



O uso do jogo educacional EletroWizard para avaliação formativa e aprendizagem de conceitos de Física na perspectiva da Teoria da Aprendizagem Significativa

EletroWizard: an educational game for formative assessment and meaningful learning of physics concepts

Fellype Souza de Oliveira¹, Dioni Paulo Pastorio^{*1}, Francineide Amorim Costa Santos²,
Rochelande Felipe Rodrigues², Maria Derlandia de Araújo Januário³

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física, Porto Alegre, RS, Brasil.

²Universidade Federal do Cariri, Instituto de Formação de Educadores, Juazeiro do Norte, CE, Brasil.

³Universidade Regional do Cariri, Departamento de Física, Juazeiro do Norte, CE, Brasil.

Recebido em 25 de agosto de 2025. Revisado em 01 de fevereiro de 2026. Aceito em 01 de fevereiro de 2026.

O Ensino de Física enfrenta desafios de cunho teórico e metodológico, relacionados aos processos de ensino e avaliação, que dificultam a aprendizagem de conceitos de Física por estudantes. Como resposta a essa problemática, este estudo apresenta o Jogo Educacional EletroWizard, com o objetivo de propor um instrumento gamificado para avaliação do desenvolvimento de conceitos sobre energia e eletrostática. A pesquisa, de caráter qualitativo, empregou, como lente teórica conceitual, a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) e a Análise Textual Discursiva (ATD) como referencial de análise de dados discursivos. A Unidade de Ensino Potencialmente Significativa Gamificada (UEPS-G) foi empregada como metodologia de ensino para estudantes do terceiro ano do Ensino Médio da rede pública de educação. Os resultados da ATD sobre conhecimentos iniciais demonstraram uma compreensão fragmentada e descontextualizada dos principais conceitos investigados. Foi observado, também, um aperfeiçoamento ao final do percurso pedagógico por meio da análise de questões conceituais presentes no jogo educacional, com melhor desempenho apresentado pelas questões contextualizadas. O EletroWizard mostrou-se uma ferramenta importante para estimular a participação ativa dos estudantes, tornando a aprendizagem mais significativa.

Palavras-chave: Ensino de Física, Avaliação, Jogo Educacional, Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), Gamificação.

Physics Education faces both theoretical and methodological challenges related to teaching and assessment processes, which hinder students' learning of scientific concepts. In response to this issue, this study presents the serious game EletroWizard, designed as a gamified tool for assessing the development of concepts related to energy and electrostatics. This qualitative research employed the Theory of Meaningful Learning (TML) as its conceptual framework and Discursive Textual Analysis (DTA) as the methodological approach for analyzing discursive data. The Gamified Potentially Meaningful Teaching Unit (G-PMTU) was adopted as a teaching methodology with third-year high school students from public schools in Brazil. The results of the DTA concerning students' prior knowledge revealed a fragmented and decontextualized understanding of the main investigated concepts. Moreover, improvements were observed at the end of the pedagogical process through the analysis of conceptual questions embedded in the educational game, with better performance achieved in contextualized questions. EletroWizard proved to be an important tool for fostering students' active participation, making the learning process more engaging and meaningful.

Keywords: Physics Education, Assessment, Serious Game, Theory of Meaningful Learning (TML), Gamification.

1. Introdução

À luz do discurso legislativo oficial brasileiro sobre a avaliação da aprendizagem, observamos o incentivo ao processo de “avaliação formativa, plural, diversificada e preocupada com a contínua aprendizagem dos estudantes” [1]. Contudo, predomina, nas escolas, a avaliação seletiva, classificatória e excludente, afastando-se do

texto da lei em relação a uma avaliação qualitativa. Esse distanciamento deve-se às dificuldades docentes em articular esse tipo de avaliação com o ensino e a aprendizagem de conteúdos, por sua natureza subjetiva e pelo confronto, na prática, com os métodos tradicionais de mensuração [2].

Nesse contexto, o Ensino de Física (EF) vive uma cultura de testagem focada na preparação e no treino para exames. É um ensino desatualizado em se tratando dos objetos de conhecimentos (os conceitos físicos), voltando-se, predominantemente, para a aprendizagem

*Endereço de correspondência: dionipastorio@hotmail.com

Editor-Chefe: Marcello Ferreira

mecânica de equações sem problematizar os conceitos constituintes, além de tratar a Física como uma ciência acabada [3]. Assim, é preciso dar novas dimensões e significados ao que é aprendido na sala de aula, considerando o espaço vivencial dos educandos, a contemporaneidade, as suas vontades e as experiências [4]. Essa concepção de ensino precisa ser redimensionada, desde uma reestruturação curricular a uma renovação das estratégias de ensino que estabeleçam real diálogo com as aspirações dos estudantes [5].

É importante que o intermédio desse diálogo na sala de aula seja direto, claro e conexo ao ambiente que circunda o estudante, aproveitando os seus conhecimentos prévios, aqueles estabelecidos mediante sucessivas aprendizagens ao longo do desenvolvimento do sujeito e que são o fator mais importante para influenciar a aprendizagem, sendo os que os professores devem buscar mobilizar em sua prática de ensino [6]. Quanto mais ativo for esse processo, mais significativos e úteis serão os conceitos [7].

Em vista dessa problemática, os Jogos de Aprendizagem (JA)¹ ou como também são conhecidos, Jogos Educacionais ou Educativos, ou um tipo de *Serious Game*², apresentam-se como um valioso instrumento que pode atender às demandas peculiares do universo da sala de aula. Eles possuem um papel sociocultural relevante que extrapola o mero entretenimento, apresentando-se como ferramentas importantes no ensino e na aprendizagem [10]. Ao mobilizar características como regras, objetivos e *feedback*, os jogos podem contribuir para o desenvolvimento cognitivo, social e emocional dos estudantes [11]. No entanto, apesar de sua eficácia, ainda são subutilizados ou vistos como instrumentos de distração em meio às recorrentes aulas expositivas [12]. O ensino deve ser dinâmico e diversificado e os jogos podem ser uma estratégia ativa para envolver diferentes perfis de alunos, tornando a aprendizagem mais significativa e participativa [13].

