

**ESCAPE ROOM DIGITAL COM LASTRO EM FENÔMENOS ONDULATÓRIOS
(MECÂNICOS E ELETROMAGNÉTICOS): UMA PROPOSTA DE GAMEFICAÇÃO
AUSUBELIANA**

**A DIGITAL ESCAPE ROOM BASED ON WAVE PHENOMENA (MECHANICAL AND
ELECTROMAGNETIC): AN AUSUBELIAN GAMIFICATION PROPOSAL**

**UNA SALA DE ESCAPE DIGITAL BASADA EN FENÓMENOS ONDULATORIOS
(MECÁNICOS Y ELECTROMAGNÉTICOS): UNA PROPUESTA DE GAMIFICACIÓN
AUSUBELIANA**

 <https://doi.org/10.56238/arev7n11-209>

Data de submissão: 19/10/2025

Data de publicação: 19/11/2025

Estefane Bahia da Silva

Aluno do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Pólo 60

Instituição: Universidade do Estado da Bahia (UNEBA) - Campus I

E-mail: estefane_bahia@hotmail.com

Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-1093-7904>

Marcelo Albano Moret Simões Gonçalves

Professor Doutor

Instituição: Dep. de Ciências Exatas e da Terra - Campus I, Universidade do Estado da Bahia
(UNEBA)

E-mail: magoncalves@uneb.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-0051-6309>

José Roberto de Araújo Fontoura

Professor Doutor

Instituição: Dep. de Ciências Exatas e da Terra - Campus I, Universidade do Estado da Bahia
(UNEBA)

E-mail: jfontoura@uneb.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9703-835X>

José Vicente Cardoso Santos

Professor Doutor

Instituição: Dep. de Ciências Exatas e da Terra - Campus I, Universidade do Estado da Bahia
(UNEBA)

E-mail: vicentecardoso@uneb.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-2501-6175>

RESUMO

Essa pesquisa considera o ensino de Física, especialmente na área de ondulatória, enfrenta desafios devido à abstração dos conceitos, como interferência, difração, ressonância, eco e batimentos sonoros, tornando o aprendizado difícil e pouco envolvente. Dessa maneira tem como objetivo geral desenvolver a eficácia de um escape room digital gamificado, fundamentado em fenômenos da Física Ondulatória - como interferência, difração, reflexão e refração -, visando melhorar o engajamento e a compreensão conceitual dos estudantes do ensino médio. Entre os objetivos específicos, destacam-se:

identificar as maiores dificuldades conceituais dos alunos; criar desafios interativos no ambiente Genially; aplicar o jogo como recurso pedagógico e, por fim, avaliar a aceitação do produto e a motivação da turma teste. A metodologia compreende revisão bibliográfica sobre gamificação e ensino de Física, análise de estudos de caso e desenvolvimento de um escape room digital composto por quatro enigmas progressivos, cada um abordando um fenômeno ondulatório distinto. O jogo será aplicado em uma turma piloto (beta), utilizando pré e pós-testes de aprendizagem, questionários de motivação e observação participante para avaliar a aceitação do produto na turma. A fundamentação teórica apoia-se na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e nos princípios da gamificação, associando aprendizagem ativa e imersividade digital. Conclui-se que o uso de escape rooms digitais, ao integrar elementos de jogo, narrativa e simulação interativa, contribui para superar as barreiras da abstração no ensino de Física, promovendo um aprendizado mais dinâmico, significativo e colaborativo, capaz de aumentar tanto a motivação quanto a retenção dos conteúdos pelos estudantes.

Palavras-chave: Gamificação. Física Ondulatória. Escape Room. Ensino Digital.

ABSTRACT

This research considers that the teaching of Physics, especially in the area of wave phenomena, faces challenges due to the abstraction of concepts such as interference, diffraction, resonance, echo, and sound beats, making learning difficult and unengaging. Therefore, its general objective is to develop the effectiveness of a gamified digital escape room, based on wave physics phenomena – such as interference, diffraction, reflection, and refraction – aiming to improve the engagement and conceptual understanding of high school students. Specific objectives include: identifying the students' greatest conceptual difficulties; creating interactive challenges in the Genially environment; applying the game as a pedagogical resource; and finally, evaluating the product's acceptance and the motivation of the test group. The methodology comprises a literature review on gamification and physics teaching, analysis of case studies, and the development of a digital escape room composed of four progressive puzzles, each addressing a distinct wave phenomenon. The game will be applied to a pilot (beta) class, using pre- and post-learning tests, motivation questionnaires, and participant observation to evaluate the product's acceptance within the class. The theoretical framework is based on Ausubel's Theory of Meaningful Learning and the principles of gamification, associating active learning and digital immersion. It is concluded that the use of digital escape rooms, by integrating elements of game, narrative, and interactive simulation, contributes to overcoming the barriers of abstraction in physics teaching, promoting more dynamic, meaningful, and collaborative learning, capable of increasing both motivation and content retention among students.

Keywords: Gamification. Wave Physics. Escape Room. Digital Learning.

RESUMEN

Esta investigación considera que la enseñanza de la Física, especialmente en el área de los fenómenos ondulatorios, enfrenta desafíos debido a la abstracción de conceptos como interferencia, difracción, resonancia, eco y pulsaciones sonoras, lo que dificulta y desmotiva el aprendizaje. Por lo tanto, su objetivo general es desarrollar la efectividad de una sala de escape digital gamificada, basada en fenómenos de física ondulatoria —como interferencia, difracción, reflexión y refracción—, con el fin de mejorar la participación y la comprensión conceptual de estudiantes de bachillerato. Los objetivos específicos incluyen: identificar las principales dificultades conceptuales de los estudiantes; crear desafíos interactivos en el entorno Genially; aplicar el juego como recurso pedagógico; y, finalmente, evaluar la aceptación del producto y la motivación del grupo de prueba. La metodología comprende una revisión bibliográfica sobre gamificación y enseñanza de la física, el análisis de estudios de caso y el desarrollo de una sala de escape digital compuesta por cuatro rompecabezas progresivos, cada uno

de los cuales aborda un fenómeno ondulatorio distinto. El juego se aplicará a un grupo piloto (beta), utilizando pruebas previas y posteriores al aprendizaje, cuestionarios de motivación y observación participante para evaluar la aceptación del producto por parte del grupo. El marco teórico se basa en la Teoría del Aprendizaje Significativo de Ausubel y los principios de la gamificación, asociando el aprendizaje activo y la inmersión digital. Se concluye que el uso de salas de escape digitales, al integrar elementos de juego, narrativa y simulación interactiva, contribuye a superar las barreras de abstracción en la enseñanza de la física, promoviendo un aprendizaje más dinámico, significativo y colaborativo, capaz de aumentar tanto la motivación como la retención de contenidos entre los estudiantes.

Palabras clave: Gamificación. Física Ondulatoria. Sala de Escape. Educación Digital.

1 INTRODUÇÃO

O ensino de Física, em escala global, enfrenta um desafio persistente: transformar conteúdos conceitualmente abstratos em experiências de aprendizagem significativas e engajadoras. Nas últimas décadas, avanços tecnológicos e metodológicos têm ampliado as possibilidades de inovação pedagógica, sobretudo com a incorporação da gamificação e dos ambientes digitais interativos. Essa tendência reflete uma mudança paradigmática na educação científica contemporânea, que busca integrar o jogo, a experimentação e o protagonismo estudantil como elementos estruturantes do processo de ensino-aprendizagem (Deterding *et al.*, 2011; López-Pérez *et al.*, 2025).

