com a intenção de que provocassem a explicitação de invariantes operatórios utilizados pelos alunos para resolver a situação-problema experimental proposta em cada experimento (Sousa; Moreira; Matheus, 2005, p. 64).

A apresentação dos conceitos feita pela professora serviu como fundamento para as práticas experimentais que viriam a ser realizadas pelos alunos. Mas a compreensão real dos conceitos se daria apenas com as situações-problema com que esses estudantes se deparariam. Para poder julgar se os alunos entenderam ou não os conceitos pertinentes a cada experimento, os pesquisadores analisaram as respostas dos alunos às situações-problema, buscando também identificar possíveis invariantes operatórios nessas respostas.

Segundo Beck e Silva (2020, p. 302), “os invariantes operatórios constituem os significados atribuídos ao conceito pelo sujeito, ou seja, eles constituem a forma como o pensamento se organiza em esquemas de ação”. Através da explicitação de possíveis

invariantes operatórios, os estudantes forneceriam aos pesquisadores material para o estudo dos processos cognitivos.

A pretensão dos pesquisadores era trabalhar apenas no contexto do eletromagnetismo, identificando os invariantes operatórios que viessem a se manifestar. Porém, durante a aplicação da metodologia já mencionada, percebeu-se, pelas respostas de alguns alunos às situações-problema, que era preciso apresentar a conceitualização inicial e as situações-problema de forma mais clara e objetiva, visto que alguns alunos estavam considerando a atuação de outras forças além da eletromagnética. Além disso, não foi possível identificar invariantes operatórios. A metodologia foi, então, aperfeiçoada e aplicada em uma turma posterior, e ainda assim foi difícil identificar algo que se pudesse entender como invariante operatório. Assim, constatou-se que “a investigação sobre o domínio dos campos conceituais é um programa de longo prazo, que deve ser feito em vários ciclos e que dificilmente pode ser feito por um pesquisador isolado ou, mesmo, por um grupo de pesquisa isolado” (Sousa; Moreira; Matheus, 2005, p. 71).

No âmbito do ensino de Física Moderna, a TCC também é adotada como base teórica pedagógica por alguns autores. O trabalho de Otero, Arlego e Prodanoff (2015), por exemplo, apresenta uma sequência didática e sua aplicação em uma turma de alunos do ensino médio de uma escola argentina, objetivando analisar o processo de conceitualização por parte dos alunos segundo o ponto de vista da TCC. O conteúdo da sequência didática é referente à Teoria da Relatividade Especial de Albert Einstein e segue uma cronologia histórica, apresentando os temas na seguinte ordem: Relatividade Galileana; Transição da Relatividade Galileana para a Einsteiniana; Relatividade Einsteiniana.

Para instigarem os alunos a fazerem análises da Física envolvida nos assuntos da sequência, os autores sugerem a eles pensarem em situações cotidianas, como correr com um pêndulo na mão. No contexto dessas situações, os autores pedem que se analisem situações como: se você está andando com um pêndulo em uma das mãos e para de repente (Otero; Arlego; Prodanoff, 2015, p. 5), o que deve ocorrer com o pêndulo? dificilmente os alunos conseguiriam fazer uma análise Física da situação em questão usando diagramas de vetores, expressões matemáticas e conceitos físicos, mas isso não os impede de expressar o seu entendimento. Em sua análise, uma estudante fez uso de desenhos representativos da situação, mostrando o passo a passo do que deveria ocorrer com o pêndulo, pois essa era a

simbologia que tinha à disposição. Na aplicação da proposta, foi pedido aos alunos que expressassem suas análises na forma de desenhos, e os desenhos seguiram quase todos o mesmo padrão, mostrando-se como possíveis invariantes operatórios.

Todas as áreas da Física possuem uma riqueza de campos conceituais a serem trabalhados, sendo possível trabalhar com os alunos situações-problema dos mais variados tipos. “No caso particular do ensino de MQ, pode-se utilizar um grande número de situações-problema nas quais os principais conceitos são aplicados para que os alunos possam compreendê-los” (Gaulke; Rocha, 2017, p. 4026). Tais situações, visando à compreensão dos conceitos, utilizam-se de uma linguagem própria, e “em MQ, assim como em toda a Física, a linguagem e a simbologia adotadas tornam-se instrumentos para o domínio das situações-problema e construção de esquemas adequados” (Gaulke; Rocha, 2017, p. 4023). Essas situações e linguagem quânticas trazem consigo uma complexidade que pode implicar dificuldades, tais como a concepção errônea dos conceitos, no ensino-aprendizagem da disciplina.