Desse modo, considerando os desafios teóricos e metodológicos enfrentados no EF, com a predominância de uma cultura de avaliação classificatória que favorece a aprendizagem mecânica em detrimento de uma avaliação formativa e qualitativa, propomos a seguinte questão de pesquisa: De que maneira um instrumento de avaliação gamificado, fundamentado na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), pode contribuir para a avaliação formativa do desenvolvimento de conceitos de Energia e Eletrostática por estudantes do Ensino Médio?

Para isso, com o objetivo de tornar o percurso formativo um processo ativo e significativo para os estudantes, propomos um instrumento de avaliação gamificado, o jogo EletroWizard, que busca, também, fornecer ao professor da Educação Básica (EB) uma ferramenta para

análise do desenvolvimento conceitual dos estudantes sobre energia e eletrostática. Esse produto educacional destina-se aos professores de Física da EB e designa-se como uma ferramenta a ser utilizada em processos de aprendizagem significativa, configurando-se como um instrumento de avaliação formativo que pode oferecer aos professores compreensão sobre os estágios de desenvolvimento de seus estudantes. O Jogo utiliza a gamificação como instrumento para “motivar os indivíduos à ação e promover a aprendizagem” [14] e, como fundamentação teórica sobre aprendizagem, utiliza a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS).

2. Aspectos Teóricos

A relação intrínseca entre os jogos e o ser humano é profunda, ainda que não exclusiva de nossa espécie [11], o jogo antecede a própria cultura, sendo observado também no comportamento lúdico de animais, como os cães que interagem por meio de mordidas controladas e vocalizações, sem a intencionalidade agressiva. Na obra *Homo Ludens*, Huizinga investiga o significado e a natureza do jogo a partir de diversas abordagens filosóficas e psicológicas, considerando-o como expressão de impulsos biológicos, como a necessidade de descarga de energia vital, imitação ou relaxamento. Em comum, tais interpretações apontam para uma função do jogo que transcende o seu próprio ato [15].

De outro modo, compreender o papel sociocultural dos jogos ao longo da história das civilizações revela a sua importância não apenas como forma de entretenimento, mas também como ferramenta de promoção da aprendizagem significativa no contexto educacional [6]. O divertimento, enquanto dimensão inerente à condição humana, transcende a sua mera objetificação e revela-se elemento essencial para práticas pedagógicas mais engajadoras, embora a sua utilização nos espaços educativos seja considerada um paradoxo [13]. É necessário reconhecer que o lúdico deve estar presente nas situações de aprendizagem e que a escola precisa constituir-se como um ambiente de prazer [11].

Assim, os jogos, ao serem inseridos na realidade educativa, podem preparar os jovens para desafios futuros, justamente por suas características estruturais, como a exigência de cumprimento de regras; a presença de sistemas de recompensas; a definição de metas e objetivos claros; bem como os mecanismos de *feedback*, configurando-se como aspectos metodológicos que contribuem para a formação cognitiva e social dos sujeitos, potencializando processos de aprendizagem significativos [16]. Dessa maneira, o Ensino Baseado em Jogos (EBJ) configura estreitas relações com as teorias de aprendizagem cognitivistas e construtivistas [17] e, por isso, utilizamos a TAS como arcabouço teórico de aprendizagem.

Na TAS, há um pressuposto básico que se refere ao conhecimento prévio como o fator determinante para

¹ Jogos destinados a auxiliar os jogadores no desenvolvimento de novas habilidades e conhecimentos ou reforçar aqueles existentes, objetivando alcançar algum resultado de aprendizagem enquanto o jogador está imerso no processo [8].

² São jogos cuja finalidade não é unicamente o entretenimento, mas possuem outros propósitos definidos [9].

que a aprendizagem concretize-se e duas condições básicas para a sua ocorrência: i) utilização de materiais de ensino potencialmente significativos, que busquem organizar o conhecimento científico de acordo com a estrutura dos conhecimentos prévios dos estudantes e ii) intencionalidade do estudante para aprender de forma significativa, indicando que o aluno deve estar disposto a relacionar os novos conhecimentos de maneira não-arbitrária e substantiva com a sua estrutura cognitiva preexistente [18].

Essas características também são observadas nos jogos, pois, os jogadores iniciantes precisam de tempo para se acomodarem com a dinâmica e mecânica de funcionamento de um jogo, assim como a aprendizagem precisa de tempo para consolidar-se [6]. Nos jogos, também são necessários desafios que se apresentem, inicialmente, em níveis mais fáceis e progridam em dificuldade, do mesmo modo, o estudante precisa começar por problemas elementares, construindo conhecimento a partir de estruturas cognitivas pré-existentes e avançando por meio de processos de diferenciação progressiva e reconciliação integradora, até uma compreensão mais refinada e diferenciada dos conceitos [19].

Podemos destacar, neste sentido, uma corresponsabilidade no processo de ensino-aprendizagem, em que ao professor, no papel de organizador dos objetos de conhecimento, compete maior responsabilidade ao cumprimento da primeira condição, enquanto ao aluno cabe dar propósito à sua aprendizagem, satisfazendo a segunda condição. Entretanto, há a possibilidade do professor, para além da sua competência ao organizar o processo instrucional de maneira a objetivar uma aprendizagem significativa, intervir, igualmente, na segunda condição de aprendizagem significativa, tida por Moreira [20], como a mais difícil de ser concretizada, por não se tratar apenas da “motivação extrínseca” [21], ou da “atitude potencialmente significativa” do sujeito [22], mas também da “vontade permissiva” do estudante [21].

Utilizar a gamificação e os jogos de aprendizagem no contexto educacional é permitir uma outra compreensão acerca do próprio objeto de conhecimento. Para De Azevedo Neta e De Castro [23], os jogos educativos contribuem para o desenvolvimento de habilidades cognitivas essenciais à aprendizagem, desde que as suas funções estejam claramente definidas, articulando, de forma equilibrada, os aspectos lúdicos e pedagógicos. Embora, por definição, a gamificação não se resuma à utilização de *games* ou *serious games* (jogos educativos ou de aprendizagem), ela é o processo que dá origem a eles [9].

Ao transformar conteúdos educativos em jogos com propósitos pedagógicos, originando os chamados Jogos Educacionais ou *Serious Game*, estamos utilizando a gamificação de conteúdo, que é a aplicação de elementos e pensamento de jogos para alterar o conteúdo, tornando-o mais parecido com um jogo. Além disso, diferente da gamificação, o jogo é um instrumento autocontido com objetivos que demarcam a sua atuação tanto espacial quanto temporalmente, delimitado por sua mecânica e

dinâmica, o que Huizinga chamou de círculo mágico do jogo [15].