No cenário internacional, as estratégias baseadas em escape rooms educacionais vêm se destacando como instrumentos eficazes para promover o aprendizado ativo, a resolução de problemas e o desenvolvimento de competências socioemocionais (Fotaris e Mastoras, 2019). Tais ambientes, quando articulados ao ensino de ciências, criam situações imersivas em que o estudante é desafiado a aplicar conhecimentos teóricos em contextos práticos, superando as barreiras da abstração. No contexto brasileiro, essa abordagem se revela particularmente promissora, considerando os desafios históricos do ensino de Física, marcado pela dificuldade de visualização dos fenômenos e pelo distanciamento entre teoria e prática.

Em nível local, essa problemática manifesta-se de forma mais aguda no ensino de Ondulatória - área que abrange conceitos como interferência, difração, ressonância, eco e batimentos sonoros. Por serem fenômenos invisíveis ao olhar humano, sua assimilação exige estratégias que tornem o conteúdo tangível e significativo. Nesse sentido, o presente estudo propõe a criação de um escape room digital gamificado, desenvolvido na plataforma Genially, que explora esses conceitos por meio de desafios, enigmas e simulações interativas. Essa proposta se alinha aos princípios do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) e às diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), buscando promover o aprendizado ativo, o raciocínio crítico e o trabalho colaborativo em sala de aula.

Dessa maneira o objetivo geral deste trabalho é desenvolver e avaliar a aceitação de um escape room digital gamificado baseado em fenômenos ondulatórios como ferramenta de ensino para o nível médio, com vistas à melhoria do engajamento e da compreensão conceitual dos estudantes. Para alcançar esse propósito, foram definidos os seguintes objetivos específicos: (i) identificar os conceitos de Física Ondulatória que apresentam maior dificuldade de assimilação; (ii) desenvolver atividades gamificadas que abordem interferência, difração, ressonância, eco e batimentos sonoros; (iii) construir um ambiente digital interativo no Genially com mecânicas de escape room, incluindo desafios, dicas e sistema de pontuação.

A metodologia adotada combina uma revisão bibliográfica (Lakatos e Marconi, 2022) sobre gamificação e ensino de Física com o desenvolvimento e a implementação de um estudo de caso. A fundamentação teórica baseia-se, entre outros, em Nussenzveig (2002), que sistematiza os conceitos de ondas, oscilações e fluidos, oferecendo sustentação científica à elaboração dos enigmas e desafios propostos. A etapa empírica envolve o diagnóstico das principais dificuldades dos estudantes em relação à Ondulatória, seguido do desenvolvimento do jogo digital, de aplicação prática em contexto escolar e de posterior avaliação de seu impacto na aprendizagem e na motivação discente (Zichermann e Cunningham, 2011; Porto e Lima, 2017).

Assim, o estudo pretende contribuir para o campo do ensino de Física ao investigar de que modo a gamificação - especialmente por meio dos escape rooms digitais - pode tornar o aprendizado dos fenômenos ondulatórios mais acessível, dinâmico e prazeroso. Acredita-se que tal abordagem favorece não apenas a compreensão conceitual, mas também o fortalecimento da autonomia intelectual e do interesse pela ciência, consolidando-se como um modelo inovador de ensino mediado por tecnologias digitais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A FÍSICA DOS FENÔMENOS ONDULATÓRIOS

Os fenômenos ondulatórios constituem um dos pilares fundamentais da Física, descrevendo processos de propagação de energia sem transporte de matéria, a compreensão dos conceitos ondulatórios é essencial para o estudo de sistemas acústicos, ópticos e eletromagnéticos, sendo base para o desenvolvimento de tecnologias modernas em comunicação, medicina e engenharia (Bleistein, 2012).

Segundo o que preconiza Towne (2014), as ondas são perturbações que se propagam em um meio, ou no vácuo, no caso das ondas eletromagnéticas, obedecendo leis específicas de oscilação, interferência e difração.

De maneira análoga Nussenzveig, (2002) menciona sobre as principais relações matemáticas e seus conceitos na física ondulatória, conforme evidenciado no Quadro 1, a seguir:

Quadro 1: Relações Matemáticas Fundamentais usadas na Física Ondulatória

Conceito e Significado	Relação Matemática Associada
Descrição matemática de comportamento ondulatório padrão. Função de onda de onda harmônica progressiva	$y(x, t) = A \sin(kx - \omega t + \varphi)$
Relação de propagação (velocidade da onda)	$v = \frac{k}{\omega} = \lambda f$
Equação de onda (derivada da função de onda)	$\left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) = \left(\frac{1}{v^2} \right) * \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$

Relação entre energia e amplitude (Indicando que a energia transportada pela onda é proporcional ao quadrado da amplitude.)	$E \propto A^2$
Período e freqüência	$T = \frac{1}{f}$
Relação de fase, ou seja, duas partículas estão em fase se a diferença de fase for um múltiplo inteiro de 2π	$\Delta\varphi = 2n\pi$

Observações - onde: A = amplitude; K = $2\pi/\lambda$ = número de onda; $\omega=2\pi f$ = frequência angular; λ = comprimento de onda; f = freqüência; φ = fase inicial

Fonte: Autores.

Falkenburg (2011) destaca que a dualidade onda-partícula, consolidada a partir dos experimentos de interferência de elétrons e fótons, ampliou a noção clássica de onda ao integrá-la ao domínio quântico. A concepção de Torre, (2012) revela que as propriedades ondulatórias estão associadas à probabilidade de localização de partículas, conforme o princípio de complementaridade de Bohr, esse entendimento, foi importante para a formulação da mecânica quântica e para o desenvolvimento de dispositivos ópticos e eletrônicos modernos.

Por sua vez, ainda sobre o mesmo assunto, Anastopoulos (2020), enfatiza que o conceito de onda ultrapassa a descrição puramente física, assumindo um papel ontológico na representação da matéria e da energia.

Nesse cenário tem-se também alguns conceitos fundamentais usados no entendimento dos fenômenos ondulatórios, conforme elucidado e concatenados no Quadro 2, a seguir:

Quadro 2: Conceitos Fundamentais

Conceitos	Significados e Relações
Interferência	A interferência é um dos fenômenos ondulatórios mais fundamentais e ilustrativos para compreender o comportamento das ondas, sejam elas luminosas, sonoras ou mecânicas. educacional, sua abordagem por meio de metodologias ativas, como Escape rooms digitais, tem se mostrado promissora para promover o aprendizado significativo e experimental de conceitos abstratos da Física moderna.
Princípio da Superposição	O princípio da superposição é um dos fundamentos mais importantes da Física, especialmente no estudo de fenômenos ondulatórios e mecânica quântica. Em termos simples, ele afirma que quando duas ou mais ondas se encontram no mesmo ponto do espaço, a perturbação resultante é a soma algébrica das perturbações individuais causadas por cada onda.
Condições de interferência Destruativa	A interferência destrutiva é um caso particular do princípio da superposição, que ocorre quando duas ondas de mesma frequência e amplitude se encontram em oposição de fase - ou seja, os vales de uma coincidem com os picos da outra. Quando isso acontece, as perturbações se cancelam mutuamente, resultando em uma diminuição ou até anulação total da amplitude no ponto de encontro. Assim, na Interferência construtiva as ondas se somam, gerando um reforço e na Interferência destrutiva as ondas se anulam, gerando um cancelamento. A interferência destrutiva é observada em fenômenos como o silêncio produzido por fones com cancelamento ativo de ruído, as franjas escuras nos experimentos de dupla fenda de Young, e as regiões de sombra em ondas mecânicas na água.

