

EJEÇÃO QUÂNTICA: UM JOGO PARA O ENSINO DO EFEITO FOTOELÉTRICO*Quantum Ejection: a game for teaching the photoelectric effect***Antônia Deiliane Araújo** [deiliane.sousa@aluno.uece.br]**Felipe Maia Silva** [femaia0911@gmail.com]**Vanderley Aguiar** [vanderley.aguiar@uece.br]

Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), Universidade Estadual do Ceará, Faculdade de Filosofia Dom Aureliano Matos, Av. Dom Aureliano Matos, 2058 - Centro, Limoeiro do Norte - CE, 62930-000, Brasil.

*Recebido: 19/01/26**Aceito: 30/03/2026***Resumo**

Este trabalho apresenta o jogo *Ejeção Quântica* como recurso didático para o ensino do efeito fotoelétrico e descreve sua utilização em turmas do ensino médio. O objetivo do estudo é analisar as contribuições do jogo como estratégia metodológica ativa para a aprendizagem de conceitos de física moderna, considerando as características de aprendizagem dos estudantes contemporâneos. O jogo foi aplicado em sala de aula e os dados foram coletados por meio de pré-testes e pós-testes, analisados segundo uma abordagem quanti-qualitativa. De acordo com os resultados, o jogo despertou o interesse dos alunos e facilitou a compreensão dos conceitos abordados. Além disso, contribuiu para o desenvolvimento de habilidades, engajamento e para a inclusão dos estudantes. A proposta também possibilita, em perspectiva pedagógica, a interdisciplinaridade com a química e com o estudo de fontes de energia renováveis. Os resultados indicam que a aprendizagem baseada em jogos apresenta potencial para estimular uma aprendizagem significativa no ensino do efeito fotoelétrico, sugerindo-se a adoção de estratégias semelhantes como forma de atualização do ensino de física.

Palavras-chave: Ensino de Física; Efeito Fotoelétrico; Aprendizagem Baseada em Jogos.

Abstract

This work presents the game called *Quantum Ejection* as a didactic tool for teaching the Photoelectric Effect, and describes its use in high school classes. The objective of this work is to analyze the game's contributions as an active methodological strategy for concepts of Modern Physics, considering the learning characteristics of contemporary students. The game was applied in the classroom and data were collected through pre-tests and post-tests, analyzed using a quantitative-qualitative approach. According to the results, the game sparked the students' interest and facilitated the understanding of the concepts covered. Furthermore, it contributed to the development of skills, engagement and the inclusion of students. The proposal also allows, from a pedagogical perspective, interdisciplinarity with Chemistry and the study of renewable energy sources. The results indicate that Game-Based Learning has the potential to stimulate meaningful learning in the teaching of the Photoelectric Effect, suggesting the adoption of similar strategies as a way to update Physics teaching.

Keywords: Physics Education; Photoelectric Effect; Game-based Learning.

1. Introdução

O ensino de física no Brasil enfrenta desafios persistentes discutidos na literatura da área. Problemas como baixa carga horária da disciplina, falta de aulas de laboratório, poucos professores e uma forma de ensino muito expositiva, voltada apenas ao treinamento dos alunos para as provas são alguns dos problemas citados por Moreira (2018). Segundo o autor, o ensino de física está desatualizado, mesmo com muitos recursos instrucionais, projetos, revistas e publicações nessa área. Além desses aspectos estruturais, os conteúdos abordados no ensino médio, que deveriam incluir a Física Moderna e Contemporânea (FMC), na prática limitam-se apenas aos da física clássica, que reúne teorias válidas, porém incompletas e insuficientes para a compreensão de muitas das tecnologias que desfrutamos atualmente. “Estamos no século XXI, mas a Física não passa do século XX” (Moreira, 2017).

A ausência da abordagem da física moderna no ensino médio promove uma desconexão do conteúdo escolar com o avanço científico, o que torna o ensino desatualizado e não desperta o interesse dos alunos, que não conseguem compreender tecnologias presentes no cotidiano atual, como a geração de energia elétrica por meio da energia solar - bastante comum em nossa região tropical -, dispositivos eletrônicos, sensores e aplicações baseadas em princípios quânticos. Também precisamos rever o modelo da narrativa: os alunos “ouvem, anotam e decoram” e, assim, passar a utilizar metodologias mais ativas, que têm se mostrado cada vez mais relevantes (Moreira, 2022).

Diante desse contexto, como facilitar a abordagem da física moderna no ensino médio e fazer isso de forma interessante? Propõe-se a utilização da Aprendizagem Baseada em Jogos como estratégia que visa estimular a interação, pressuposto para o desenvolvimento da aprendizagem, de acordo com a teoria da mediação de Lev Vygotsky. Assim, apresenta-se neste trabalho a ideia do jogo *Ejeção Quântica*, um jogo de cartas, como proposta de ferramenta pedagógica para tratar do Efeito Fotoelétrico, tópico de FMC, de forma lúdica, capaz de proporcionar motivação e participação dos alunos. Busca-se contribuir para a abordagem de um tema atual de física para Ensino Médio, por meio de uma metodologia que auxilie professores a envolver os alunos em suas aulas e desperte o interesse pela disciplina de Física.

A Aprendizagem Baseada em Jogos, ou *Game-Based Learning* (GBL), utiliza jogos como apoio ao ensino e à aprendizagem. Esta estratégia permite que o professor mantenha a atenção dos alunos e, a partir daí, eles sintam-se desafiados e estimulados a solucionar problemas, o que exige deles a capacidade de protagonismo, ao realizar uma atividade enquanto pensam a respeito dela. É uma forma dos professores tornarem o conhecimento científico compreensível aos alunos, o que, para Sales, Silva e Castro (2019), “não é uma tarefa tão trivial”, pois demanda bastante tempo e dedicação. Neste sentido, jogos pensados para o ensino podem oferecer apoio tanto à introdução quanto ao aprofundamento de conteúdos, a depender de seus objetivos e do contexto.