Por essa lógica, os jogos de aprendizagem e as estratégias de gamificação podem constituir instrumentos de avaliação formativa ou somativa no processo educativo, de acordo com os objetivos traçados [16]. Pensando no jogo para além da sua ludicidade, a sua utilização conjunta com a TAS pode ser um caminho capaz de favorecer a construção do conhecimento de forma ativa e engajadora, pois possibilitam a criação de uma representação simbólica da realidade [24]. Também pode ressignificar o processo de avaliação para o estudante, ao oportunizar que o erro seja tratado com uma oportunidade de reelaboração conceitual e, para o professor, ao enxergá-lo como oportunidade de vislumbrar o desenvolvimento conceitual de sua turma [19], mais do que uma mera classificação.

Em síntese, ao mobilizar elementos lúdicos e desafiadores, os jogos estimulam a motivação e a intencionalidade do estudante e proporcionam um ambiente propício para a ressignificação dos conceitos aprendidos, tornando o aprendizado mais significativo e duradouro. Desse modo, ao integrar os princípios da TAS com abordagens gamificadas, amplia-se a possibilidade de promover experiências educacionais que não apenas atendam às necessidades da geração digital [25], mas que também incentivem o protagonismo do estudante no seu próprio processo de aprendizagem.

3. Metodologia

3.1. Caracterização da pesquisa e contexto de aplicação do produto educacional

A pesquisa da qual resultou a produção deste produto educacional caracteriza-se pelo seu delineamento de caráter qualitativo [26], objetivando a descrição e a captação de significados. Na investigação, utilizamos a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) como referencial metodológico para conduzir um processo de ensino e de aprendizagem sobre os conteúdos conceituais de Energia e Eletrostática no Ensino Médio e a gamificação como estratégia para motivar a ação e o envolvimento dos estudantes para a potencialização da aprendizagem dos sujeitos [14]. Como produto dessa conexão teórico-metodológica, entre a UEPS e a gamificação, surgiu a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa Gamificada (UEPS-G) [10], que compõe, junto ao jogo EletroWizard, o produto educacional apresentado ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), na Universidade Regional do Cariri (URCA).

Na UEPS-G, utilizamos algumas estratégias pertencentes ao tripé da gamificação: Mecânica, Dinâmica e Estética (MDE), como a separação dos conteúdos em níveis, a fim de promover a sensação de progressão, e a substituição dos exercícios, propostos ao longo do processo, por missões com devidas pontuações atribuídas

a cada uma delas. Em publicação anterior, apresentamos detalhadamente a estrutura da UEPS-G [19], que, neste trabalho, retomamos sem discuti-la com amplitude. Diferentemente da análise documental dos mapas conceituais, empreendida naquele trabalho, neste, objetivamos apresentar o jogo educacional EletroWizard como uma possibilidade de instrumento de avaliação formativa no contexto de uma intervenção pedagógica gamificada. No presente estudo, buscamos investigar os indícios de aprendizagem significativa, decorrentes de um contexto, que a testagem não foi o foco avaliativo em que o divertimento permeia o processo avaliativo, utilizando um jogo, fundamentado na TAS, como instrumento de avaliação.

O produto educacional, EletroWizard, foi aplicado em turmas de terceiro ano do Ensino Médio da rede estadual pública da Paraíba. Consideramos, como critério de exclusão para a análise dos dados, a frequência estudantil ao final do percurso formativo, com índice inferior a setenta por cento (70%) de participação nas aulas. Entendemos que a presença efetiva dos estudantes nos espaços de aprendizagem influencia diretamente em seu desempenho. Conforme aponta Koppenhaver, a ausência do estudante limita não apenas a sua própria possibilidade de aprender, mas também a dos colegas, sobretudo em um ambiente colaborativo de aprendizagem [27].

Neste sentido, em uma estrutura de ensino não centrada no professor, a infrequência acarreta lacunas de informações que dificultam a participação e o acompanhamento das discussões [28]. Assim, considerando a importância da presença dos educandos nos processos e espaços de ensino e aprendizagem e aplicando-se o filtro de infrequência, 25 estudantes atenderam aos critérios que delimitam este estudo, sendo, portanto, o público de interesse da investigação.

Por fim, em relação às diretrizes éticas que regem a pesquisa envolvendo seres humanos, conforme as resoluções nº 466/12 e 510/16 do Conselho Nacional de Saúde (CNS), e considerando que o público-alvo é composto por estudantes menores de idade, foi realizado previamente um convite formal à participação, mediante a assinatura do Termo de Assentimento pelos próprios estudantes. Posteriormente, obtivemos a assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) pelos respectivos responsáveis legais. Para garantir a confidencialidade dos participantes, os seus nomes foram preservados e substituídos pelo pesquisador, durante a análise dos dados, por nomes de personalidades históricas das Ciências.

3.2. Desenho da metodologia de ensino

O percurso formativo, desenvolvido no âmbito desta investigação, possui, como referencial metodológico, a UEPS [29], com inserções de estratégias de gamificação estrutural em seus aspectos sequenciais. Os conteúdos sobre Energia e Eletrostática foram apresentados ao longo de oito encontros formativos, que seguiram uma

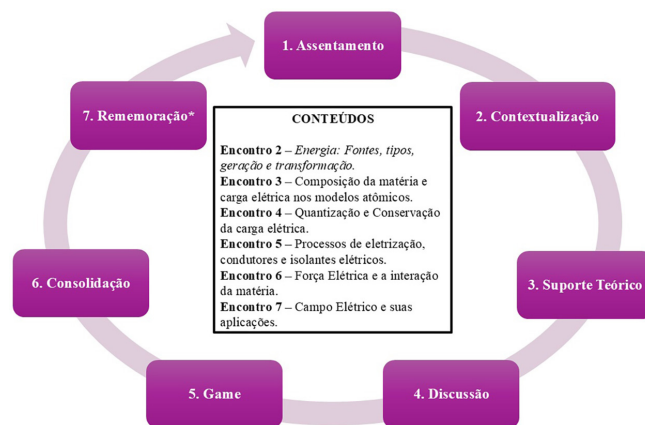


Figura 1: Estrutura das aulas na UEPS-G. Fonte: Elaboração própria.

estrutura de aulas, designada pelas etapas sequenciais ilustradas na Figura 1, com exceção do primeiro (Encontro 1) e o último (Encontro 8), que serviram, respectivamente, ao propósito de apresentar a proposta de ensino gamificada e a aplicação de uma avaliação conceitual diagnóstica, em um primeiro momento; e como avaliação formativa final, para rememoração de conceitos aprendidos ao longo do percurso pedagógico, em momento posterior.