A aplicação de metodologias de gamificação apresentam benefícios como o aumento do engajamento e a melhoria na retenção de conhecimento, incentivando a participação ativa dos alunos (Sailer, 2020). Essas metodologias, quando aplicadas em conjunto com a TCC, oferecem um potencial significativo para melhorar o processo de ensino-aprendizagem em Física e se tornam ferramentas poderosas, que proporcionam um amplo campo para investigação e prática educacional (Hou, 2023).

### **Aplicação do Produto Educacional**

O jogo Mundo Quântico é uma proposta de ferramenta auxiliar na abordagem de alguns conceitos introdutórios de MQ, tais como partícula quântica, função de onda, tunelamento, poço de potencial etc. O jogo de tabuleiro é construído para ser utilizado por professores em turmas da EB, mas pode ser utilizado por qualquer pessoa de forma recreativa. Além do jogo, o produto também é composto por vídeos que apresentam explicações dos fenômenos físicos relacionados às regras do jogo. Tais explicações se dão em nível de Ensino Médio, e não têm o propósito de ensinar MQ, senão fornecer alguma noção acerca dos conceitos da física quântica aos estudantes, o que pode resultar em conflitos cognitivos importantes.

A escolha de um jogo de tabuleiro como ferramenta auxiliar no ensino de MQ teve algumas motivações relevantes. Primeiramente, os fenômenos quânticos não são percebidos no cotidiano e são contra intuitivos, então, tratando os fenômenos quânticos como regras de um jogo de tabuleiro, os estudantes poderiam vivenciar algum tipo de situação em que estivessem presentes esses fenômenos (ou, pelo menos, uma representação deles). Além disso, considerando-os como regras de um jogo, os fenômenos contra intuitivos poderiam ser mais facilmente aceitos pelos estudantes, a princípio. Outra motivação importante se deve ao fato de o jogo possibilitar o uso da ideia de probabilidade, devido ao uso de dados, assunto fundamental dentro da MC.

**Figura 1:** Tabuleiro do jogo Mundo Quântico



Fonte: Elaborado pelos autores, (2022).

### Público-alvo

Na escola em que o produto educacional foi aplicado, cada turma de 3º ano tem uma aula semanal de Física com duração de 50 minutos. As atividades realizadas em sala de aula aconteceram em três encontros com cada turma. O curto período de duração da aula tornou necessária a utilização de tempo extra sala para que se pudesse desenvolver todas as atividades. Assim, algumas atividades foram realizadas em sala de aula, enquanto outras foram realizadas fora de sala por meio da internet. Essa metodologia é uma forma de ensino híbrido, que ganhou destaque com a pandemia de Covid-19 e “já é considerado como uma das grandes apostas para o processo de ensino e aprendizagem no século XXI” (Oliveira et al.,

2021, p. 920).

## Encontro 1

Durante este encontro, foram apresentados conceitos introdutórios de ondulatória e discutidos os conceitos de energia cinética, energia potencial e energia mecânica, além de se exemplificar formas de transformação de energia.

A princípio, os alunos receberam um questionário (ver seção “Resultados do Questionário 1”) impresso com três questões. As questões não faziam referência direta à Física ou à Matemática, sendo possível resolvê-las com a intuição ou com o conhecimento de mundo de cada um. As questões foram feitas propositalmente dessa maneira, pois o questionário pretendeu investigar aquilo que os alunos conheciam a respeito do funcionamento físico e matemático do mundo, ainda que não soubessem os termos técnicos ou fórmulas que poderiam ser usados nas situações apresentadas. Os participantes foram instruídos a resolverem uma questão específica sempre que recebessem a orientação para tal.

## Encontro 2

A princípio, a turma foi dividida em cinco equipes. As equipes tinham entre quatro e oito membros. Após essa divisão, cada equipe recebeu os materiais para o jogo: tabuleiro; dados; cartões de informação contendo orientações a serem seguidas ao longo do jogo e fichas que podiam ser usadas como moeda de troca no jogo. Estando as equipes com os materiais em mãos, o professor explicou resumidamente como funcionava a dinâmica do jogo e, posteriormente, instruiu os alunos a iniciarem as partidas. Depois dessas ações iniciais, os alunos jogaram o Mundo Quântico durante o restante da aula.