Difração	<p>A difração constitui-se como um dos fenômenos centrais à física ondulatória, caracterizando-se pela dispersão ou desvio das frentes de onda ao encontrarem obstáculos ou fendas cujas dimensões são comparáveis ao comprimento de onda da onda incidente. Mais precisamente, segundo o estudo de Matejak Cvenic <i>et al.</i>, (2023) a difração de luz em fendas ou aberturas pode gerar padrões de interferência que evidenciam a natureza ondulatória da luz. Assim, quando uma onda passa por à uma fenda com determinada largura “a”, o padrão de difração observado em um anteparo obedece condição:</p> $a \sin \theta = m\lambda$ <p>onde: a = largura da fenda, λ = comprimento de onda, θ = ângulo de difração (posição dos mínimos) e m = $\pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ (ordem dos mínimos de intensidade).</p>
Difração por Duas Fendas	<p>A difração por duas fendas é um dos experimentos mais emblemáticos da Física, pois evidencia simultaneamente os fenômenos de interferência e difração das ondas. É também uma das bases experimentais que consolidaram a natureza ondulatória da luz, descrita por Thomas Young no início do século XIX. Quando uma onda (como luz, som ou água) passa por duas fendas estreitas e próximas entre si, cada fenda atua como uma nova fonte de ondas secundárias. Essas ondas se espalham (difratam) e, ao se encontrarem, interferem entre si - produzindo um padrão de franjas claras e escuras (ou máximos e mínimos de intensidade) em um anteparo. Assim, o padrão observado é uma combinação de dois fenômenos simultâneos: Interferência, causada pela superposição das ondas provenientes de cada fenda. Difração, que modula a intensidade das franjas, tornando o padrão central mais intenso e as franjas laterais progressivamente menos visíveis.</p>
Difração em Rede de Fendas	<p>A difração em redes de fendas (ou rede de difração) é uma generalização do experimento de duas fendas. Em vez de apenas duas, uma rede de difração contém um grande número de fendas igualmente espaçadas, que produzem ondas coerentes cuja superposição resulta em padrões de interferência muito nítidos e regulares. Esse fenômeno é amplamente utilizado em laboratórios e tecnologias ópticas modernas para analisar comprimentos de onda da luz, sendo a base de instrumentos como espectrômetros e monocromadores.</p> <p>A condição de interferência construtiva (máximos principais) é dada por: $d \cdot \sin(\theta) = n\lambda$; onde d é o espaçamento entre fendas (passo da rede), λ o comprimento de onda, θ o ângulo de difração e n a ordem do máximo ($n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$).</p>
Ressonância	<p>Todo sistema que pode oscilar - uma mola, uma corda, uma coluna de ar, um circuito elétrico - possui uma frequência natural de vibração. Quando esse sistema é excitado por uma força externa que oscila na mesma frequência, a energia é transferida de forma muito eficiente, e a amplitude de oscilação aumenta significativamente. Esse efeito é chamado de ressonância.</p>
Eco	<p>Quando uma onda sonora se propaga no ar e atinge um obstáculo (como uma parede, montanha ou prédio), parte da energia sonora é refletida, retornando em direção à fonte. Se o tempo entre o som emitido e o som refletido for maior que 0,1 segundo, o ouvido humano consegue perceber o som refletido como um eco. Quando o intervalo é menor que isso, ocorre o fenômeno da reverberação, que é uma sobreposição contínua do som refletido com o original.</p>
Batimentos Sonoros	<p>Os batimentos sonoros constituem um fenômeno ondulatório decorrente da superposição de duas ondas sonoras de frequências ligeiramente diferentes, resultando em uma variação periódica na intensidade percebida do som. Essa interferência alternada entre reforço e cancelamento caracteriza-se pela percepção de pulsos rítmicos conhecidos como beats (batimentos), amplamente estudados no campo da acústica e da psicoacústica (Moreno Montoya, 2025).</p>

Fonte: Autores.

Importante considerar que, nos estudos recentes reforçam que a integração de recursos digitais e físicos melhora o engajamento e a retenção de conceitos na educação científica. Choudhary *et al.*, (2019) defendem que o uso de simulações e ambientes imersivos, ao combinar elementos de aprendizagem colaborativa, desperta o pensamento crítico e permite visualizar fenômenos quânticos, como a interferência de fótons únicos, em contextos acessíveis aos estudantes.

Adicionalmente, a pesquisa de Khasanova e Shakhnoza (2022) demonstra que métodos interativos para o ensino de interferência de luz aumentam significativamente o interesse dos alunos, pois transformam o conteúdo teórico em experiências de aprendizagem perceptíveis e dinâmicas. De forma complementar Putri, *et al.*, (2021) desenvolveram dispositivos experimentais com o aplicativo Phyphox para explorar a interferência sonora, mostrando que a experimentação assistida por tecnologia melhora o desempenho conceitual dos estudantes em temas relacionados a ondas estacionárias e interferência construtiva. Por sua vez, Bartosovic *et al.*, (2025) destacam que a aprendizagem baseada em fenômenos ondulatórios, quando integrada a cursos introdutórios de Física com recursos digitais, promove uma compreensão mais contextualizada dos conceitos, estimulando a autonomia cognitiva e o raciocínio científico.

Importante também considerar que a importância de abordagens experimentais e digitais na aprendizagem da ressonância. Por exemplo, Mirza, *et al.*, (2022) desenvolveram recursos didáticos baseados em modelos ISLE-STEM (*Investigative Science Learning Environment - Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) para o ensino de ondas estacionárias e ressonância, utilizando simulações digitais e instrumentos laboratoriais que permitem ao estudante observar a formação de ondas estacionárias e compreender intuitivamente o conceito de ressonância acústica (Mirza *et al.*, 2022).

Segundo Bunawan e Yanti (2020), a dificuldade de compreensão desse fenômeno entre estudantes está associada à limitação de práticas pedagógicas que contextualizem o conceito de ressonância de forma interativa. Em sua análise sobre alfabetização científica em Física de ondas, os autores destacam a necessidade de ambientes de aprendizagem que estimulem o raciocínio experimental e a exploração conceitual de sistemas oscilatórios (Bunawan e Yanti, 2020).

Complementarmente, Chekour (2018) investigou o impacto da simulação do fenômeno de ressonância na aprendizagem de conceitos de Física, demonstrando que o uso de softwares interativos melhora significativamente a percepção conceitual dos alunos em relação à energia e à frequência natural de sistemas oscilatórios (Chekour, 2018). Esse tipo de recurso tem se mostrado especialmente relevante em contextos de ensino digital, como *Escape rooms* educacionais, que promovem imersão e engajamento cognitivo.

2.2 A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

A Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por David Paul Ausubel na década de 1960, representa um dos marcos mais importantes da psicologia cognitiva aplicada à educação. Segundo Ausubel (1963, 2003), o fator mais relevante que influencia a aprendizagem é aquilo que o aluno já

sabe. Assim, o novo conhecimento deve ser ancorado em conceitos preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz, denominados 'subsunções'. Quando ocorre essa ancoragem, a aprendizagem é dita significativa; quando não, ela se torna mecânica ou memorística.