Nesse trabalho, relaciona-se a aprendizagem baseada em jogos a algumas teorias construtivistas. Em seguida, apresenta-se a metodologia de formulação do jogo desenvolvido, bem como seu funcionamento e sua aplicação nas escolas participantes. Posteriormente, são analisados os resultados dos testes, discutindo-se e comparando-se as concepções dos alunos antes e depois da utilização da proposta. Por fim, retomam-se as principais conclusões e as perspectivas.

2. Aprendizagem Baseada em Jogos

Os jogos são uma atividade recorrente nas relações sociais ao longo da história. Podem ser compreendidos como atividades que envolvem ludicidade, regras, simulação, voluntariedade, imersão, desafios, cooperação e/ou competição, entre outros aspectos que os tornam envolventes. De acordo com Huizinga, o jogo é um “fenômeno cultural”. Em sua forma “natural”, é uma atividade

inata ao homem, com tempo estabelecido, regras consentidas e envolvendo tensão e alegria (Homo Ludens, 2000).

Para Moran (2015), o jogo “ensina a conviver com regras e a encontrar soluções para desafios, contribuindo, portanto, para o desenvolvimento de habilidades sociais, como o cumprimento de regras e cooperação”. Os jogos também favorecem a criatividade, o pensamento inovador e auxiliam na redução do estresse e da ansiedade (Sylvestre, 2024), aspectos tão presentes em nosso cotidiano, inclusive no ambiente escolar, e que afetam diretamente a aprendizagem. Segundo Carvalho (2015), “jogar um jogo gera uma série de eventos decorrentes da delineação de uma narrativa e carrega emoções, prazeres e desafios únicos para a leitura dessa narrativa”. Esse potencial narrativo e simbólico do jogo, que envolve o aluno, colocando-o na posição de protagonista – e não de mero espectador –, contribui para a construção de significados. Nessa mesma perspectiva, Kishimoto (2017) afirma que:

A imitação através do jogo, a busca da compreensão de regras, a tentativa de aproximação das ações adultas vividas no jogo, estão em acordo com pressupostos teóricos construtivistas que asseguram ser necessário a promoção de situações de ensino que permitam colocar a criança diante de atividades que lhe possibilitem a utilização de conhecimentos prévios para a construção de outros mais elaborados (Kishimoto, 2017, p.95).

Ao longo deste trabalho, o termo “jogos” será empregado para designar aqueles concebidos com intencionalidade pedagógica. Nesse contexto, surge a Aprendizagem Baseada em Jogos, uma abordagem sistematizada, sobretudo, a partir dos trabalhos de Prensky, que propõe o uso de jogos como elementos centrais no processo de ensino e aprendizagem, conforme Antunes (2022). Trata-se de uma abordagem que envolve “a concepção, o desenvolvimento, uso e aplicação de jogos na educação e formação” e relaciona-se a Jogos Sérios (Serious Games), caracterizados por não envolverem entretenimento como objetivo principal e que “têm sido utilizados, com sucesso, nas áreas da saúde, investigação, planejamento, emergência, publicidade, etc.” (Carvalho, 2015). É importante entender que GBL se diferencia da Gamificação, uma vez que esta não requer o uso de jogos, mas sim utiliza elementos e mecânicas típicos de jogos em contextos fora de jogos para encorajar e gerar comportamentos específicos nos estudantes (Sanches, 2021).

Podemos compreender a aprendizagem por jogos como uma das formas de Metodologias Ativas de Ensino (MAE's), que surgiram como uma proposta às mudanças rápidas e contínuas da sociedade contemporânea, que exige um novo perfil docente, já que o atual destaca a frustração pela pouca participação, desinteresse e desvalorização por parte dos estudantes em relação às aulas e às estratégias criadas para chamar a atenção deles (Diesel, Baldez e Martins, 2017). Quando tratamos de metodologias ativas, normalmente atribui-se a ideia de aprendizagem ativa, em que o aluno passa a ser protagonista na construção do seu conhecimento. Contudo, não se trata apenas de protagonismo. As MAE's baseiam-se nas teorias construtivistas, que afirmam que o conhecimento é construído de forma colaborativa. Nem por outrem, nem pelo próprio sujeito, mas na interação entre sujeitos históricos, é que se dá a aprendizagem (Freire, citado por Moreira, 1999).

Moreira (2022) chama a atenção para o uso de tais metodologias: para ele, não são garantias de aprendizagem com significado se não envolvem, de fato, compreensão, capacidade de explicar e aplicar os conhecimentos adquiridos, declarativos ou procedimentais, envolvendo aspectos cognitivos significativos. Logo, os jogos devem ser utilizados não apenas como atividade, mas também como meio de interação, não com um fim em si, mas como um meio, possibilitando situações que exigem reflexão e tomada de decisão. A aprendizagem significativa deve envolver conhecimentos prévios, materiais significativos e a voluntariedade dos envolvidos, pois, para Ausubel, aprendemos a partir do que já sabemos e aprendemos “se queremos” (Moreira, 2011). Buscou-se orientação nesta teoria para a delineação das mecânicas do jogo, a fim de que a experiência adquirida por meio desse resulte nos objetivos de aprendizagem esperados.

2.1 Fundamentação e Formulação do jogo

O jogo *Quantum Ejection* foi concebido para desenvolver nos alunos a capacidade de associar a função trabalho do metal à energia luminosa necessária à ocorrência do efeito fotoelétrico. À luz da teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, optou-se por partir de conceitos já estudados pelos alunos: elementos da Tabela Periódica – neste contexto, os metais – e as frequências da luz. Esses dois conceitos, considerados propositalmente centrais no jogo por serem potencialmente subsunçores, são representados por cartas específicas, ditas cartas *metal* e cartas de *frequência*.

A essas cartas são incorporados novos conhecimentos, apresentados como informações específicas em cada carta, com os respectivos valores de função trabalho em cada carta *metal* e o valor de frequência da luz nas cartas de *frequência*. Espera-se, com isso, que as ideias prévias relacionadas aos elementos metálicos e às frequências luminosas sejam progressivamente enriquecidas, tornando-se mais elaboradas. De acordo com Moreira (2011), o subsunçor interage com o novo conhecimento servindo-lhe de base e podendo ser modificado ao adquirir novos significados.