## Atividade à Distância: Assistir aos Vídeos

Além do jogo, o produto educacional desenvolvido também contém vídeos<sup>3</sup> que trazem informações extras a respeito das regras. Essas informações extras são explicações acerca dos fenômenos físicos presentes no jogo. Para consultar essas informações era necessário ter

<sup>3</sup> Os vídeos podem ser acessados através do seguinte *link*: <<https://www.youtube.com/watch?v=0kXPHnwLD6I&list=PLCRclt1xlEhvJC6RZG79L9wpKz0wxNtbp>> .

acesso à internet através de um smartphone. Os vídeos poderiam ser acessados por meio de QR Codes impressos nos versos dos cartões de informação. Os alunos foram incumbidos de assistirem aos vídeos em casa. Isso se fez necessário devido ao fato de os alunos não terem acesso à internet em seus celulares na escola

### Encontro 3

Neste encontro, foi proposta uma discussão sistemática, em que foram dedicados cerca de 10 minutos de discussão para cada conceito. A discussão se deu da seguinte forma: o professor recitava uma regra presente em um cartão de instrução e, em seguida, explicava o fenômeno físico associado à regra, sempre buscando relacionar uma coisa à outra. O jogo possui quatro cartões de instrução, portanto, o processo mencionado foi realizado quatro vezes, até que todos os conceitos físicos de interesse fossem discutidos.

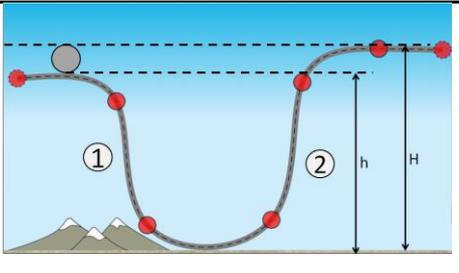
### Atividade à Distância: Responder aos Questionários

Nesta atividade, os alunos participantes da pesquisa responderam a dois questionários através da plataforma Google Forms. Um dos questionários, denominado Questionário 2, buscou investigar a opinião dos alunos sobre o jogo. O outro questionário, Questionário 3, pretendeu investigar o grau de compreensão dos estudantes a respeito dos conceitos e situações propostos no produto educacional.

## Resultados e Discussões

### Resultados do Questionário 1

#### Quadro 1: quadro contendo questionário 1

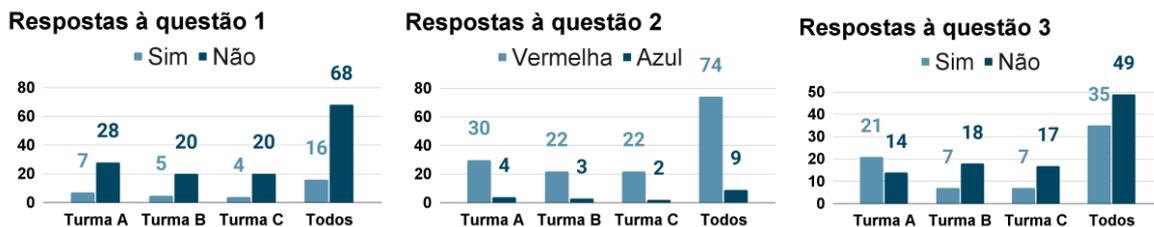
<p><b>Questão 1.</b> Considere a figura ao lado, em que há uma bolinha parada na beirada de uma rampa (rampa 1). A bolinha recebe um pequeno toque, suficiente apenas para fazer com que ela comece a descer a rampa 1. Você acha que essa bola conseguirá subir toda a rampa 2? ( )sim ( )não</p>	
<p><b>Questão 2.</b> em uma caixa fechada há 60 bolas vermelhas e 40 bolas azuis misturadas aleatoriamente. As paredes da caixa não são transparentes, mas há um pequeno buraco através do qual se pode retirar uma bola de cada vez. Um amigo meu irá retirar uma bola aleatoriamente, sem ver a cor. Eu quero apostar que ele vai tirar uma das duas cores. Em qual cor eu devo apostar? ( )vermelha ( )azul</p>	

**Questão 3.** Imagine que um grande asteroide colide com a lua, fazendo com que ela se destrua completamente em uma grande explosão. Próximo à lua existem alguns astronautas que estão protegidos da explosão em uma nave. Na sua opinião, esses astronautas conseguiriam ouvir o barulho da explosão? ( ) Sim ( ) Não

Fonte: Elaborado pelos autores, (2022).