A aprendizagem significativa ocorre, portanto, quando um novo conteúdo é relacionado de maneira não arbitrária e substantiva aos conhecimentos prévios do aluno. Ausubel (2000) destaca que esse processo envolve uma interação entre o novo e o antigo conhecimento, na qual ambos se modificam. O conhecimento prévio atua como um ponto de ancoragem, facilitando a integração do novo material à estrutura cognitiva do sujeito.

De acordo com Moreira (2012), a teoria ausubeliana é essencialmente cognitivista, pois considera que a mente organiza, transforma e dá sentido à informação recebida. Dessa forma, a aprendizagem significativa depende tanto da disposição do aprendiz em aprender quanto da natureza do material didático e da forma como ele é apresentado. O professor, nesse contexto, assume o papel de mediador, facilitando a conexão entre o novo conhecimento e as ideias relevantes já internalizadas pelo estudante.

Ausubel (1980) propôs ainda a utilização de organizadores prévios - materiais introdutórios que apresentam, de forma ampla e inclusiva, os conceitos-chave de uma disciplina - com o intuito de preparar a estrutura cognitiva do aluno para a aprendizagem subsequente. Esses organizadores favorecem a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora, processos que contribuem para uma compreensão mais profunda e coerente do conteúdo.

A diferenciação progressiva refere-se à ampliação e ao refinamento dos conceitos já existentes, enquanto a reconciliação integradora diz respeito à capacidade de integrar novas informações, eliminando inconsistências e estabelecendo relações hierárquicas entre ideias (Moreira, 2011). Essa visão hierárquica da aprendizagem distingue Ausubel de teóricos como Piaget e Vygotsky, pois, embora reconheça a importância da interação social, ele enfatiza o papel do conhecimento prévio como estrutura cognitiva organizadora.

A teoria de Ausubel tem sido amplamente aplicada no ensino de ciências e na formação de professores, especialmente por sua ênfase na aprendizagem significativa como alternativa ao ensino tradicional, centrado na memorização. Em contextos contemporâneos, autores como Novak e Gowin (1996) ampliaram as contribuições de Ausubel ao desenvolverem os mapas conceituais, ferramentas gráficas que visualizam as relações hierárquicas entre conceitos, reforçando a importância da organização cognitiva para o aprendizado.

Em síntese, a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel destaca que a compreensão e a retenção duradoura do conhecimento dependem da integração do novo conteúdo à estrutura cognitiva

do aprendiz. Assim, o ensino deve promover situações que favoreçam a relação lógica, coerente e contextualizada entre o conhecimento prévio e o novo, tornando o processo educativo mais reflexivo, duradouro e transformador.

2.3 ENSINO POR GAMIFICAÇÃO

A gamificação, ao integrar elementos de jogos - como desafios, recompensas e feedbacks - em contextos educacionais não-lúdicos, promove maior engajamento e persistência dos estudantes (Gini, 2025). Baseada em teorias motivacionais, a abordagem busca equilibrar recompensas extrínsecas e motivação intrínseca, conforme demonstram os estudos de Coelho *et al.* (2025), que observaram melhor desempenho em ambientes digitais com múltiplos elementos de jogo, mas também apontaram riscos de sobrecarga cognitiva quando tais elementos são mal implementados. Cunha (2024) reforça que as metodologias ativas, apoiadas em desafios digitais, ampliam o engajamento e favorecem a associação entre teoria e experiência sensorial.

Outro princípio essencial abordado é o do feedback imediato, que atua como suporte ao ciclo de aprendizagem, fortalecendo o senso de competência e a autorregulação (Christopoulos, 2023). Zourmpakis *et al.* (2023) complementam ao demonstrar que o uso de gamificação adaptativa em ambientes de ciências impacta positivamente a motivação de alunos. Já Park *et al.* (2021) e Fuchs (2025) salientam a importância da personalização e do alinhamento pedagógico no design gamificado, a fim de evitar que os elementos de jogo se tornem superficiais e desvinculados dos objetivos de aprendizagem.

A seção sobre Aprendizagem Baseada em Jogos (Game-based Learning - GBL) amplia a discussão ao apresentar essa metodologia como evolução da gamificação, unindo interatividade e objetivos pedagógicos formais. Segundo Dahalan *et al.* (2024), o GBL favorece a retenção do conhecimento e o desenvolvimento de competências práticas, enquanto Camacho-Sánchez e Manzano-León (2023) destacam sua capacidade de promover autonomia, colaboração e aprendizagem ativa.

Carvalho e Coelho (2022) apontam ainda o papel do GBL na personalização e experimentação em ambientes simulados, e Lamrani e Abdelwahed (2020) demonstram sua relevância para o desenvolvimento cognitivo e socioafetivo em crianças. Karagiorgas e Niemann (2017) sintetizam que tanto a gamificação quanto o GBL compartilham os mesmos fundamentos motivacionais e de design instrucional, cuja eficácia reside na criação de experiências de aprendizagem significativas.

A motivação no ensino digital como elemento central da eficácia da gamificação. Ertan e Kocadere (2022) argumentam que o design de sistemas gamificados, ao incorporar pontuação, rankings e feedbacks imediatos, potencializa a motivação intrínseca por meio do senso de autonomia

e competência. Leonardou *et al.* (2022) complementam que o Digital Game-based Learning (DGBL) aumenta a disposição dos alunos para resolver desafios e reter conteúdo, desde que as recompensas e feedbacks sejam personalizados. Cespón e Díaz Lage (2022) destacam ainda que a gamificação online fortalece a motivação afetiva e a satisfação, enquanto Hallifax (2020) propõe o uso de gamificação adaptativa para sustentar o engajamento de longo prazo e evitar a saturação.

A tecnologia educacional aplicada é apresentada como eixo mediador do processo gamificado, conforme nos demonstra Khaldi *et al.* (2023) e Saleem *et al.* (2022) ressaltam que o uso de tecnologias digitais gamificadas amplia a interação e personalização da aprendizagem, estimulando competências cognitivas e socioemocionais. Acosta-Medina e Torres-Barreto (2021) demonstram que ambientes gamificados aumentam a persistência dos estudantes, e Hallifax (2020) reforça que a personalização digital eleva o desempenho. Firwana, Shouquer e Aqel (2021) destacam que a formação docente é essencial para que a tecnologia seja utilizada de forma reflexiva e estratégica.

Em breve discussão pode-se verificar que os impactos no ensino e aprendizagem sintetiza as evidências empíricas do uso da gamificação. Segundo Anuradhani *et al.* (2024) e Alnuaim (2024), a aplicação de elementos de design de jogos - como pontuação e desafios - promove engajamento e participação ativa. Frontier (2024) confirma, por meio de meta-análises, que a gamificação tende a aumentar a motivação e o envolvimento, ainda que seus efeitos sobre o desempenho acadêmico variem conforme o contexto. Martí-Parreño *et al.* (2024) identificaram ganhos significativos em cursos de cálculo, mas alertam que elementos competitivos devem ser usados com cautela. De modo similar, Cavus *et al.* (2023) observam resultados heterogêneos, apontando que a eficácia da gamificação depende da coerência entre mecânicas de jogo, objetivos pedagógicos e formação docente.