Ausubel também considera a predisposição do aprendiz como um requisito para a aprendizagem significativa, conforme Moreira (2011). Esse aspecto constitui uma das motivações para utilização de jogos como estratégia didática, principalmente por sua capacidade de despertar o interesse dos alunos. Nesse sentido, a teoria do Flow, proposta em 1991 por Mihaly Csikszentmihalyi e apresentada na obra *Beyond boredom and anxiety* (Além do tédio e da ansiedade), busca explicar as razões pelas quais as pessoas permanecem interessadas e concentradas em algumas atividades, mesmo quando elas não lhes proporcionam retorno material nem financeiro. Atentando-se a isso, executaram-se testes de aceitação do jogo antes de implementá-lo nas escolas.

Segundo o autor, neste “estado mental de operação automatizada”, o sujeito é imerso em uma sensação de foco energizante, caracterizada por profunda concentração, envolvimento e prazer, que ocorre quando o nível de dificuldade do desafio e a habilidade compatível do envolvido estão em equilíbrio, permitindo a realização da atividade com êxito (Silva, Sales e Castro, 2019). São trabalhados desafios e habilidades durante a “experiência de Fluxo”, em que se considera propor desafios nem tão difíceis, evitando estados de ansiedade, nem tão fáceis, prevenindo o tédio.

Dessa maneira, na formulação do jogo, atentou-se à manutenção de um nível de dificuldade adequado, favorecido pelo aproveitamento do design do qual este se inspira, a saber, o jogo de baralho culturalmente aceito e utilizado na região, conhecido como *pife*, que consiste, basicamente, em montar o maior número possível de trincas com as cartas. Segundo Sales, Silva e Castro (2019), “possibilitar que o aluno compreenda sua missão, investigue, realize suas atividades e obtenha sucesso pelo próprio esforço é uma das características das metodologias ativas”. Portanto, utilizou-se a familiaridade com o estilo de jogo como base para essa autonomia, pois a mecânica torna-se facilmente compreensível. Os que já possuem experiência com o estilo de jogo compartilham seus conhecimentos com os colegas e o jogo flui facilmente.

A teoria da mediação, de Lev Vygotsky, considera que o desenvolvimento cognitivo depende do contexto, que não é apenas uma variável, conforme Moreira (1999). Segundo o autor, essa conversão ocorre por meio da *mediação*, que envolve *instrumentos* e *signos*. As funções sociais aparecem inicialmente em um nível externo, entre as pessoas, para depois serem internalizadas. Esse intercâmbio permite que os significados dos signos cheguem ao indivíduo e que este possa externalizar a forma como internalizou determinados significados, verificando se são socialmente aceitos. Vygotsky define como nível de desenvolvimento real do indivíduo a capacidade deste de resolver problemas por conta própria. Também define o nível que mede a capacidade de solucionar problemas com a ajuda de companheiros mais capazes: nível de desenvolvimento potencial. A distância entre esses níveis, a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), mede o *potencial de*

aprendizagem, que é dinâmico e depende do compartilhamento. Espera-se, com esse trabalho, que o jogo oportunize essa interação e, conseqüentemente, promova a aprendizagem e o desenvolvimento.

3. Metodologia

Nesta seção, descreve-se, inicialmente, o jogo. Em seguida, os conceitos envolvidos e, por fim, sua aplicação em sala de aula. Vale salientar que, como uma ferramenta, essa proposta precisa ser inserida no contexto mais amplo do plano de ensino para que faça sentido no conteúdo programático da escola. Neste trabalho, limitou-se a descrever os resultados da aplicação do jogo em uma aula isolada.

3.1. O Jogo

3.1.1. Componentes do Jogo

O jogo é composto por 92 cartas e 4 tabuleiros para organização das cartas. Para este valor de cartas, indicam-se até 4 pessoas por baralho, de modo que para uma equipe mais numerosa, pode-se unir dois baralhos.

As cartas são divididas em três tipos:

- 45 cartas *metal* que representam diferentes tipos de metais;
- 47 cartas *frequência* que representam frequências diversas de luz;
- cartas *h*, que representam a constante de Planck. As cartas *h* estão no verso das outras cartas (cartas *metal* e cartas *frequência*).

As cartas do tipo *metal* contêm o nome do metal, sua simbologia na tabela periódica, número atômico, valor da função trabalho, uma indicação de sua frequência de corte inserida em círculos coloridos (a mesma simbologia de frequência utilizada nas cartas *frequência*, para melhor associação) e, no canto superior certa quantia de figurinhas de pequenas estrelas (usadas para contabilizar o total de pontos de cada jogador ao final da partida).

Já as cartas *frequência* possuem a letra inicial da cor que representam em um círculo de tal cor (adotou-se o nome da cor em inglês para evitar a coincidência de iniciais) e o valor da frequência correspondente a cada cor, em THz. No caso da frequência ultravioleta, adotou-se a cor roxa como representação. O terceiro tipo de carta possui a letra *h*, que representa a constante de Planck.

3.1.2. Mecanismos

O objetivo do jogo é acumular o máximo de pontos ao final de aproximadamente 8 rodadas. Essa pontuação é obtida pelo número de “estrelinhas” nas cartas de cada um ao final da rodada.

Cada jogador acumula pontos ao "arrancar elétrons do metal".

Para "ejetar um elétron", cada jogador precisa combinar um conjunto de três cartas: uma carta *metal*; uma carta *frequência* de luz adequada ao metal (à função trabalho deste), e uma carta virada para baixo com a constante de Planck *h* sendo mostrada.

De acordo com a teoria quântica de Einstein do efeito fotoelétrico, a energia de um quantum de radiação é proporcional à frequência, e a constante de Planck é uma constante de proporcionalidade. Desde que a frequência seja suficiente, o efeito ocorre. Então, é possível formar a trinca.

Para cada trinca formada, ou “elétron ejetado”, o jogador pontua o valor da carta *metal* envolvida. Quanto maior a função trabalho do metal, maior a pontuação (mais estrelinhas).