Na questão 1 do questionário 1, esperava-se que a maioria dos estudantes respondessem “não” a essa pergunta, visto que a conservação de energia é um conteúdo que deve ser trabalhado com os alunos desde o começo do ensino médio. Ainda que os alunos não lembrassem do conteúdo “conservação de energia”, era possível intuitivamente solucionar esse problema. É possível ver na figura 2 que cerca de 80% dos alunos ou se recordavam da ideia de conservação de energia ou mostraram ter boa intuição física na análise de situações simples de conservação de energia.

**Figura 2:** gráficos contendo respostas ao questionário 1.



Fonte: Elaborado pelos autores, (2022).

A questão 2 buscou investigar os estudantes no que diz respeito ao seu conhecimento de probabilidade. De acordo com o gráfico da figura 2, aproximadamente 90% dos alunos responderam que é mais adequado apostar na cor vermelha. Não é possível afirmar que esses estudantes sabem calcular qual a probabilidade de um ou outro evento ocorrer, mas eles parecem compreender que o evento com maior probabilidade de acontecer é a retirada da bola vermelha.

Na questão 3 se faz presente a noção de ondas, especialmente as mecânicas. Cerca de 58% dos estudantes entendem que o som da explosão não poderia ser ouvido. Esse resultado representa indícios de que há compreensão do comportamento das ondas por parte desses alunos. Mas há de se observar que é relativamente grande a proporção de alunos que não compreendem o comportamento das ondas mecânicas ou não associaram a situação em questão ao comportamento das ondas mecânicas.

## Resultados do Questionário 2

O questionário 2 foi elaborado propositalmente no formato de uma pesquisa de satisfação, em que as perguntas são objetivas, tendo como opções “sim” e “não”, com exceção das perguntas 6 e 8, que podem ser respondidas de maneira aberta. Esse questionário pode ser visto no quadro 1 e as respostas às perguntas objetivas estão representadas no gráfico da figura 3.

Os resultados da questão 1 indicam que o jogo Mundo Quântico não apresenta grandes dificuldades para ser aprendido. De fato, observou-se em sala de aula que os alunos conseguiram aprender a jogar em um curto intervalo de tempo. Além disso, com base nas respostas às questões 2 e 3, pode-se dizer que o jogo parece ter despertado o interesse dos alunos. 95% dos alunos afirmaram que gostariam de jogar mais vezes, e o mesmo percentual afirmou que os amigos gostariam de jogar também.

Os resultados das questões 3 e 4 indicam que os jogadores notaram que há a possibilidade de traçar estratégias e influenciar no resultado final de uma partida.

A questão 6 pergunta aos alunos jogadores se eles notaram semelhanças entre o jogo Mundo Quântico e outros jogos de tabuleiro que já jogaram. 48% dos alunos responderam a essa pergunta de modo positivo, citando jogos como Banco Imobiliário, Ludo, Uno, Racha Cuca e Xadrez como exemplos de jogos semelhantes ao que eles jogaram em sala de aula. Alguns alunos se abstiveram de responder essa pergunta, mas a maioria deles disse não ter jogado outros jogos semelhantes. A partir de observações em sala de aula, supõe-se que essa maioria de respostas negativas se deve, em parte, ao fato de muitos alunos da contemporaneidade não terem interesse ou contato com jogos de tabuleiro ao longo de suas vidas.

**Quadro 1:** quadro contendo o questionário 2

Questionário 2	
Questão 1	Você achou fácil aprender o jogo?
Questão 2	Você gostaria de jogar mais vezes?
Questão 3	Você acha que seus amigos gostariam de jogar esse jogo?
Questão 4	Você acha que é possível ganhar o jogo usando algum tipo de estratégia?
Questão 5	Você acha que é preciso apenas ter sorte para vencer o jogo?
Questão 6	O jogo mundo quântico é parecido com outros jogos que você já jogou?
Questão 7	O jogo o ajudou a entender os assuntos de física da aula anterior?

**Fonte:** Elaborado pelos autores, (2022).

As respostas à questão 7 mostram que, na perspectiva de 95% dos alunos, o jogo os

ajudou a compreender os assuntos de Física Quântica trabalhados em sala de aula. Obviamente, a partir dessas respostas, não é possível fazer uma suposição muito confiável de que houve realmente uma relação entre a utilização do jogo e a aprendizagem dos conceitos físicos. Essas respostas, no entanto, podem representar algum indicativo de que houve sim algum impacto positivo causado pelo uso do jogo no processo de aprendizagem.