No encontro inicial (Encontro 1), foram apresentados para os estudantes os conceitos a serem estudados, ao longo de todo percurso gamificado, e os objetivos de aprendizagem. Foram apresentadas, igualmente, as regras e o objetivo a ser alcançado com a gamificação, elementos da Dinâmica em um processo gamificado, também, as atividades avaliativas foram apresentadas como um elemento gamificado de missão e a sua realização implicaria um sistema de pontuação, além disso, algumas delas foram realizadas individualmente e coletivamente, o que configura elementos da Mecânica na gamificação [30]. Ademais, nesse encontro, foi aplicado um questionário de avaliação diagnóstica, que buscou avaliar o nível de compreensão dos estudantes sobre os conceitos a serem apresentados, posteriormente, durante as aulas, e utilizado como instrumento de coleta para análise de dados desta investigação.

Cada encontro formativo tinha uma carga horária de cem minutos e, de acordo com os aspectos composicionais da UEPS, iniciava com a definição do tópico a ser abordado e os objetivos de aprendizagem [29]. No Encontro 2, por exemplo, foi apresentado o tópico “Energia: Fontes, tipos, geração e transformação”. Essa etapa, em cada encontro, denominamos de Assentimento, conforme Figura 1, e pretendemos situar os estudantes quanto aos conceitos a serem aprendidos. Essa etapa, ademais, foi o momento para o professor explorar o que os estudantes já conheciam sobre o assunto, os seus conhecimentos prévios, o que foi realizado por meio de breves discussões, o que configura o aspecto dois da UEPS [31].

A etapa de Contextualização, conforme Figura 1, refere-se ao passo três da UEPS e consistiu na proposição de uma situação-problema com menor carga conceitual, com finalidade de apresentar o conhecimento a ser aprendido de maneira introdutória. Moreira sugere que essas situações iniciais podem ser realizadas por meio de experimentação, demonstrações, vídeos, entre outros [29]. Para temas mais abstratos como Força Elétrica, no Encontro 6, e Campo Elétrico, no Encontro 7, optamos por utilizar simulações computacionais do PhET, em uma tentativa de diminuir a carga conceitual. Nos Encontros 2 e 3, utilizamos vídeos para introduzir os conceitos e, nos Encontros 4 e 5, utilizamos demonstrações e experimentação, respectivamente.

Ao final dessa etapa, projetadas nos *slides*, apareciam algumas perguntas referentes à atividade desenvolvida. Essas perguntas foram chamadas de Desafios e consistiram em um elemento da Mecânica, no sistema DMC da gamificação [30], que buscava, para além da verificação da aprendizagem, o engajamento dos estudantes. Para isso, cada Desafio permitia uma bonificação para o estudante que o respondesse corretamente.

O estágio de Suporte Teórico, mostrado na Figura 1, teve como objetivo aprofundar as situações de aprendizagem anteriores, apresentando os conceitos próprios de cada tema, desde os mais genéricos até aqueles mais específicos. Utilizamos, para tanto, predominantemente, a exposição oral dos conteúdos, em que o professor expunha os conceitos e dialogava com os estudantes, questionando-os de maneira a problematizar o conteúdo apresentado; também a metodologia de rotação por estações, em que o conteúdo do encontro foi apresentado por meio de quatro estações, ou maneiras distintas de comunicar os conteúdos aos estudantes, como: textos, vídeos, exercícios e simulações; e, por fim, a sala de aula invertida, em que os estudantes realizavam uma tarefa em casa e traziam as dúvidas para serem discutidas na sala de aula, o professor, igualmente, preparava questionamentos para mobilizar os conceitos pretendidos. Essa etapa equivale ao aspecto sequencial quatro da UEPS, a apresentação do conteúdo a ser ensinado, considerando o processo de diferenciação progressiva dos conceitos [32].

As etapas de Discussão e Game, conforme apresentadas na Figura 1, estão alinhadas com o aspecto sequencial de número cinco e seis da UEPS, respectivamente, e procuraram apresentar os conceitos, aprendidos na etapa anterior, em um nível mais discriminado [29]. Nas duas etapas, os alunos realizaram atividades colaborativas. Com a formação de equipes e a competição entre elas, inserimos outros elementos de gamificação relacionados à Dinâmica, como é o caso do Relacionamento, que envolveu as interações sociais entre jogadores na busca de um objetivo comum; e os elementos relacionados à Mecânica, no caso da Colaboração e formação de Equipe, que proporcionaram momentos de cooperação entre os jogadores para que pudessem atingir um objetivo [14].

Na fase de Discussão, os grupos interagiam uns com os outros, sendo que a finalidade da atividade foi propor

um problema aberto que pudesse destacar semelhanças e diferenças ao que aprenderam anteriormente. Nesse momento, podiam discutir e tentar convencer uns aos outros sobre o que pensam a respeito do problema proposto. Ao final, o professor realizava um momento de condensação das ideias, facilitando o processo de reconciliação integradora.

A etapa de Game também tem a finalidade de reconciliar ideias anteriormente discutidas. Contudo, diferente da etapa anterior, foi realizada por meio de um *Quiz* conceitual. O *Quiz* continha sempre cinco questões em níveis crescentes de dificuldade e que abordavam diversos aspectos dos conteúdos trabalhados no encontro, desde conhecimentos declarativos (saber o quê), quanto aqueles procedimentais (saber como) [29]. A tarefa mais uma vez foi executada em equipes e adicionava-se a ela os elementos de gamificação da Mecânica e Componentes, respectivamente, a *Recompensa* e a *Pontuação*, que são benefícios concedidos aos jogadores, no âmbito do processo gamificado, que busca valorizar suas conquistas [30].