Segue um exemplo (Figura 1) de carta metal, com frequência compatível, e a carta h , que complementa, formando uma possibilidade de jogada. Seria possível utilizar outras cartas de frequência.



Figura 1. Carta metal; Carta frequência e Carta Constante de Planck.

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

3.1.3. Regras básicas

O funcionamento do jogo é observado da seguinte forma: cada jogador recebe 7 cartas. Para iniciar, cada um deve escolher uma de suas cartas "metal" e colocá-la no tabuleiro. A cada rodada, cada um compra duas cartas do baralho e, se formar uma combinação, preenche o tabuleiro. Caso não haja, passa a vez. Ao formar uma combinação, apresenta-se para que os outros jogadores verifiquem e em caso de aprovação, descarta-se o "pacote" formado pelas cartas *frequência* + h , e o jogador reserva sua carta *metal* para somar sua pontuação ao final do jogo.

O jogo encerra quando todas as cartas da pilha já foram puxadas. Ao final, em caso de empate no valor de estrelas arrecadadas, ver quem possui a carta *metal* de maior função trabalho. O tempo médio gasto em uma partida é de 20 minutos.

3.1.4. Nível de dificuldade e adaptações

O jogo pode ser adaptado a um número maior de pessoas ao unir dois baralhos. Para menos de quatro pessoas, usando-se o número convencional de cartas, ocorre um número maior de rodadas, mas é aplicável e também há a possibilidade de reduzir o total de cartas, se feita de forma proporcional, no caso de pouco tempo de aula disponível. Quanto às regras e aos mecanismos de jogo, cada professor pode definir na sua turma.

3.2. Conceitos envolvidos

Ao lidar com o jogo, o aluno passa a ter conhecimento da possibilidade de ejeção de elétrons a partir da incidência de luz em metais, e passa a perceber a relação entre a frequência da luz e a energia dos fótons ao aplicar a regra de que nem todas as cartas de frequência têm energia suficiente para ejetar elétrons.

Conceitos da Química (níveis de energia dos elétrons no átomo, foto-catálise, espectroscopia química, etc.) também podem ser introduzidos a partir das ideias do jogo. A função trabalho dos materiais é um objeto de estudo explorado em ambas as áreas e também é introduzida a partir do jogo, no qual se exigem altas frequências (cartas com maior energia) para ejetar elétrons de metais com maiores valores de função trabalho.

A variação da intensidade de luz só afeta a capacidade de ejeção, quando há frequência suficiente, como ocorre de fato na observação do fenômeno, de modo que não é possível adicionar várias cartas de baixa frequência para obter valores mais energéticos, o que, na prática, equivaleria a aumentar o brilho da luz. Também não ocorre a ejeção de um número maior de elétrons em um metal de baixa função trabalho só porque a energia do fóton ultrapassa a energia mínima necessária (neste caso, no fenômeno, o excesso de energia é refletido na energia cinética do elétron emitido).

3.3. Aplicação

Inicialmente, aplicou-se o jogo na Universidade Estadual do Ceará, com alunos do curso de Licenciatura em Física e de outros cursos, como forma de teste, para verificar possíveis falhas nas regras e constatar se os mecanismos realmente possibilitariam um bom entendimento. Interrogaram-se os jogadores, apenas oralmente, antes e após o jogo, com os mesmos questionários previstos para a aplicação em sala de aula. De maneira geral, houve bom entendimento. Pode-se estimar o tempo aproximado de cada rodada, bem como se o jogo despertou interesse e pareceu lógico aos participantes.

O jogo foi aplicado em turmas de ensino médio, numa escola pública do interior, por meio da disponibilização de aulas de 50 minutos, em duas turmas de terceiro ano, na disciplina de Física. Atingiu-se o total de 37 alunos.

O jogo também foi aplicado em escola particular, nas turmas do ensino médio. Este tópico de FMC foi incluído nas aulas, excepcionalmente para a aplicação do jogo, em um horário de aula normalmente destinado à preparação para o vestibular, mas costuma-se trabalhar apenas os conteúdos da Física Clássica.

Iniciou-se explicando à turma o objetivo da aula e solicitando a resolução do pré-teste de conhecimento. Após a resolução (cerca de 10 min), os alunos foram dispostos em grupos. Cada grupo recebeu um exemplar do jogo. Fez-se uma breve introdução ao tema e instruiu-se sobre as regras. Esta instrução não precedeu o pré-teste para evitar informações que pudessem influenciar, já que as instruções envolvem a explicação de como ocorre o fenômeno, as variáveis e a constante relacionada. Também se optou por fornecer o material antes de explicar as regras para que já pudessem se familiarizar com o conteúdo das cartas e entender as orientações. Logo após, permitiu-se que iniciassem.

O professor auxiliou cada equipe na execução, mediando quanto aos mecanismos, pois, a princípio, é comum que surjam dúvidas. Coube ao professor destacar a ideia por trás de algumas ações, fazendo uma analogia entre cada pontuação e a ejeção de um elétron. Pode-se instigar a reflexão sobre a impossibilidade de acumular cartas da mesma frequência para aumentar a energia, o que significa que o brilho, em frequências baixas, não altera a capacidade de ejeção de elétrons. Estratégias de jogo também devem ser induzidas e o raciocínio lógico estimulado, pois, mesmo que já surjam espontaneamente da parte de alguns, são despertados naqueles alunos que ainda não haviam percebido, incluindo-os mais. A inclusão de cada jogador é assegurada pela sequência de execução prevista na regulamentação do jogo.

Depois de aproximadamente 20 minutos, enquanto algumas equipes encerravam a primeira partida, outras que entenderam mais rapidamente o funcionamento do jogo realizaram mais de uma rodada. Solicitou-se a resolução do pós-teste e, em seguida, houve uma rápida recapitulação.