Por fim, na questão 8 é reservado um espaço para que os alunos falem abertamente a respeito do jogo, fazendo críticas, sugestões ou quaisquer outras observações. Dentre todas as falas, não há nenhuma crítica. Isso não significa que o jogo não mereça algumas críticas, mas que os alunos não encontraram, a princípio, nada para criticar no jogo, o que pode indicar que o jogo não possui falhas que prejudiquem a sua dinâmica. Além disso, há várias falas de apoio ao jogo. O aluno A, por exemplo, disse “Ele é ótimo, deveria ser divulgado”, o aluno B disse “O jogo é bastante interessante, adorei.”, além de outras falas favoráveis ao jogo.

**Figura 3:** gráfico de respostas às questões objetivas do questionário 2



Fonte: Elaborado pelos autores, (2022).

No mais, as outras respostas à questão 8 reforçam a ideia de que a maioria dos alunos gostou de vivenciar a experiência proporcionada pelo jogo.

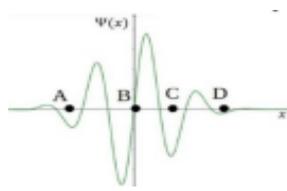
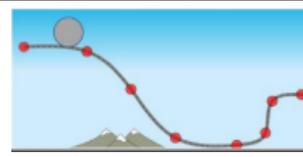
### Resultados do Questionário 3

A análise de resultados desta seção buscou compreender o processo de desenvolvimento cognitivo dos estudantes no contexto do estudo dos conceitos de MQ. Essa análise se deu através de uma verificação de desempenho dos alunos na resolução de situações-problema. Essas situações foram reunidas em quatro questões no questionário 3, as

quais podem ser vistas no quadro 2.

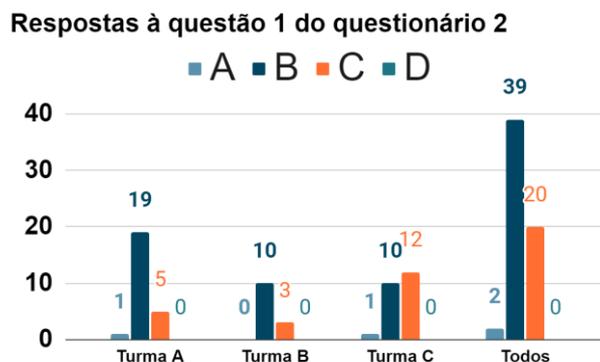
A questão 1 teve o propósito de verificar se os alunos entenderam que a probabilidade de encontrar uma partícula em determinada posição tem relação com a amplitude da onda de matéria associada a tal partícula. Analisando a figura da questão 1, percebe-se que, entre os pontos dados, o C é o que se localiza na região onde há maiores chances de se encontrar a partícula. A partir do gráfico da figura 6, nota-se que mais de 32% dos estudantes responderam corretamente à questão. É possível ver que as respostas dos alunos se dividem especialmente entre B e C, levando a crer que aqueles que responderam corretamente, ou, pelo menos, boa parte deles, não escolheram o item C aleatoriamente. Caso as escolhas dos itens fossem aleatórias, seria esperado que as respostas fossem mais bem distribuídas entre os quatro itens. Essa suposição é reforçada pelo fato de todas as turmas terem escolhido especialmente os itens B e C.

**Quadro 2:** Quadro contendo o questionário 3

<p><b>Questão 1:</b> A figura ao lado representa a função de onda de um elétron em um certo momento. Em qual ponto existem maiores chances de se encontrar a partícula?</p>	
<p><b>Questão 2:</b> O sistema abaixo pode ser considerado um sistema quântico, ou seja, são aplicadas as regras do mundo quântico. alguém empurra a bolinha, de modo que ela começa a descer a rampa maior. Não há nenhuma outra interferência no sistema depois do primeiro empurrão. Você acha que a bolinha sempre irá conseguir subir e ultrapassar a rampa maior? (tente justificar sua resposta)</p>	
<p><b>Questão 3:</b> O sistema abaixo pode ser considerado um sistema quântico, ou seja, são aplicadas as regras do mundo quântico. A bolinha estava parada e recebeu um pequeno toque suficiente apenas para iniciar seu movimento. Ela desce toda a rampa da esquerda e tenta subir a pequena montanha à direita. É possível que a bolinha consiga ultrapassar essa montanha? (tente justificar sua resposta)</p>	
<p><b>Questão 4:</b> Com suas palavras, fale sobre o que você conseguiu entender sobre a Física Quântica.</p>	

Fonte: Elaborado pelos autores, (2022).

**Figura 4:** Gráfico de resultados da questão 1 do questionário 3



Fonte: Elaborado pelos autores, (2022).