Por fim, ainda em aula, a etapa de Consolidação consistiu no encerramento de cada tema trabalhado durante os encontros formativos. Nessa etapa, os estudantes podiam tirar dúvidas e problematizar informações, ideias e conceitos mal elaborados ao longo da aula. A função do professor, nesse estágio, é facilitar o processo de reconciliação integradora.

A etapa de Rememoração ocorreu fora da sala de aula e consistiu no encaminhamento de exercícios, cuja finalidade era manter o estudante em contato com os conceitos vistos em cada encontro formativo. Também se configura como uma estratégia alinhada com o aspecto sete da UEPS, que discorre sobre o processo avaliativo, do tipo individual e somativa [29].

Ao final, no oitavo encontro, com o intuito de verificar o desenvolvimento dos estudantes acerca dos conceitos trabalhados no percurso pedagógico, utilizamos o Jogo EletroWizard como instrumento de avaliação formativa, que permitiu, em consonância com outros instrumentos de avaliação conceitual, acompanhar e produzir uma panorama do desenvolvimento dos estudantes ao longo da UEPS-G, como: os *Quizes* conceituais realizados nas etapas de Game em cada encontro formativo; mapas conceituais produzidos ao longo da UEPS-G (objeto de análise em um outro trabalho dos autores) [19]; e um teste somativo. Neste trabalho, aprofundamos a análise somente nos resultados do jogo educacional, que é o objeto de discussão.

3.3. Características gerais do jogo e aproximações teóricas com a TAS

O produto educacional EletroWizard³ foi projetado para ser jogado individualmente com até seis jogadores, ou

³ Os materiais relativos ao Jogo EletroWizard estão disponíveis no endereço: https://drive.google.com/drive/folders/1nvykFJUg0m8t6qLmSCgAgwAxJqC_JeZd?usp=sharing

em quatro equipes com até seis jogadores cada, o que o caracteriza como um jogo de competição multilateral quando jogado individualmente, ou um jogo de competição entre times quando realizado em equipe [33]. No desenvolvimento da intervenção pedagógica, o jogo foi utilizado no modo competição entre times. Quando se opta pelo jogo em equipes, é importante definir uma ordem de jogo dentro do próprio time, para que, a cada turno de jogo, um integrante diferente seja o jogador da vez [10].

Ambientado na saga *Harry Potter*⁴, a temática da gamificação e do jogo EletroWizard surgiram de uma sondagem, anterior à aplicação da intervenção pedagógica, em que procuramos evidenciar os interesses culturais dos estudantes. Nesta sondagem, houve um momento de escuta que resultou da proposição de temas relacionados a super-heróis (Vingadores e Liga da Justiça); séries de TV (*Game of Thrones*, *Stranger Things* e *Locke & Key*); animes (*One Piece*, *Hunter x Hunter* e *The Boy and the Heron*) e filmes (*Harry Potter*, *Percy Jackson*). Dentre as sugestões dos estudantes, abrimos uma votação para eleger o tema da gamificação, que culminou na escolha do título *Harry Potter*.

O jogo conta com um tabuleiro; um manual de jogo; a ficha de inventário; três cartas de Relíquias da Morte; uma maquina eletrônica para transações monetárias; cartas de charadas⁵ dos tipos: feitiços; poções; herbologia; astronomia e enigma; um livro de Feitiços; um livro de Poções; cartas de propriedades mágicas; peças de edificações; frascos de poções. As cartas de charadas contêm perguntas relacionadas aos conceitos trabalhados durante as aulas e os livros de Feitiços e Poções contêm desafios relacionados aos conteúdos conceituais de Energia e Eletrostática. Além disso, o jogo permite que os jogadores possam fazer transações comerciais e adquirir bens, entre outras funções.

As charadas propostas nas cartas de herbologia, astronomia e enigma tratam de conceitos mais genéricos trabalhados durante as aulas e funcionam, do ponto de vista da TAS, como “organizadores prévios” [6]. Na TAS, para o aprendiz que não possui subsunçores⁶ relacionados a

determinados temas, ou quando os tem, mas de maneira menos elaborada, sugerimos o uso desses “organizadores avançados” ou “organizadores prévios” [35], que são materiais introdutórios em um nível mais elevado de abstração, generalidade e inclusão que o assunto que será tratado de maneira mais específica. O objetivo da utilização desses materiais é servir como facilitador para a ancoragem dos conceitos mais pormenorizados que estão mais diferenciados no conteúdo que se pretende ensinar [35].

Já os desafios propostos nos Livros de Feitiços e Poções encontrados nos materiais do jogo EletroWizard continham questões selecionadas que pudessem estimular os processos dinâmicos que ocorrem na assimilação de conceitos: o de diferenciação progressiva e o reconciliação integradora. O processo de diferenciação progressiva é caracterizado como uma sequência de assimilação de significados a partir de várias exposições a materiais potencialmente significativos; o subsunçor, portanto, vai ficando cada vez mais discriminado e mais capaz de servir de ancoradouro para novas aprendizagens significativas [36]. Isso se evidencia no jogo na forma como os conceitos são apresentados de diferentes maneiras aos jogadores e em variados níveis de dificuldade.

As questões selecionadas foram divididas em três categorias, algumas delas continham um conjunto de saberes necessários para a sua solução, requerendo por parte dos grupos respondentes um domínio mais amplo de um ou vários conceitos trabalhados durante as aulas, nomeadas como Gerais (G). Outras questões requeriam o domínio específico de um determinado saber, contido em um conceito específico, classificadas como Específicas (E). Por fim, algumas questões continham conteúdos aplicados a determinadas áreas de conhecimento como a Engenharia, a Matemática, a Arte, entre outras, contextualizadas em tecnologias e objetos tecnológicos, nomeadas como Aplicadas (A) [10].

As questões do tipo Aplicadas contextualizam os conceitos aprendidos durante as aulas de maneira que, muitas vezes, provocam conflitos em relação aos significados estabelecidos anteriormente e que fogem às similaridades de conceitos previamente apresentados. Esse aspecto desencadeia o processo dinâmico pelo qual se elimina diferenças ou inconsistências aparentes a fim de integrar significados, ocorrendo de maneira simultânea ao processo de diferenciação progressiva e chama-se de reconciliação integradora ou integrativa [20].