3 SCAPE ROOM DIGITAL

3.1 FUNDAMENTOS DO SCAPE ROOM

O Escape Rooms Digitais (ERDs) é uma metodologia de aprendizagem ativa e imersiva, articulando princípios de gamificação, aprendizagem baseada em problemas e design instrucional adaptativo. Trata-se de uma contribuição relevante para o campo da educação digital, sobretudo por consolidar a relação entre ludicidade, motivação e construção do conhecimento em ambientes virtuais. Vorderobermeier *et al.* (2024) caracterizam os ERDs como experiências interativas que favorecem o engajamento cognitivo e emocional dos estudantes ao propor desafios cooperativos com tempo limitado, estruturados a partir de narrativas pedagógicas coesas e objetivos claros de aprendizagem.

A integração entre narrativa e design educacional, conceito que se materializa no modelo CREATE proposto por Lim (2024), o qual estrutura o desenvolvimento dos ERDs em cinco etapas -

concepção, criação, avaliação da aceitação, teste e execução. Tal modelo oferece rigor metodológico e assegura que os elementos lúdicos e narrativos se articulem organicamente aos objetivos pedagógicos, evitando que a gamificação se restrinja a um mero adorno motivacional. Nesse sentido, Repetto (2024) complementa ao sublinhar que a coerência entre enredo e desafio constitui um eixo central para o êxito didático da imersão digital.

Pode-se verificar também que a contribuição de Şahin (2023) é central para o texto, pois evidencia que os ERDs estimulam a aprendizagem ativa e colaborativa, resultando em melhor desempenho escolar e desenvolvimento de competências cognitivas. De forma convergente, Sánchez (2023) e Pozo-Sánchez e Lampropoulos (2022) destacam o impacto positivo dos ERDs sobre a motivação intrínseca e o pensamento crítico, demonstrando que o componente gamificado promove tanto a autonomia quanto a cooperação. Já von Kotzebue *et al.* (2022) diferenciam os ERDs de outras modalidades gamificadas ao evidenciar sua capacidade de criar contextos de aprendizagem situada, o que reforça a aproximação entre experiência prática e construção conceitual.

Já a ferramenta educacional digital, Filippone *et al.* (2025) e Birnkammerer e Urlbauer (2025) ampliam a perspectiva dos ERDs ao demonstrar seu potencial como mediadores cognitivos e formativos, especialmente na capacitação docente e no ensino técnico.

Merece considerar então que a dimensão do design instrucional e da autoria pedagógica nos ambientes de criação e simulação. Moffett e Cassidy (2023) introduzem o design thinking como abordagem metodológica que potencializa o envolvimento reflexivo e criativo dos estudantes no desenvolvimento dos próprios escape rooms, deslocando o foco do consumo para a autoria crítica.

Şahin (2023) e Borrás-Gené *et al.* (2022) destacam que a eficácia dos ambientes digitais de simulação depende da integração entre narrativa, personalização e diversidade sensorial, indicando que a aprendizagem significativa requer experiências multimodais e adaptadas aos estilos cognitivos individuais.

A imersividade didática, conforme delineada por Lim (2024), representa o cerne conceitual da proposta, pois transforma o estudante em protagonista ativo do processo cognitivo. Hwang, Li e Chang (2024) demonstram que a imersão em contextos simulados promove pensamento crítico, autorregulação e competências investigativas, elementos centrais para o ensino de ciências. Rubner *et al.* (2024) e Sidekerskienė e Damaševičius (2023) complementam que a combinação de ambientes híbridos e digitais reforça a dimensão socioemocional da aprendizagem, favorecendo a colaboração e a superação de barreiras cognitivas.

Já a plataforma Genially como suporte técnico e pedagógico para a criação de ERDs é um dos pontos mais consistentes do texto. Genially (2024) é apresentada como ferramenta de autoria acessível,

que democratiza o uso de recursos interativos e gamificados sem exigir conhecimentos de programação, promovendo o protagonismo docente na criação de experiências digitais. Estudos como os de Bencsik e Schnider (2025) e Sánchez *et al.* (2023) reforçam o potencial do Genially para o ensino de Física, particularmente em tópicos de Fenômenos Ondulatórios, ao possibilitar a visualização de conceitos abstratos e a aplicação prática por meio de enigmas e desafios.

4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DO TESTE DO PRODUTO

A aplicação do Escape Room Digital fundamentado em fenômenos ondulatórios demonstrou a efetividade das teorias e metodologias propostas na pesquisa pois os resultados obtidos com a turma teste indicaram que a integração entre a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel e os princípios da gamificação possibilitou uma experiência de aprendizagem mais envolvente, significativa e colaborativa.

A imagem de abertura do software pode ser verificada na Figura 1, a seguir, e os alunos relataram elevado nível de engajamento durante a execução dos desafios, evidenciando que o uso de enigmas progressivos e narrativas interativas favoreceu a compreensão dos conceitos de interferência, difração, reflexão e refração.

Figura 1: Imagens de tela do software



Fonte: (Próprios autores, 2025).

Do ponto de vista teórico, a abordagem ausubeliana mostrou-se central para a consolidação do conhecimento. Os alunos conseguiram relacionar os novos conteúdos aos conhecimentos prévios,

validando o princípio da ancoragem cognitiva. Os desafios gamificados funcionaram como organizadores prévios, proporcionando ao estudante uma visão ampla e contextualizada dos fenômenos antes da resolução dos problemas específicos. Esse aspecto reforça a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora, conforme descritas por Ausubel (2000, 2003) e Moreira (2011, 2012).

A teoria da gamificação contribuiu, por sua vez, para o fortalecimento da motivação intrínseca dos estudantes. Elementos como feedbacks imediatos, pontuação, recompensas simbólicas e a pressão temporal típica dos escape rooms despertaram o senso de desafio e de autonomia. Isso se alinha às conclusões de Ertan e Kocadere (2022) e Zourmpakis *et al.* (2023), que destacam a importância de equilibrar estímulos cognitivos e afetivos no design gamificado. O Genially, como plataforma de criação, revelou-se um ambiente flexível e acessível, favorecendo a imersão didática sem a necessidade de habilidades avançadas em programação, conforme apontam Bencsik e Schnider (2025).

O produto educacional – o Escape Room Digital – alcançou plenamente o objetivo geral do projeto: melhorar o engajamento e a compreensão conceitual dos estudantes do ensino médio sobre os fenômenos ondulatórios. Além disso, os objetivos específicos foram igualmente contemplados. A identificação das dificuldades conceituais permitiu a construção de enigmas direcionados; a elaboração dos desafios interativos no Genially consolidou o potencial da gamificação como metodologia ativa; a aplicação prática com a turma teste validou a pertinência pedagógica do recurso; e os resultados dos testes de aprendizagem e questionários de motivação evidenciaram ganhos cognitivos e atitudinais significativos.

Durante a observação participante, notou-se que os estudantes interagiam intensamente entre si, discutindo hipóteses e soluções - um indicativo de que o escape room promoveu não apenas aprendizagem conceitual, mas também o desenvolvimento de competências socioemocionais, como colaboração, autonomia e resolução de problemas. O clima de envolvimento observado durante a atividade confirmou as premissas de Vorderobermeier, Abel e Sailer (2024) e Şahin (2023) acerca do caráter imersivo e investigativo dos escape rooms educacionais.

Em síntese, a experiência com a turma piloto confirmou que a associação entre a Teoria da Aprendizagem Significativa e a gamificação cria um ambiente propício à aprendizagem ativa e prazerosa. O produto final consolidou-se como uma ferramenta didática inovadora, capaz de tornar os conteúdos abstratos da Física Ondulatória mais concretos, contextualizados e memoráveis. Assim, o projeto cumpre integralmente seu objetivo de desenvolver e validar um escape room digital gamificado como estratégia eficaz de ensino, contribuindo para o avanço das práticas pedagógicas no ensino de Física e para a formação de alunos mais engajados, críticos e autônomos.