Foi possível identificar que, em pelo menos 19 das 61 respostas à questão 2, os alunos se apegaram à ideia de comparar as alturas das rampas para concluir que a bolinha sempre ultrapassa a rampa menor, ou seja, utilizaram os raciocínios da física clássica. A partir desse padrão de respostas, supõe-se que houve a explicitação de um possível invariante operatório: se sua altura inicial for maior do que a rampa que se pretende ultrapassar, a bolinha sempre conseguirá ultrapassar essa rampa. Destaca-se ainda que os estudantes utilizaram signos (representações simbólicas dos conceitos) diferentes dos esperados, a saber, altura em vez de energia. Assim, entende-se que, em uma nova oportunidade de abordagem dessa situação-problema, é muito importante que o professor dê ênfase especial às noções de energia potencial e cinética e às formas como elas se transformam.

Ainda com relação à questão 2, houve algumas respostas que se desviaram da lógica clássica. Um aluno A, por exemplo, afirma que “na maioria das vezes a bolinha vai conseguir ultrapassar, mas tem chance de não conseguir ultrapassar a rampa, pois nem sempre dá a lógica”. É possível que, para esse aluno, o comportamento óbvio seja aquele em que a bolinha ultrapasse a rampa, e o fato de a bolinha ter chances de voltar seja o ilógico, mas, ainda assim, ele afirma que esse comportamento “ilógico” é possível. Já um aluno B apresenta uma fala mais precisa a respeito do comportamento da bolinha, diz que “nem sempre ela [a bolinha] nem sempre subirá [a rampa], pois no mundo quântico tem uma possibilidade de acontecer tudo”. O aluno B menciona a ideia de “possibilidade” (provavelmente tentando se referir a probabilidade). Esse aluno não se apega à ideia de “lógico” ou “ilógico”, apenas sugere que no mundo quântico é possível (ou provável) que a bolinha não ultrapasse, bem como é possível (ou provável) que ela ultrapasse.

Um aluno C respondeu que “não, nem sempre [ultrapassa a rampa], porque mesmo que tenha energia suficiente, a bolinha se comporta como uma onda podendo sofrer uma perturbação e ainda assim voltar da rapa”. Ao afirmar que a bolinha nem sempre ultrapassará a rampa, justifica sua resposta dizendo que a bolinha se comporta como uma onda e que a mesma poderia "voltar da rampa" após sofrer uma "perturbação". Não há clareza quando ao termo "perturbação", mas pode-se dizer que, na perspectiva do aluno, a bolinha pode ser refletida ao encontrar o degrau de potencial, e isso ocorreria por causa do comportamento ondulatório da partícula. Esse aluno, em relação aos demais, aparenta estar em um estágio mais avançado da aprendizagem desse conceito.

Quanto à questão 3 do questionário 3, pretendeu-se investigar o processo de aprendizagem dos alunos em relação ao efeito túnel. Esperava-se que os estudantes incluíssem o efeito túnel em suas análises da situação-problema. Em resposta à questão 3, nenhum dos alunos da turma B mencionou o efeito túnel explicitamente em suas análises do problema, mas há de se destacar duas falas: “sim, o professor falou que ela desaparece e aparece no outro lado”; “não, pois a 2ª rampa é maior, ela não irá ter força o suficiente pra ultrapassar. Mas no mundo quântico, ela pode simplesmente ultrapassar”. Em ambas as falas, os alunos consideram a possibilidade de que a bolinha pode sim passar ao outro lado da barreira de potencial, mas a segunda demonstra uma análise mais completa e interessante da situação. Enquanto o primeiro aluno apenas repetiu algo que o professor disse, o segundo aluno parece responder à questão a partir de suas próprias reflexões sobre o assunto, visto que ele utiliza termos próprios para fazer uma comparação entre a perspectiva clássica e a quântica. Com “termos próprios”, refere-se à ausência da terminologia técnica, o que não torna a resposta inadequada, pelo contrário, mostra que a informação observada pelo estudante foi interiorizada pelo mesmo a partir dos recursos mentais que possuía à disposição.

Outros dois alunos da turma B responderam de forma positiva à questão 3, mas não ofereceram justificativas, impossibilitando uma análise. Os demais alunos utilizaram a lógica da física clássica para responderem à questão 3, desconsiderando a possibilidade da bolinha atravessar a barreira de potencial.