3.4. Encerramento da aula

Após a aplicação do jogo, é de suma importância uma discussão para obter um retorno dos alunos, esclarecendo dúvidas, se for o caso, e reforçando os conceitos trabalhados. As suposições criadas pelos alunos precisam ser validadas ou corrigidas. Também se pode interrogar os alunos neste momento sobre a experiência com o jogo: se se divertiram, se perceberam o tempo passar, se acharam entediante e se gostariam de mais aulas assim. Esse feedback foi obtido apenas oralmente, pois o tempo não permitiu uma investigação aprofundada, que seria muito útil para avaliar o jogo e promover futuras melhorias.

3.5. Levantamento e interpretação de dados

O levantamento de dados ocorreu por meio de pré-testes e pós-testes. Para tal, elaborou-se um pequeno questionário com perguntas subjetivas, para que respondessem individualmente. Incluiu-se um espaço destinado a cada resposta, para melhor organização, com intuito de, mesmo com o tempo de aula corrido, os alunos fossem estimulados a fazer registros de suas conclusões. Buscou-se alcançar um nível adequado ao ensino médio, mas a linguagem pode ser simplificada nas séries finais do ensino fundamental.

Visto que os testes constavam de 7 questões abertas, definiram-se critérios de avaliação para que as respostas pudessem ser quantificadas em notas. Consideraram-se a compreensão dos conceitos, a clareza e organização das respostas, a precisão das explicações e a aplicação do conceito. A partir daí, foi estabelecida uma escala de 0 a 1 para a pontuação de cada questão: 0-0,2 para respostas com erros conceituais ou ausência; 0,3-0,5 para respostas pouco claras, mas em parte corretas; 0,6-0,8 para respostas boas, mas incompletas; e 0,9-1,0 para respostas claras, corretas e completas. Atribuíram-se as notas de forma consistente, de modo que a nota máxima atingível fosse de 7 pontos.

Organizaram-se as notas em tabelas no Excel: para cada aluno, a nota por questão e a média obtida no total das questões. Para garantir a identificação anônima e confidencial dos alunos, utilizou-se um código de alfabeto numérico para os da escola pública (chamaremos de Escola 1). Para os da escola particular (Escola 2), adotou-se um código alfabético. Podemos visualizar uma análise sintética no gráfico. Vejamos mais detalhadamente na próxima seção.

4. Resultados e Discussões

Nesta seção, analisam-se as notas obtidas pelos alunos nos pré-testes e pós-testes, bem como as médias gerais antes e após a aplicação do jogo *Ejeção Quântica*. A análise foi conduzida sob uma perspectiva quanti-qualitativa, a fim de avaliar o impacto educativo e o potencial do jogo como estratégia didática, além de investigar o desenvolvimento conceitual dos estudantes acerca do efeito fotoelétrico.

A partir da análise das notas do pré-teste, antes da aplicação do jogo, observa-se que alguns alunos não pontuaram em nenhuma das questões, obtendo nota 0. Esse resultado indica a ausência de conhecimentos sobre o efeito fotoelétrico, evidenciando que, mesmo ao final do terceiro ano do Ensino Médio, os estudantes não haviam tido contato sistemático com esse conteúdo de Física Moderna. Verificam-se poucos acertos em questões que admitiam respostas afirmativas (“sim”); nesses casos, as respostas não foram acompanhadas de justificativas, sendo interpretadas como tentativas de explicações sem fundamentação conceitual. Ainda assim, conforme os critérios de correção previamente estabelecidos, atribuiu-se pontuação parcial a essas respostas.

Já no pós-teste, de modo geral e individual, observa-se um aumento significativo nas notas, indicando ganhos de aprendizagem para todos os participantes. Estes resultados podem ser visualizados no gráfico a seguir.

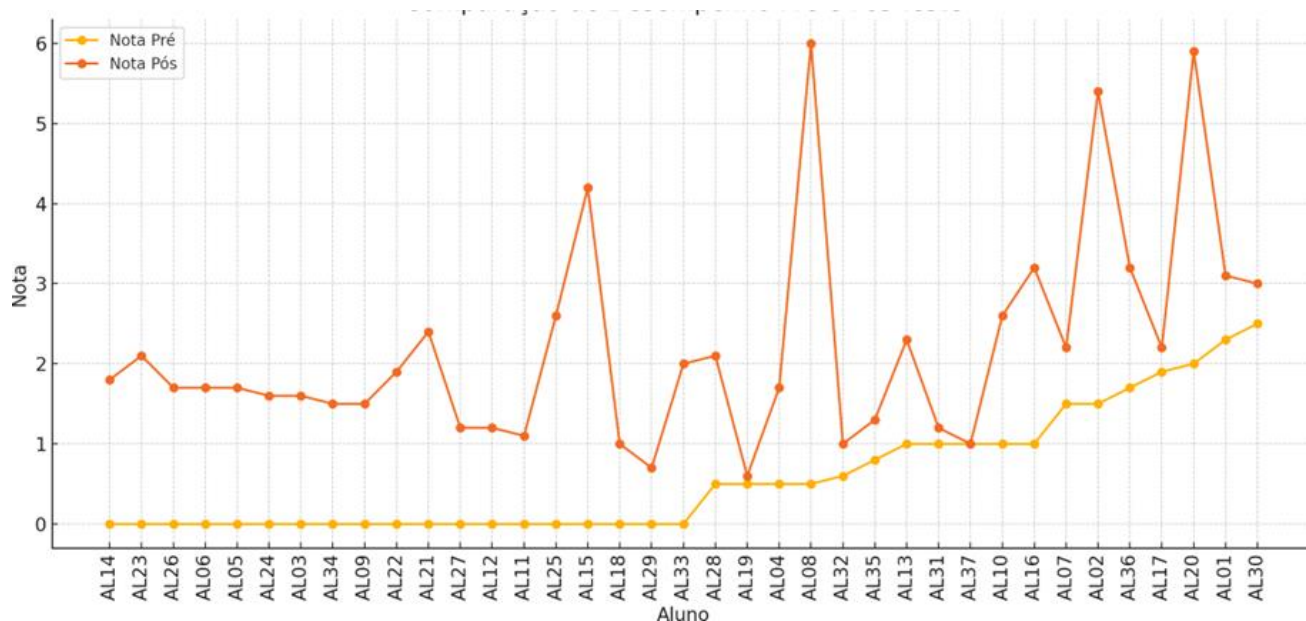


Figura 2. Comparação de Desempenho Pré e Pós-Teste.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Na sequência, discutem-se algumas questões de forma mais qualitativa, buscando identificar a relação entre os conceitos prévios dos estudantes e os mobilizados após a aplicação do jogo, conforme evidenciado pelos pós-testes.