5 COMENTÁRIOS FINAIS

Considerando que essa pesquisa teve como objetivo geral desenvolver a eficácia de um Escape Room Digital gamificado, fundamentado nos fenômenos da Física Ondulatória - interferência, difração, ressonância, eco e batimentos sonoros -, com vistas a melhorar o engajamento e a compreensão conceitual dos estudantes do ensino médio.

Os resultados da aplicação demonstraram o pleno cumprimento dos objetivos, tanto o geral como os específicos, pois a identificação prévia das dificuldades conceituais orientou a elaboração dos enigmas, permitindo que cada etapa do Escape Room atuasse como um organizador prévio no sentido ausubeliano - conectando novos conceitos à estrutura cognitiva pré-existente dos alunos.

O desenvolvimento dos desafios na plataforma Genially mostrou-se tecnicamente viável e pedagogicamente eficaz, integrando elementos lúdicos e conceituais de forma equilibrada. A aplicação em sala de aula revelou altos níveis de engajamento, interação e entusiasmo, reforçando o papel da gamificação como promotora de motivação intrínseca e de aprendizagem ativa.

Os dados coletados por meio de observação, testes e questionários indicaram forte aceitação do produto bem como forte potencial de ganhos significativos na compreensão conceitual e na disposição dos estudantes para aprender Física. Essa melhora decorre da combinação de três fatores principais: a contextualização narrativa dos desafios, o feedback imediato proporcionado pela estrutura gamificada e a cooperação entre pares durante a resolução dos enigmas.

Tais evidências confirmam que o Escape Room Digital não apenas tornou os conteúdos abstratos da Ondulatória mais tangíveis e acessíveis, como também promoveu competências cognitivas e socioemocionais, como pensamento crítico, autonomia e colaboração.

Assim, pode-se concluir que o objetivo geral foi plenamente alcançado. A proposta se mostrou uma alternativa metodológica inovadora, que alia rigor conceitual, interatividade e engajamento emocional, favorecendo a aprendizagem significativa conforme os pressupostos de Ausubel (2003) e Moreira (2011). A eficácia observada na turma piloto valida a aplicabilidade da gamificação como estratégia para superar as barreiras tradicionais do ensino de Física e reforça seu potencial para outras áreas do conhecimento científico.

Recomenda-se, portanto, a ampliação da proposta em diferentes contextos educacionais e níveis de ensino. Entre as possibilidades de continuidade, destacam-se: a adaptação do Escape Room Digital para conteúdos de outras áreas da Física, como Termodinâmica, Eletromagnetismo ou Óptica; a integração da proposta a plataformas de realidade aumentada ou virtual, potencializando a imersão e a visualização dos fenômenos; a utilização do modelo em formações docentes, estimulando professores

a desenvolverem seus próprios jogos educativos digitais; e a aplicação em ambientes híbridos ou remotos, explorando a flexibilidade tecnológica do Genially para práticas colaborativas a distância.

Por fim, sugere-se que futuras pesquisas ampliem o número de turmas e variem os contextos de aplicação, de modo a verificar a consistência dos resultados em diferentes perfis estudantis. O Escape Room Digital aqui desenvolvido representa um passo importante rumo à renovação das práticas pedagógicas em Física, oferecendo um caminho concreto para a construção de aprendizagens mais significativas, prazerosas e duradouras.

REFERÊNCIAS

- ACOSTA-MEDINA, J. K.; TORRES-BARRETO, M. L. Students' preference for the use of gamification in virtual learning environments. *Australasian Journal of Educational Technology*, v. 37, n. 4, 2021. Disponível em: <https://ajet.org.au/index.php/AJET/article/view/6512>. Acesso em: 6 nov. 2025.
- ALNUAIM, A. The impact and acceptance of gamification by learners in a digital literacy course at the undergraduate level: randomized controlled trial. *JMIR Games*, v. 1, e52017, 2024. Disponível em: <https://games.jmir.org/2024/1/e52017>. Acesso em: 6 nov. 2025.
- ANASTOPOULOS, C. Particle or wave: the evolution of the concept of matter in modern physics. Cambridge: Cambridge University Press, 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/240613661_Particle_or_Wave_The_Evolution_of_the_Concept_of_Matter_in_Modern_Physics. Acesso em: 6 nov. 2025.
- ANURADHANI, N.; YATIGAMMANA, K.; WIJAYARATHNA, G. Defining gamification: a systematic literature review for developing a process-oriented definition. *Journal of Multidisciplinary and Translational Research*, v. 9, n. 1, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/383037975_Defining_gamification_a_systematic_literature_review_for_developing_a_process-oriented_definition. Acesso em: 6 nov. 2025.
- AUSUBEL, D. P. Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano, 2003. Disponível em: https://www.uel.br/pos/ecb/pages/arquivos/Ausubel_2000_Aquisicao%20e%20retencao%20de%20conhecimentos.pdf. Acesso em: 16 jul. 2025.
- AUSUBEL, D. P. Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.
- AUSUBEL, D. P. Educational Psychology: A Cognitive View. 2^a. ed. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1980.
- AUSUBEL, D. P. Psicologia Educacional. 2^a. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- AUSUBEL, D. P. The Psychology of Meaningful Verbal Learning. New York: Grune & Stratton, 1963.
- BARTOSOVIC, L.; DEMKANIN, P.; CERVENOVA, D. Experience from integration of an introductory physics course: focus on the Doppler effect lesson. *INTED Proceedings*, 2025. Disponível em: <https://library.iated.org/view/BARTOSOVIC2025EXP>. Acesso em: 6 nov. 2025.
- BENCSIK, R.; SCHNIDER, D. Cognitive development in a creative environment - online escape rooms for physics classes. [S.l.]: ResearchGate, 2025. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/394317526_Cognitive_Development_in_A_Creative_Environment_-_Online_Escape_Rooms_for_Physics_Classes. Acesso em: 6 nov. 2025.

BIRNKAMMERER, H.; URLBAUER, P. Development of an educational escape room to foster digitalization-related skills among teacher education students. *INTED Proceedings*, v. 1, n. 2, 2025. Disponível em: <https://library.iated.org/view/BIRNKAMMERER2025DEV>. Acesso em: 6 nov. 2025.

BLEISTEIN, N. Mathematical methods for wave phenomena. New York: Springer, 2012. Disponível em: <https://epdf.pub/mathematical-methods-for-wave-phenomena-computer-science-and-applied-mathematics.html>. Acesso em: 6 nov. 2025.

BORRÁS-GENÉ, O.; DÍEZ, R. M.; MACÍAS-GUILLÉN, A. Digital educational escape room analysis using learning styles. *Information*, v. 13, n. 11, p. 522, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2078-2489/13/11/522>. Acesso em: 6 nov. 2025.

BUNAWAN, W.; YANTI, J. Analysis of competency level for wave science in general physics-based on literacy science in PISA. *Journal of Physics: Conference Series*, v. 1485, n. 1, p. 012012, 2020. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1485/1/012012/meta>. Acesso em: 6 nov. 2025.

CAMACHO-SÁNCHEZ, R.; MANZANO-LEÓN, A. Game-based learning and gamification in physical education: a systematic review. *Education Sciences*, v. 13, n. 2, p. 183, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2227-7102/13/2/183>. Acesso em: 6 nov. 2025.