Considerando-se todas as três turmas, verificou-se que aproximadamente 37% dos alunos que responderam à questão concordaram com a possibilidade de a bolinha ultrapassar a barreira de potencial. Entre esses, apenas 5 alunos (que corresponde a 8,2% do total) fizeram

menção explícita aos termos “túnel”, “efeito túnel” ou “tunelamento”.

Por fim, a última questão do questionário 3 podia ser interpretada pelos alunos de forma subjetiva, e as respostas a essa questão não precisavam apresentar nenhum padrão, não havendo respostas adequadas ou inadequadas. Apesar de perguntar sobre o que os estudantes aprenderam, seria muito difícil entender o que realmente foi aprendido, assim, a real pretensão dessa questão é possibilitar uma análise da forma como os estudantes expressam suas reflexões a respeito de toda a experiência vivenciada ao longo da aplicação do produto educacional.

Devido às muitas possibilidades de respostas, foi necessário adotar certos procedimentos para analisar as respostas à questão 4 do questionário 3: primeiramente, foi preciso investigar falas que apresentavam indícios de plágio, investigação essa que se deu com o auxílio do “Google Busca”; em seguida, buscou-se identificar características em comum nas falas dos estudantes, assim, seria possível analisar um conjunto de falas em vez de falas isoladas.

Dentre todas as 61 respostas à questão 4 analisadas, pelo menos 17 apresentaram indícios de plágio. Isso corresponde a quase 28% das respostas. O plágio pôde ser evidenciado escrevendo-se as respostas dos alunos no "Google Busca", de modo que o texto escrito, caso existente em algum documento na internet, direcionará a busca à fonte original do texto. O fato de alguns alunos copiarem textos da internet, quando a proposta era que expressassem suas próprias reflexões, pode resultar em conclusões que fogem do escopo deste trabalho, assim, essas respostas serão dispensadas da análise que se segue.

Alguns conceitos trabalhados no jogo Mundo Quântico e ao longo dos encontros se fizeram presentes nas respostas de alguns alunos à questão 4. A incerteza quanto à posição de uma partícula quântica, por exemplo, é uma ideia que aparece em algumas falas, tais como: “que cada pessoa vai ver de uma forma”; “todo mundo pode ver o mesmo átomo em lugares diferentes”; “a gente nunca sabe a posição das coisas”. As duas primeiras falas não apresentam muita clareza, mas parecem indicar que seus autores acreditam que uma partícula pode ser vista em posições diferentes simultaneamente, como se a partícula ocupasse mais de uma posição ao mesmo tempo. O mais preciso seria dizer que, antes de serem observadas, as partículas quânticas ocupam todas as posições (ou estados) possíveis e,

quando observadas, as partículas podem ser detectadas em uma região delimitada do espaço, mas ainda com alguma incerteza quanto a sua posição exata. Assim, as duas primeiras respostas indicam que seus autores ainda não compreenderam perfeitamente o que pretendiam expressar. No entanto, essas mesmas falas apontam para um processo de desenvolvimento cognitivo que poderia vir a resultar em aprendizagem, caso o professor viesse a discutir novamente o conceito com os alunos, levando-se em conta os equívocos presentes nas respostas.

Também foi possível observar respostas que apontam para possíveis conflitos cognitivos: “Física Quântica é muito legal de aprender, pois estudamos coisas fora da realidade humana”; “É um mundo em que tudo lá é muito estranho e aleatório”; “sobre o mundo quântico, nós vemos coisas que a gente não vê no mundo real”. Os discursos dos estudantes mostram que, na perspectiva deles, a Física Quântica causa uma quebra de expectativa quando ao que se espera que aconteça, sendo associada a algo “fora da realidade humana” e a coisas que não podem ser vistas no “mundo real”. Essa quebra de expectativa é um possível indício de conflito cognitivo. Os conflitos cognitivos podem ser positivos para o processo de aprendizagem, na medida em que, na tentativa de superar esses conflitos, um indivíduo pode buscar compreender mais sobre o assunto.

## Conclusões

Ao longo deste trabalho foi relatada a experiência da aplicação do jogo de tabuleiro “Mundo Quântico” como ferramenta pedagógica para a promoção do ensino de conceitos introdutórios de MQ para o EM. Em particular, nas turmas de terceiro ano do Ensino Médio da rede pública estadual do Ceará.

A partir das análises dos resultados do questionário e observações pelo professor em sala de aula, pôde-se concluir que o público-alvo da pesquisa, em sua maioria, demonstrou bom desempenho na análise de situações físicas simples envolvendo conservação de energia, propagação de ondas mecânicas e na aplicação da ideia de probabilidade a situações análogas. O bom desempenho observado, parece ter ocorrido mais em virtude do conhecimento de mundo e intuição física dos estudantes do que pelo seu conhecimento propriamente dito de conceitos de física e matemática.