Em relação aos aspectos do tripé da gamificação, o EletroWizard é inspirado por uma mescla de jogos tradicionais como Banco Imobiliário⁷ e

⁴ A saga *Harry Potter* é de autoria da escritora inglesa J.K. Rowling e compreende um total de sete livros. A partir dessa obra, foram lançados, ao longo das duas últimas décadas, um total de oito filmes e outros produtos relacionados a esse universo. Alguns dos termos empregados na confecção do jogo EletroWizard, são terminologias próprias desse conjunto de materiais disponíveis sob direitos autorais, mas com licença para produções educacionais sem fins lucrativos, como é o caso do produto desta investigação.

⁵ Compreende enunciados lúdico-heurísticos, formulados em forma de desafios, cujo objetivo é mobilizar o raciocínio, a memória e os conhecimentos prévios dos jogadores, servindo como estímulo à resolução de problemas e à aprendizagem de conteúdos.

⁶ O termo subsunçor deriva do termo em inglês *subsumer* e equivale ao verbo subsumir no português, que significa incluir algo em um contexto mais amplo, tendo este como parte ou componente [10]. Moreira define o subsunçor ou ‘ideia-âncora’ como o conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende e que permite dar significado a uma nova ideia quando ela lhe for apresentada ou descoberta pelo aprendiz [34].

⁷ O Banco Imobiliário é um jogo de tabuleiro que simula aspectos do mercado imobiliário, proporcionando aos participantes a oportunidade de desenvolver estratégias relacionadas à negociação, compra, venda e gestão de recursos financeiros. Durante a partida, os jogadores deslocam-se pelo tabuleiro por meio de sorteios (geralmente dados) e realizam transações que envolvem aquisição de propriedades, cobrança de aluguéis e administração de ativos.

Jogo da Vida⁸, quanto às suas funções principais, podemos classificá-lo como um jogo de tabuleiro que expressa tanto o objetivo de conquista de itens, próprio dos Jogos de Percurso, como também utiliza o lançamento de dados para definir jogadas e estimular competição, próprio dos Jogos de Dados [37].

No EletroWizard, o tempo de jogo é delimitado pelo tempo pedagógico disponível, configurando um elemento de restrição da MDE [30]. Assim, o jogo possui dois objetivos que definem um vencedor, ou equipe vencedora, destacadas a seguir: i) Coletar as três Relíquias da Morte (neste caso, o tempo é utilizado no sentido de conquistar objetos antes dos oponentes); ii) Terminar o tempo de jogo, ou tempo pedagógico, com a maior quantidade de Galeões (G\$), que é a unidade monetária utilizada nas transações financeiras presentes na competição. Nessa circunstância, o tempo é utilizado como restritor de ação, finalizando o jogo independente do primeiro objetivo ter sido finalizado e possibilitando a vitória por outra via. Esse tipo de estratégia é conhecida no *design* de jogos como *ticking clock* ou, relógio regressivo em tradução literal [33].

3.4. Coleta e análise dos dados

3.4.1. Instrumentos de coleta de dados

Para a coleta de dados desta investigação, inicialmente, aplicamos um questionário com questões subjetivas, que consiste numa técnica de coleta de dados primários em que se dá ênfase à descrição verbal dos sujeitos [38], o qual objetivou avaliar o domínio conceitual dos estudantes em um instante anterior ao percurso formativo, ou seja, investigar os conhecimentos subsunçores dos estudantes, nessa etapa, alinhado ao referencial teórico adotado na investigação.

Posteriormente, ao final da unidade de ensino, utilizamos o jogo EletroWizard como instrumento de avaliação para a rememoração dos conceitos abordados no percurso formativo e a técnica de observação participante, que permitiu ao pesquisador uma compreensão mais aprofundada das práticas, interações e significados atribuídos pelos participantes em seu contexto natural naquele momento [39], o intuito desse segundo instrumento foi observar, de maneira panorâmica, o domínio conceitual da turma, após um período de seis meses.

3.4.2. Análise dos dados

3.4.2.1. Análise dos dados discursivos

Para análise dos dados discursivos produzidos no questionário aplicado no início do processo formativo, utilizamos a técnica de Análise Textual Discursiva (ATD).

⁸ O Jogo da Vida é um jogo de tabuleiro que simula o percurso da vida adulta, abordando decisões sobre carreira, finanças e família. Os jogadores avançam conforme sorteios, enfrentando eventos que afetam o seu progresso. A dinâmica promove reflexão sobre planejamento, escolhas e consequências em contextos sociais e econômicos.

Essa é uma metodologia de análise qualitativa que visa produzir novas compreensões sobre fenômenos e discursos, situando-se entre a análise de discurso e a análise de conteúdo, sendo que o diferencial da abordagem está no caráter hermenêutico, que valoriza a interpretação dos sentidos a partir das experiências e visões de mundo dos sujeitos, afastando-se de abordagens positivistas e reforçando o seu alinhamento à pesquisa qualitativa [40].

Desse modo, para análise dos dados produzidos via aplicação de questionário na etapa inicial do processo formativo, empregamos a ATD. De acordo com Moraes e Galiazzi [40], esta constitui-se de três etapas principais, a primeira delas é a desmontagem dos textos, ou unitarização, em que se realiza uma leitura aprofundada do *corpus* de análise, que, neste estudo, é constituído das respostas dadas por estudantes a um questionário que objetivava levantar as suas compreensões conceituais iniciais acerca dos temas que seriam tratados posteriormente no percurso formativo, são eles: Energia (definição, fontes e formas), Eletricidade, Composição da Matéria, Cargas Elétricas (quantidade, quantização e conservação). Esse processo permite a consolidação de unidades constituintes de significado e podem ser denominadas de unidades empíricas, quando advindas do *corpus* de análise e unidade teóricas, quando oriundas dos interlocutores teóricos [41].

A leitura atenta e recursiva permitiu estabelecer relações entre os fragmentos, esse processo caracteriza a segunda etapa da ATD e é chamado de categorização, o qual consistiu em reunir elementos unitários em torno de suas similitudes [40], levando à construção de categorias empíricas. Os agrupamentos iniciais foram revisados e refinados. Categorias muito amplas foram subdivididas; categorias muito semelhantes foram unificadas. Esse processo iterativo levou à definição de categorias intermediárias e, finalmente, às categorias finais que representavam as principais concepções dos estudantes sobre cada um dos conceitos investigados. Cada categoria final recebeu um título que expressava o seu conteúdo central.