Questão 1

Em relação à primeira pergunta — se os alunos já haviam ouvido falar sobre o efeito fotoelétrico e se saberiam explicá-lo —, no pré-teste predominam respostas como “não” ou “não sei”, o que justifica a atribuição de nota zero.

No pós-teste a maioria respondeu apenas que sim. Para estes, atribuíram-se 0,2 pontos. Outros alunos explicaram citando as expressões “arrancar” ou “tirar” e até mesmo “repelir” elétrons. Alguns ainda acrescentaram “por meio de radiação” ou “feixes de luz”.

De maneira geral, poucos descreveram, de fato, usando os termos apropriados, mas a maioria percebeu a relação entre a dinâmica do jogo e o conceito de efeito fotoelétrico.

Questão 2

Quanto à segunda questão — sobre a função trabalho dos metais, se devem variar com o tipo de metal — alguns responderam que não, mas muitos responderam que sim, principalmente no pós-teste. Considerou-se 0,5 para estes, pois não quiseram justificar suas respostas.

Inicialmente, alguns alunos tentaram explicar: um deles associando à condutibilidade, outros, associando à carga.

No pós-teste, alguns alunos relacionaram com a frequência de corte, embora não fosse o objetivo desta questão:

2. A função trabalho é a energia necessária para arrancar um elétron de um material. Você acha que metais diferentes, possuem funções trabalho diferentes?

Sim pois mantêm de frequências diferentes.

Figura 3. AL14.

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

De modo geral, observaram-se acertos, embora com poucas explicações.

Questão 3

Na terceira questão — sobre a quantização da energia e sua relação com a frequência — a princípio responderam não saber (apenas um aluno respondeu aleatoriamente, apenas que “sim”), mas no pós-teste, alguns já mencionaram que “quanto maior a frequência, maior a energia”, uma resposta considerada satisfatória, conferindo pontuação máxima a 5 alunos.

Uma das respostas pós-teste:

3. A luz pode ser quantizada em pacotes de energia chamados individualmente de quantum. Qual a relação entre a energia do quantum e a frequência da luz?

Quanto maior a frequência da luz, maior energia ~~de~~ do quantum.

Figura 4. AL16.

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Algumas respostas se aproximaram dessa, um pouco incompletas ou colocando a intensidade como frequência. Embora haja alguns equívocos, esta foi uma das questões mais respondidas. Assim, vemos evolução na elaboração desses conceitos.

Questão 4

A quarta pergunta investigou como luzes de cores diferentes possuem valores distintos de quanta de energia. No pré-teste, a maioria disse não saber. Mas no pós-teste, a maioria respondeu “sim”. Alguns explicaram um pouco:

4. Você acha que luzes de cores diferentes são formados por quanta de energia diferentes?

Sim, pois as cores presentes nos jogos, poderiam ter diferentes quantidades de energia.

Figura 5. AL33.

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

A utilização do termo “quanta de energia” confundiu quanto ao seu significado. O termo foi mencionado durante a rápida introdução ao tema, no início da aula, o que não é suficiente para um bom esclarecimento. Houve, inclusive, o questionamento do conceito por dois alunos ao final da aula, no momento destinado à discussão, após o pós-teste.

Questão 5

Na quinta questão, sobre qual tipo de luz tem maior capacidade de ejetar elétrons, alguns responderam no pré-teste que não sabiam e poucos arriscaram uma cor. Mas no pós-teste, metade dos alunos acertou. Alguns, ainda explicaram que a luz ultravioleta é mais energética:

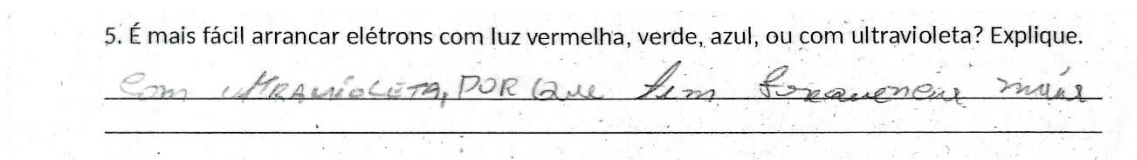


Figura 6. AL08.

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Poucos responderam outra cor ou não responderam, de modo que esta foi uma das questões mais bem pontuadas, o que mostra que o que se pretendia foi alcançado: que percebessem que a luz ultravioleta é mais energética e, portanto, interage com todos os metais considerados no jogo.

Questão 6:

Na sexta questão, sobre se há a possibilidade de qualquer luz conseguir ejetar elétrons de qualquer metal, a princípio a maioria disse não saber e, por fim, após o jogo, alguns acertaram, afirmando que “não” e explicando:

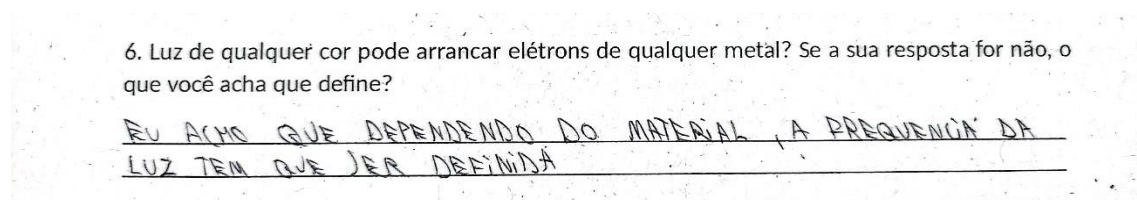


Figura 7. AL31.