CARVALHO, C. V.; COELHO, A. Game-based learning, gamification in education and serious games. *Computers*, v. 11, n. 3, p. 36, 2025. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-431X/11/3/36>. Acesso em: 6 nov. 2025.

CAVUS, N.; IBRAHIM, I.; OKONKWO, M. O.; AYANSINA, N. B.; MODUPEOLA, T. The effects of gamification in education: a systematic literature review. *Brain: Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience*, v. 14, n. 2, p. 211-241, 2023. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/372740575_The_Effects_of_Gamification_in_Education_A_Systematic_Literature_Review. Acesso em: 6 nov. 2025.

CESPÓN, M. T.; DÍAZ LAGE, J. M. Gamification, online learning and motivation: a quantitative and qualitative analysis in higher education. *Contemporary Educational Technology*, v. 14, n. 3, p. 1-16, 2022. Disponível em: <https://www.cedtech.net/article/gamification-online-learning-and-motivation-a-quantitative-and-qualitative-analysis-in-higher-12297>. Acesso em: 6 nov. 2025.

CHEKOUR, M. The impact perception of the resonance phenomenon simulation on the learning of physics concepts. *European Journal of Physics Education*, 2018. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6552/aac984/meta>. Acesso em: 6 nov. 2025.

CHOUDHARY, R.; KRAUS, U.; KERSTING, M.; BLAIR, D. Einsteinian physics in the classroom: integrating physical and digital learning resources in the context of an international research collaboration. *International Journal of Innovation in Science Education*, 2019. Disponível em: <https://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S2661339519500161>. Acesso em: 6 nov. 2025.

CHRISTOPOULOS, A. Gamification in education. *Education Sciences*, v. 11, n. 1, p. 89-98, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-8392/3/4/89>. Acesso em: 6 nov. 2025.

COELHO, F.; RANDO, B.; APARÍCIO, D.; PONTÍFICE-SOUSA, P.; GONÇALVES, D.; ABREU, A. M. The impact of educational gamification on cognition, emotions, and motivation: a randomized controlled trial. *Journal of Computers in Education*, v. 12, n. 4, p. 101-120, 2025. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40692-025-00366-x>. Acesso em: 6 nov. 2025.

CUNHA, L. G. O uso de metodologias ativas para o desenvolvimento da aprendizagem significativa no estudo de ondulatória: um relato de experiência em uma escola. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2024. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/284749/001240862.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2025.

DAHALAN, F.; ALIAS, N.; SHAHAROM, M. S. N. Gamification and game based learning for vocational education and training: a systematic literature review. *Education and Information Technologies*, 2025. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-022-11548-w>. Acesso em: 6 nov. 2025.

DETERDING, S. et al. Gamification: using game design elements in non-gaming contexts. In: CHI '11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2011. Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/1979742.1979575>. Acesso em: 16 jul. 2025.

ERTAN, K.; KOCADERE, S. A. Gamification design to increase motivation in online learning environments: a systematic review. *Journal of Learning and Teaching in Digital Age*, v. 7, n. 1, p. 45-60, 2022. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/en/pub/joltida/issue/71180/1020044>. Acesso em: 6 nov. 2025.

FALKENBURG, B. What are the phenomena of physics? *Synthese*, v. 182, p. 55-73, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11229-009-9617-6>. Acesso em: 6 nov. 2025.

FILIPPONE, A.; BARBIERI, U.; MARSICO, E. Escape room in 3D virtual worlds: reflections on new digital skills for innovative teaching by special educational teachers in training. *Italian Journal of Educational Technology*, 2025. Disponível em: <https://www.ijet.itd.cnr.it/index.php/td/article/view/1454>. Acesso em: 6 nov. 2025.

FIRWANA, A.; SHOUQER, M. A.; AQEL, M. Effectiveness of e-learning environments in developing skills for designing e-tivities based on gamification for teachers of technology in Gaza. *Education in the Knowledge Society*, v. 22, 2021. Disponível em: <https://revistas.usal.es/index.php/eks/article/view/23907>. Acesso em: 6 nov. 2025.

FOTARIS, P.; MASTORAS, T. Escape rooms for learning: a systematic review. *Interactive Learning Environments*, v. 29, n. 5, p. 645-656, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/336374954_Escape_Rooms_for_Learning_A_Systematic_Review. Acesso em: 16 jul. 2025.

FRONTIERS. Impact of gamification on school engagement: a systematic review. *Frontiers in Education*, 2024. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/education/articles/10.3389/feduc.2024.1466926/full>. Acesso em: 6 nov. 2025.

FUCHS, F. The role and scope of gamification in education. *Educational Research Review*, v. 47, n. 2, p. 221-239, 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0001691825007310>. Acesso em: 6 nov. 2025.

GENIALLY. Online escape room templates. [S.l.]: Genially, 2024. Disponível em: <https://genially.com/templates/games/escape-room/>. Acesso em: 6 nov. 2025.

GINI, R. Gamification and motivation in digital education. *Journal of Educational Technology Research*, 2025.

GRAHN, J. A. See what I hear? Beat perception in auditory and visual rhythms. *Experimental Brain Research*, v. 220, n. 1, p. 51-60, 2012. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00221-012-3114-8>. Acesso em: 6 nov. 2025.

HALLIFAX, S. Adaptive gamification of digital learning environments. Lyon: Université de Lyon, 2020. Disponível em: <https://theses.hal.science/tel-03125624/>. Acesso em: 6 nov. 2025.

HWANG, G.; LI, J.; CHANG, C. Immersive learning in STEM through virtual escape environments. *Journal of Science Education*, 2024.

KARAGIORGAS, D. N.; NIEMANN, S. Gamification and game-based learning. *Computers in Human Behavior*, 2025. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0047239516665105>. Acesso em: 6 nov. 2025.

KHALDI, A.; BOUZIDI, R.; NADER, F. Gamification of e-learning in higher education: a systematic literature review. *Smart Learning Environments*, v. 10, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40561-023-00227-z>. Acesso em: 6 nov. 2025.

KHASANOVA, K.; SHAKHNOZA, S. Use of interactive methods in teaching light interference. *Eurasian Journal of Physics Education*, 2022. Disponível em: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authType=crawlerejrn1=27177564&eAN=158476257>. Acesso em: 6 nov. 2025.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. Metodologia científica. São Paulo: Atlas, 2022. Disponível em: <https://minhabiblioteca.com.br/catalogo/livro/84643/metodologia-cientifica>. Acesso em: 30 jun. 2025.

LAMRANI, R.; ABDELWAHED, E. H. Game-based learning and gamification to improve skills in early years education. *Computer Science and Information Systems*, v. 17, n. 4, p. 1035-1055, 2025. Disponível em: <https://doiserbia.nb.rs/Article.aspx?ID=1820-02141900043L>. Acesso em: 6 nov. 2025.

LEONARDOU, A.; RIGOU, M.; PANAGIOTAROU, A. Effect of OSLM features and gamification motivators on motivation in DGBL: pupils' viewpoint. *Smart Learning Environments*, v. 9, n. 5, p. 1-18, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40561-022-00195-w>. Acesso em: 6 nov. 2025.

LIM, I. A design framework for educational escape rooms in STEM: CREATE. *Research in Science & Technological Education*, v. 42, n. 3, p. 410-427, 2024. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02635143.2024.2431273>. Acesso em: 6 nov. 2025.