Dos questionários aplicados, pode-se entender que o jogo é uma ferramenta aplicável

ao contexto da sala de aula, mesmo que as aulas de física tenham uma carga horária bastante reduzida. E que, além disso, o jogo despertou o interesse dos alunos, favorecendo a sua aplicação.

Foi possível observar que os estudantes, em geral, tiveram grande dificuldade em aceitar fenômenos que contrariam o pensamento clássico.

Futuras aplicações do jogo devem enfatizar a distinção entre lógicas clássica e quântica, propondo novas situações que desafiem essas dificuldades. A revisão dos conceitos de física e matemática antes da aplicação pode beneficiar os alunos.

Para melhorar o jogo, propõe-se incorporar um *feedback* contínuo, adaptar o nível de dificuldade às diferentes turmas e integrar mais elementos interativos que abordam explicitamente a transição do pensamento clássico ao quântico.

Destacamos que houve alguns alunos que fizeram progressos consideráveis, em que foram feitas considerações corretas quanto ao comportamento probabilístico dos sistemas apresentados. Foi possível perceber que alguns estudantes chegaram a analisar os sistemas a partir das duas perspectivas, clássica e quântica. As falas que esses alunos registraram são compatíveis com aquilo que se pretendeu ensinar, e isso é um indicativo de que pode ter ocorrido aprendizagem dos conceitos, na profundidade com que foram abordados. Portanto, entende-se que a utilização do Produto Educacional aplicado nesta pesquisa pode vir a contribuir para o processo de aprendizagem de alguns conceitos introdutórios de MQ no EB.

## Referências

ALVES, D. M., DOS SANTOS CARNEIRO, R. Gamificação no ensino de matemática: uma proposta para o uso de jogos digitais nas aulas como motivadores da aprendizagem. *Revista Docência e Cibercultura*, 6(3), 146-164, 2022.

BECK, V. C.; SILVA, J. A. da. Invariantes operatórios de generalização algébrica mobilizados por crianças em uma situação de comutatividade na adição de números naturais. *VIDYA*, v. 40, n. 2, p. 299-314, 2020. 4

BRASIL. PCN+ Ensino Médio: orientações curriculares complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: Mec/semtec. [S.l.], 2002. 2

DETERDING, S., DIXON, D., KHALED, R., NACKE, L. From game design elements to

gamefulness: defining “gamification”. In Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments, p. 9-15, 2011.

GAULKE, A. M.; ROCHA, C. R. Invariantes operatórios em uma situação-problema clássica como base para a aprendizagem de conceitos de mecânica quântica. *Enseñanza de las ciencias*, n. Extra, p. 4021–4026, 2017. 6

HAMARI, J., KOIVISTO, J., SARSA, H. Does gamification work? A literature review of empirical studies on gamification. In 2014 47th Hawaii international conference on system sciences, p. 3025-3034. *Ieee*, 2014.

HOU, H. T. Diverse development and future challenges of game-based learning and gamified teaching research. *Education Sciences*, 13(4), 337, 2023.

MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em ensino de ciências*. Porto Alegre. Vol. 7, n. 1 (jan./mar. 2002), p. 7-29, 2002. 3, 4

OLIVEIRA, M. B. de et al. O ensino híbrido no brasil após pandemia do covid-19. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 1, p. 918–932, 2021. 7

OTERO, M. R.; ARLEGO, M.; PRODANOFF, F. Design, analysis and reformulation of a didactic sequence for teaching the special theory of relativity in high school. *Revista Brasileira de Ensino de Física, SciELO Brasil*, v. 37, n. 3, p. 3401–1, 2015. 5

SAILER, M., HOMNER, L. The gamification of learning: A meta-analysis. *Educational Psychology Review*, 32(1), 77-112, 2020.

SOUSA, C. M. S. G. d.; MOREIRA, M. A.; MATHEUS, T. A. M. A resolução de situações-problema experimentais no campo conceitual do eletromagnetismo: uma tentativa de identificação de conhecimentos-em-ação. 2005. 4, 5

VERGNAUD, G. *et al.* Teoria dos campos conceituais. *Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro*, p. 1–26, 1993. 3

Submetido em 05 de maio de 2024.

Aceito em 18 de maio de 2024.

Publicado em 31 de maio de 2024.