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

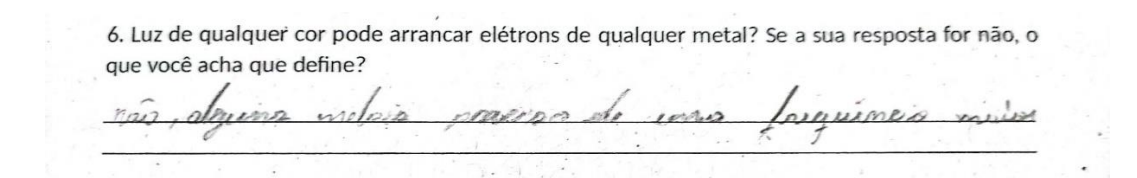


Figura 8. AL25.

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

“não, alguns metais precisa(sic) de uma frequência maior.”

Ainda:

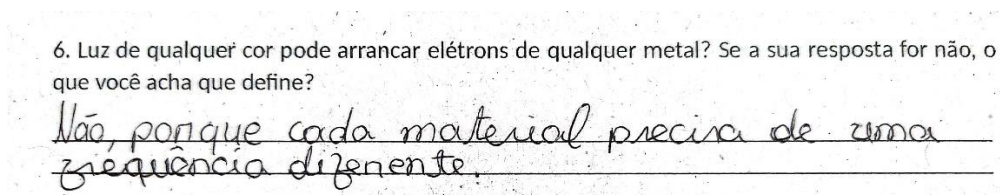


Figura 9. AL02.

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Notamos aqui duas características desejadas: função trabalho e frequência, embora de forma implícita.

Questão 7

Na última questão, pediu-se que considerassem qualquer cor de luz e refletissem sobre a quantidade de elétrons que poderiam ser ejetados ao aumentar a intensidade luminosa. No pré-teste, muitos afirmaram não saber responder ou deixaram em branco. No pós-teste, a maioria ainda apresentou dificuldades, sendo que apenas um aluno procurou elaborar uma resposta mais detalhada:

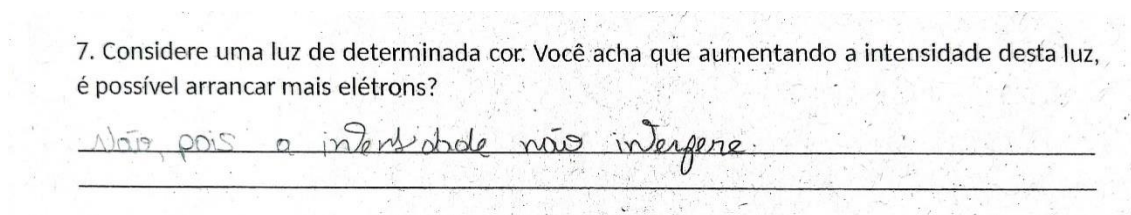


Figura 10. AL17.

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

De fato, tal compreensão requer bastante atenção e não foi tão facilmente percebida em analogia ao jogo, mesmo estando garantida pelas regras. É preciso reforçar para os jogadores que um pacote de energia interage individualmente com um elétron e que, se a frequência estiver abaixo da frequência de corte, o aumento da intensidade afetará apenas o número de pacotes que chegam ao metal, mas não o valor da energia contida em cada pacote. Então, nesse caso, não arrancaria mais elétrons.

Por outro lado, se a luz possuir frequência suficiente, o que equivale à possibilidade de montar uma trinca, então sim, a intensidade interfere. Neste caso, seria como se o jogador possuísse mais cartas de frequência, para compor mais trincas. Logo, mais elétrons ejetados. Essa ideia foi uma das bases para o desenvolvimento da ferramenta, ao representar as frequências por meio de cartas. Uma carta de frequência baixa não se combina com cartas de metais que possuem função trabalho mais alta, o jogo não permite, e isso é explicitado no design visual das cartas.

Apesar das dificuldades observadas nesta questão específica, ao retomar o gráfico, podemos ver nas notas que, além de mais respostas, houve mais acertos. O ganho médio foi calculado a partir da diferença entre as notas pré-teste e pós-teste de cada aluno: valores sempre positivos, ou seja, os alunos melhoraram seu desempenho após a utilização do jogo. Esse resultado indica um impacto pedagógico positivo na metodologia adotada.

4.1 Aplicação do jogo na escola particular de ensino

Questão 1:

Tratando do conceito e do conhecimento (já ter ouvido falar do) efeito fotoelétrico, praticamente todos disseram nunca ter ouvido falar, deixaram em branco ou disseram que não, mas três alunos responderam de forma incompleta. No pós-teste, 13 alunos, mais da metade, responderam satisfatoriamente, pontuando entre 0,8 e 1. Outros ainda responderam de forma um pouco incompleta. Assim, obteve-se um bom ganho.

1. Você já ouviu falar sobre "efeito fotoelétrico"? Em caso afirmativo, saberia descrevê-lo?

Sim, retirar os elétrons do metal através da radiação

Figura 11. Aluno L.

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

Questão 2:

Sobre a função trabalho dos metais, definiu-se de forma sucinta e interrogou-se se seriam diferentes para cada tipo. A grande maioria respondeu que sim, apenas um aluno disse que não. Como nos resultados do teste na outra escola.

Questão 3:

Tratando-se da relação entre quantum e frequência de luz, no pré-teste, no geral disseram não saber, ou deixaram em branco, mas no pós-teste alguns associaram bem, como nos exemplos a seguir:

3. A luz pode ser quantizada em pacotes de energia chamados individualmente de quantum. Qual a relação entre a energia do quantum e a frequência da luz?

Maiores frequência = Maiores energia do quantum

Figura 12. Aluno A.

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

3. A luz pode ser quantizada em pacotes de energia chamados individualmente de quantum. Qual a relação entre a energia do quantum e a frequência da luz?

Energia do quantum é a frequência da radiação $\times h$.
Frequência da luz é a radiação.

Figura 13. Aluno I.

Fonte: Elaborada pelos autores (2025).

“Energia do quantum é a junção da radiação e (sic) h .

Frequência de luz é a radiação.”

Essa foi uma das questões com mais respostas variadas e mais bem pontuada.