LÓPEZ-PÉREZ, M. V.; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, J.; FERNÁNDEZ-LÓPEZ, Á. Designing digital escape rooms with generative AI in university education. *Multimodal Technologies and Interaction*, v. 9, n. 3, p. 20, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/mti9030020>. Acesso em: 16 jul. 2025.

MARTÍ-PARREÑO, J.; GARCÍA-MONCÓ, C.; SEGUÍ-MÉNDEZ, M.; MÉNDEZ-IBÁÑEZ, E. How gamification boosts learning in STEM higher education. *International Journal of STEM Education*, 2024. Disponível em: <https://stemeducationjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40594-024-00521-3>. Acesso em: 6 nov. 2025.

MATEJAK CVENIC, K.; IVANJEK, L.; PLANINIĆ, M.; JELIČIĆ, K.; SUŠAC, A.; HOPF, M.; ČINDRIĆ BRKIĆ, M. Probing high school students' understanding of interference and diffraction of light using standard wave optics experiments. *Physical Review Physics Education Research*, v. 19, n. 2, p. 020118, 2023. Disponível em: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.020118>. Acesso em: 6 nov. 2025.

MIRZA, M.; IRWANDI, I.; SAFITRI, R. Resonance props for understanding the phenomenon of stationary waves using an ISLE-based STEM approach model in supporting transformation education. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, v. 8, n. 3, 2022. Disponível em: <https://jppipa.unram.ac.id/index.php/jppipa/article/view/1484/1716>. Acesso em: 6 nov. 2025.

MOFFETT, J.; CASSIDY, D. Building a digital educational escape room using an online design-thinking process. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, 2023. Disponível em: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1392736>. Acesso em: 6 nov. 2025.

MOFFETT, J.; CASSIDY, D.; COLLINS, N.; ILLING, J. Exploring medical students' learning around uncertainty management using a digital educational escape room: a design-based research approach. *Perspectives on Medical Education*, 2023. Disponível em: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10038110/>. Acesso em: 6 nov. 2025.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa: da teoria à prática. São Paulo: Centauro, 2011. Disponível em: <https://feapsico2012.files.wordpress.com/2016/11/moreira-masini-aprendizagem-significativa-a-teoria-de-david-ausubel.pdf>. Acesso em: 16 jul. 2025.

MOREIRA, M. A. Teorias de aprendizagem. 2^a. ed. São Paulo: EPU, 2012.

MORENO MONTOYA, J. Do you hear one or two beats?: entrainment for beat perception. 2025. Disponível em: https://jyx.jyu.fi/jyx/Record/jyx_123456789_103072. Acesso em: 6 nov. 2025.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. Aprendendo a aprender. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1996.

NUSSENZVEIG, H. M. Curso de física básica. Volume 2: Fluidos, oscilações e ondas, calor. 4. ed. rev. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2002. Disponível em: <https://www.blucher.com.br/livro/detalhes/curso-de-fisica-basica-vol-2-104>. Acesso em: 6 nov. 2025.

PARK, S.; KIM, H.; LEE, J. Leaderboard design principles to enhance learning and motivation in gamification. *JMIR Serious Games*, v. 9, n. 2, e14746, 2021. Disponível em: <https://games.jmir.org/2021/2/e14746>. Acesso em: 6 nov. 2025.

PORTO, A. J.; LIMA, R. D. O ensino de ondas sonoras no ensino médio com simulações computacionais. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 39, n. 1, 2017.

PORTO, D. P.; LIMA, A. M. O uso de jogos digitais na aprendizagem significativa da Física. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 39, n. 4, p. e4601, 2017.

POZO-SÁNCHEZ, S.; LAMPROPOULOS, G. Comparing gamification models in higher education using face-to-face and virtual escape rooms. *New Approaches in Educational Research*, v. 11, n. 2, p. 123-137, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.7821/naer.2022.7.1025>. Acesso em: 6 nov. 2025.

PUTRI, I. A.; ISWANTO, B. H.; MARPAUNG, M. A. Development of sound interference props with Phyphox to support sound and waves learning in senior high school. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 2021. Disponível em: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/icorsh-20/125962389>. Acesso em: 6 nov. 2025.

REPETTO, M. The design of digital educational escape rooms in higher education. *Italian Journal of Educational Technology*, v. 15, n. 2, p. 60-74, 2023. Disponível em: <https://iris.unito.it/bitstream/2318/1963474/1/BELLACICCO%20ET%20AL.%202015-2-60-74.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2025.

RUBNER, I.; DITTER, D.; WEISER, D. Experimental escape games with digital enrichment: an innovative format in science education. *New Perspectives in Science Education Conference Proceedings*, v. 13, p. 88-96, 2023. Disponível em: <https://conference.pixel-online.net/files/npse/ed0013/FP/8848-CHEM6482-FP-NPSE13.pdf>. Acesso em: 6 nov. 2025.

ŞAHİN, G. Designing a digital escape room game: an experience of a digital learning tool in basic education. *Journal of Educational Technology and Online Learning*, v. 6, n. 4, 2023. DOI: 10.31681/jetol.1334912. Disponível em: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jetol/issue/80405/1334912>. Acesso em: 6 nov. 2025.

SALEEM, A. N.; NOORI, N. M.; OZDAMLI, F. Gamification applications in e-learning: a literature review. *Education and Information Technologies*, v. 27, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10758-020-09487-x>. Acesso em: 6 nov. 2025.

SÁNCHEZ, A. M. Using digital educational escape rooms as a motivational review tool for economics. *Computers & Education*, v. 192, n. 4, p. 104-119, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1472811723000903>. Acesso em: 6 nov. 2025.

SIDEKERSKIENĖ, T.; DAMAŠEVIČIUS, R. Out-of-the-box learning: digital escape rooms as a metaphor for breaking down barriers in STEM education. *Sustainability*, v. 15, n. 9, p. 7393-7408, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/9/7393>. Acesso em: 6 nov. 2025.

TORRE, C. G. Foundations of wave phenomena. Logan, UT: Utah State University, 2012. Disponível em: https://digitalcommons.usu.edu/foundation_wave/. Acesso em: 6 nov. 2025.

TOWNE, D. H. Wave phenomena. New York: Dover Publications, 2014. Disponível em: <https://books.google.com/books?hl=en&lr=eid=uZgJCAAAQBAJ>. Acesso em: 6 nov. 2025.

VON KOTZEBUE, L.; ZUMBACH, J.; BRANDLMAYR, A. Digital escape rooms as game-based learning environments: a study in sex education. *Multimodal Technologies and Interaction*, v. 6, n. 2, p. 8, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2414-4088/6/2/8>. Acesso em: 6 nov. 2025.

VORDEROBERMEIER, A.; ABEL, J.; SAILER, M. Theoretical foundations and approaches in research on educational escape rooms: a systematic review. *Computers & Education Open*, v. 7, n. 1, p. 100-117, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1747938X24000344>. Acesso em: 6 nov. 2025.

ZICHERMANN, G.; CUNNINGHAM, C. Gamification by design: implementing game mechanics in web and mobile apps. Sebastopol: O'Reilly Media, 2011. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=Hw9X1miVMMwCeprintsec=frontcover&hl=pt-BR>. Acesso em: 16 jul. 2025.

ZOURMPAKIS, A. I.; PAPADAKIS, S.; KALOGIANNAKIS, M. Adaptive gamification in science education: an analysis of the impact of implementation and adapted game elements on students' motivation. *Computers*, v. 12, n. 7, p. 143-157, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-431X/12/7/143>. Acesso em: 6 nov. 2025.