A terceira etapa deriva das releituras próprias da estrutura recursiva da ATD nos processos de unitarização e categorização. A captação do novo emergente, ou metatexto, como é denominada a última etapa, requer compreensões estabelecidas a partir das explorações das nuances percebidas pelo pesquisador e conectadas às suas compreensões prévias. Essa fase envolveu a descrição e a interpretação das categorias construídas na etapa anterior, culminando na elaboração de um novo entendimento sobre o fenômeno [40].

Foram elaboradas descrições para cada categoria identificada, com base nas respostas dos alunos, incluindo exemplos que ilustram as suas concepções. Em seguida, essas concepções foram interpretadas e comparadas com os conceitos científicos formais relacionados à Energia e Eletrostática, permitindo identificar aproximações e divergências entre o conhecimento dos estudantes e o saber científico. A análise e a interpretação das categorias, à

luz do referencial teórico (conceitos científicos formais e, posteriormente, a literatura sobre EF), propiciaram a emergência de um novo entendimento sobre as concepções dos estudantes e suas implicações para o ensino, expresso nas conclusões e recomendações.

É importante ressaltar que, conforme preconizado por Moraes e Galiazzi [40], o processo da ATD não foi estritamente linear, mas cíclico e recursivo. Houve um movimento constante entre as etapas: a identificação de novas unidades de significado podia levar à revisão das categorias e a tentativa de descrever e interpretar uma categoria podia exigir um retorno ao material empírico para refinar a compreensão. O processo foi interpretativo, buscando captar os significados atribuídos pelos estudantes aos conceitos investigados e construir uma compreensão aprofundada do fenômeno a partir desses significados.

3.4.2.2. Análise da observação participante

Ao final do processo formativo, os eventos registrados, por meio de observação participante, na aplicação do Jogo EletroWizard, foram organizados em tabelas. Alguns desses dados produziram resultados quantificáveis, que foram apresentados de maneira numérica na análise, mas não substituíram a interpretação qualitativa dos significados.

Assim, inicialmente, os dados empíricos textuais foram sistematizados em uma Tabela Analítica⁹ que contém: os registros codificados de todas as questões conceituais¹⁰ que foram mobilizadas pelos estudantes durante o Jogo EletroWizard; a classificação das questões quanto ao tipo de conceitos que foram explorados; o estudante respondente da questão e o desempenho referente à resposta dada.

Após a caracterização das questões conceituais referentes aos tipos de conceitos que elas mobilizam (Gerais, Específicas ou Aplicadas), foi realizada uma análise comparativa e interpretativa referente aos conceitos mobilizados por cada tipo de questão, o desempenho dos estudantes e a evolução conceitual em relação à análise inicial de conceitos prévios.

4. Resultados e Discussão

4.1. Análise conceitual de subsunções

A compreensão dos conceitos relacionados à Energia e Eletrostática constitui um desafio significativo no EF [42], especialmente na EB. Esses conceitos são fundamentais para a construção de conhecimentos

mais complexos; para o entendimento de fenômenos cotidianos; “descrever interações elétricas entre objetos eletricamente carregados; compreender aspectos tecnológicos da ciência e entender parte relevante da cultura humana” [43]. Nesse contexto, Pantoja e Moreira [43] ressaltam que uma explicação plausível para essas dificuldades estão associadas à ausência de conexão significativa e não-arbitrária entre os conhecimentos prévios dos estudantes e os novos conteúdos a serem aprendidos.

Desse modo, esta análise teve como objetivo investigar as concepções prévias dos alunos sobre conceitos relacionados à Energia e Eletrostática, anteriormente a uma abordagem pedagógica que pretendeu mobilizá-los, comparando-as posteriormente com os conceitos científicos formais e produzindo, ao final, recomendações pedagógicas que possam contribuir para o desenvolvimento de estratégias de ensino, que busquem promover a aprendizagem significativa, considerando os subsunções identificados empiricamente e articulando com estudos do campo de EF.

As categorias derivadas da leitura atenta e recursiva na fase de unitarização da ATD [40] foram pensadas *a priori* quando da elaboração do instrumento de coleta de dados, em vista da utilização de questões que procuraram investigar o que os estudantes compreendiam acerca dos conceitos relacionados à Energia, suas fontes e classificações; Eletricidade; Carga Elétrica; Conservação e Quantização. Contudo, a conformação final dessas categorias deu-se devido ao processo cíclico de desmontagem e reaproximação por similitude de subcategorias, destacadas em detalhes nas subseções seguintes.

4.1.1. Concepções sobre energia

Ao analisar as respostas às perguntas relacionadas ao conceito de energia, *i) O que é Energia, para você?*; *ii) Você saberia citar algumas fontes de energia?*; *iii) Você saberia citar algum tipo de energia renovável?*; *iv) Você saberia citar algum tipo de energia não renovável?*, foi possível identificar diferentes níveis de compreensão e abordagens conceituais dos estudantes. Algumas respostas demonstram uma aproximação significativa com o conceito científico formal, enquanto outras revelam concepções alternativas ou incompletas, como observamos no Quadro 1.

A diversidade e a presença de concepções alternativas, elencadas no Quadro 1, são esperadas em um contexto de avaliação conceitual inicial e muito importantes do ponto de vista de processos de ensino pautados na TAS, que enfatiza a importância dos conhecimentos prévios (subsunções) para a construção de novos conhecimentos [36]. Por concepções alternativas, entendemos aquelas que destoam do conceito físico formal, que podem carregar erros conceituais, mas que possuem, de alguma maneira, uma aproximação com o conceito científico passível de ser reformulada e utilizada no contexto da TAS como uma ponte para o desenvolvimento conceitual.

⁹ O modelo de tabela de observação utilizado pode ser acessado em: <https://drive.google.com/file/d/1egjFZPzmeO6XJvuhXii91iX0hftGe3Al/view?usp=sharing>

¹⁰ Por questão conceitual, compreendemos aquelas empregadas na utilização do jogo EletroWizard no formato de charada (perguntas abertas) e objetivas (múltipla escolha), que abordavam os conceitos físicos trabalhados ao longo do percurso formativo.

Quadro 1: Categorização sobre o conceito de Energia.