Questão 4:

Sobre a questão que buscava relacionar cores e energia, uma boa parte respondeu razoavelmente tanto no pré-teste quanto no pós-teste, de forma equilibrada. Então, essa questão não interferiu nos ganhos. Este resultado pode indicar que esses conhecimentos prévios foram bem trabalhados anteriormente na disciplina de física.

Questão 5:

Quando questionados sobre qual luz possui maior capacidade de ejetar elétrons, no pré-teste, poucos acertaram, pontuaram minimamente. Já no pós-teste, 1/3 respondeu satisfatoriamente: “luz UV”, apresentando o argumento de que esta é “mais forte”. Alguns responderam apenas “ultravioleta”, mas não atingiram a pontuação máxima por não terem explicado, como se pedia no enunciado. Apenas três alunos citaram outra cor. Um aluno tratou da quantidade de elétrons:

“Ambas arrancam a mesma quantidade de elétrons, o que muda é que a UV arranca de qualquer metal.” (Aluno H)

Como na aplicação em outra escola, essa questão apresentou bons resultados.

Questão 6:

Sobre a relação entre frequências e função trabalho, inicialmente, muitos mostraram não ter noções prévias a respeito, mas, no pós-teste, boa parte soube definir acertadamente.

Questão 7:

Sobre a intensidade da luz no fenômeno, a princípio, não souberam responder. Alguns disseram que não, mas no pós-teste, apenas 5 alunos responderam que a intensidade interfere. Os outros responderam que não. Um aluno acrescentou: “Não, só pode arrancar 1.” Entendeu-se que o aluno atentou quando, na discussão inicial, explicou-se que cada fóton interage individualmente com cada elétron.

5. Considerações Finais

A utilização do jogo *Ejeção Quântica* nas aulas de física objetivou empregar uma metodologia ativa de ensino que permitiu aumentar o interesse dos alunos, facilitando —como sugerido pelo aumento das médias no todo —um entendimento básico do conceito de efeito fotoelétrico de forma envolvente e inclusiva.

O foco e a atenção mantidos no desenvolvimento da atividade, mesmo em um jogo analógico, implementado sem a necessidade de recursos financeiros nem tecnológicos relevantes, demonstraram que a Aprendizagem Baseada em Jogos é uma ótima forma de abordar o assunto de forma engajadora. Diante disso, defende-se a ampliação da produção e do uso da metodologia nas escolas.

A capacidade de reflexão sobre os conceitos trazida pelo jogo —de acordo com as teorias da aprendizagem — é de extrema importância para que a física passe a fazer sentido para os alunos e para a sociedade, ainda mais a física quântica. Precisamos discutir mais sobre seu significado e suas aplicações no mundo real, impedindo que pseudociências continuem fazendo sentido para a sociedade em geral, devido à falta de conhecimentos científicos contemporâneos que deveriam ser oferecidos de forma eficiente nas escolas.

Como sugestão para futuras pesquisas sobre aplicação de jogos como ferramenta pedagógica, devemos ressaltar a importância de investigar as perspectivas dos alunos e, em especial, dos professores a respeito dessa abordagem, já que a implementação dessas inovações constitui um desafio. As mudanças são necessárias no âmbito escolar, em diversos aspectos, e as inovações precisam visar a facilitação da aprendizagem. A formação continuada dos professores também é um dos pontos-chave para essa melhoria, pois devemos estar profissionalmente alinhados às exigências do ensino atual e dispostos a implementar novas alternativas de ensino. A inclusão de metodologias ativas é uma saída que pode contribuir positivamente para o interesse e desenvolvimento intelectual e social do aluno.

Frente aos resultados de interpretação do fenômeno, por parte dos alunos, nos casos de variação da intensidade da luz, considerando as dificuldades de compreensão expressas, está em fase de criação uma extensão do jogo, buscando articular mais o elemento brilho.

Referências

- Antunes, J. & Rodrigues, E. S. J. Análise do desenvolvimento temático dos estudos sobre games na educação. *Educação e Pesquisa*, v. 48, e240020, 2022.
- Carvalho, C. V. (2015). Aprendizagem baseada em jogos-Game-based learning. In: *II World Congress on Systems Engineering and Information Technology* (pp. 176-181).
- Csikszentmihalyi, M. (2000). *Beyond boredom and anxiety*. Jossey-bass.
- Diesel, A., Baldez, A. L. S., & Martins, S. N. (2017). Os princípios das metodologias ativas de ensino: uma abordagem teórica. *Revista Thema*, 14(1), 268-288.
- Huizinga, J. (2000). *Homo Ludens: O Jogo Como Elemento da Cultura*. São Paulo: Editora Perspectiva S. A.
- Kishimoto, T. M. (2017). Jogo, brinquedo, brincadeira e a educação (p. 96). São Paulo, e-PUB.
- Morán, J. (2015). Mudando a educação com metodologias ativas. *Coleção mídias contemporâneas. Convergências midiáticas, educação e cidadania: aproximações jovens*, 2(1), 15-33.
- Moreira, M. A. (1999). *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: EPU.
- Moreira, M. A. (2011). *Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares*. São Paulo: Editora Livraria da Física.
- Moreira, M. A. (2017). Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. *Revista do professor de física*, 1(1), 1-13.
- Moreira, M. A. (2018). Uma análise crítica do ensino de Física. *Estudos avançados*, 32(94), 73-80.

- Moreira, M. A. (2022). Aprendizagem ativa com significado. *Revista Espaço Pedagógico*, 29(2), 405-416.
- Sanches, M. H. B. (2021). *Jogos digitais, gamificação e autoria de jogos na educação*. Editora Senac São Paulo.
- Silva, J. B. D., Sales, G. L., & Castro, J. B. D. (2019). Gamificação como estratégia de aprendizagem ativa no ensino de Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 41(4), e20180309.
- Sylvestre, D. R. P., da Silva, G. N., de Jesus Carvalho, P. P., & Sondermann, D. V. C. (2024). Que Comecem os Jogos: um Estudo sobre a Aprendizagem Baseada em Jogos na Educação Profissional e Tecnológica. *EaD em Foco*, 14(1), e2196-e2196.