Unidades Empíricas	Subcategoria Inicial	Categoria Final
“Capacidade que um corpo ou um sistema físico têm de realizar trabalho.” <i>Estudante Neils Bohr</i>	Energia como capacidade de realizar trabalho	Concepções sobre Energia
“Qualquer coisa que esteja trabalhando, movendo outro objeto ou aquecendo” (calor). <i>Estudante Marie Curie</i> “São correntes elétricas que fazem alguma máquina trabalhar” (eletricidade). <i>Estudante Nikola Tesla</i>	Energia como uma manifestação específica ou por efeitos observáveis	
“Tudo que constitui o universo.” <i>Estudante Charles Darwin</i> “Energia ao meu ver é uma fonte de poder usada para suprir as necessidades de todos e serve também para não poluir o mundo.” <i>Estudante Barbara McClintock</i>	Energia como uma concepção generalista ou imprecisa	
“Energia solar, energia de combustão, energia elétrica e energia de fricção.” <i>Estudante Stephen Hawking</i> “Energia eletrostática, eólica.” <i>Estudante Nikola Tesla</i>	Fontes, Tipos e Transformações de Energia	Classificações sobre Energia
Renováveis: “Energia eólica, energia solar, energia hidráulica.” <i>Estudante Nikola Tesla</i> Não-renováveis: “Petróleo, carvão mineral, gás natural e nuclear.” <i>Estudante Galileu Galilei</i> “Biomassa.” <i>Estudante Nikola Tesla</i> “Hidroelétricas.” <i>Estudante Lise Meitner</i>	Distinção entre Fontes Renováveis e Não-Renováveis de Energia	

Fonte: Elaboração própria.

A tendência dos estudantes de associar energia a manifestações específicas ou à sua utilidade prática revela uma dificuldade intrínseca na abstração do conceito. Os dados empíricos indicam que os alunos tendem a descrever energia pelo que ela faz ou para que serve no cotidiano (movimento, aquecimento, iluminação, suprir necessidades), em vez de sua natureza intrínseca como grandeza física escalar. Isso sugere que o conhecimento prévio, muitas vezes, enraizado em experiências sensoriais e aplicações práticas, atua como um subsunçor forte, mas que pode limitar a construção de um conceito mais abstrato e formal.

O desafio pedagógico reside em auxiliar os estudantes a desvincular a energia de suas manifestações cotidianas observáveis e a reconhecê-la como uma propriedade mais fundamental e abstrata de um sistema. Ressaltamos, entretanto, que, mesmo no campo da Física, a ideia de energia é um conceito extremamente abstrato [44], associada a muitas discussões sobre as dificuldades acerca da melhor maneira de ensinar sobre [45].

A confusão entre fontes, formas e processos de energia indica uma fragmentação do conhecimento, em que

os alunos não constroem um arranjo conceitual coeso para a energia. Quando os estudantes misturam *energia solar* (fonte) com *energia elétrica* (forma) e *combustão* (processo), demonstra-se que as categorias conceituais não estão claramente diferenciadas e hierarquizadas em suas estruturas cognitivas. Essa falta de clareza pode levar a um entendimento superficial e a dificuldades na aplicação do princípio de conservação, que exige a identificação e o rastreamento das transformações entre formas de energia, esses processos de generalização do conceito e suas posteriores especificações requerem a mobilização de práticas pedagógicas que promovam adequadamente os processos de diferenciação progressiva e reconciliação integradora, as quais dependem de etapas anteriores de identificação dos conhecimentos prévios e da organização deles [45].

4.1.2. Concepções sobre eletricidade

As concepções dos estudantes sobre eletricidade, assim como as concepções sobre Energia, são bastante variadas, mesclando conhecimentos científicos com

Quadro 2: Categorização sobre o conceito de Eletricidade.

Unidades Empíricas	Subcategoria Inicial	Categoria Final
“Estudo de fenômenos que ocorram devido à cargas elétricas em repouso ou em movimento.” <i>Estudante Isaac Newton</i> “A eletricidade abrange vários fenômenos que apresentam descarga elétrica.” <i>Estudante Nikola Tesla</i>	Fenômeno associado a cargas elétricas	Concepções sobre Eletricidade
“É tudo aquilo capaz de produzir calor.” <i>Estudante Marie Curie</i> “É um nome usado para definir a Energia que usamos no nosso dia a dia e virou uma necessidade já para todos nós.” <i>Estudante Barbara McClintock</i>	Manifestações específicas ou efeitos observáveis	
“Eletricidade é uma forma de circuito que contém vários fio elétricos.” <i>Estudante Galileu Galilei</i> “Energia de corrente.” <i>Estudante Ada Lovelace</i> “Alta tensão.” <i>Estudante Nikola Tesla</i>	Concepções que revelam confusões conceituais ou imprecisões	

Fonte: Elaboração própria.

noções cotidianas sobre o conceito. As respostas foram dadas às perguntas: i) *O que é Eletricidade?*; ii) *Podemos obter outros tipos de energia a partir da Energia Elétrica? Quais?*. Alguns desses estudantes entendem a eletricidade como um fenômeno ligado a cargas elétricas, o que se aproxima do conceito científico, enquanto outros a associam a manifestações e transformações específicas, como a produção de calor ou generalizam-na como energia usada diariamente, limitando a sua compreensão. Há também aqueles com ideias imprecisas, que compreendem a eletricidade como produto da utilização em circuitos. A maioria dos estudantes reconhece-a como um tipo de energia, mas nem sempre distingue claramente entre o fenômeno e a forma de energia, e embora consigam identificar transformações energéticas a partir dela, algumas respostas ainda contêm imprecisões, como ilustrado no Quadro 2.

No Quadro 2, a dificuldade dos estudantes em diferenciar eletricidade (o fenômeno) de energia elétrica (a forma de energia) aponta para uma lacuna na compreensão do significado mais abrangente dos conceitos físicos. Os estudantes, frequentemente, utilizam os termos de forma intercambiável, o que indica que eles não internalizaram a distinção fundamental entre um processo ou conjunto de fenômenos (eletricidade) e uma propriedade quantificável que pode variar ou ser transformada (energia elétrica). Essa confusão pode derivar de uma linguagem cotidiana que não faz essa distinção, ou de um ensino que não a enfatize suficientemente. A clareza terminológica e a exploração explícita da natureza de cada conceito são, portanto, cruciais para um entendimento mais preciso. Em percursos pautados na TAS, proporcionar situações que facilitem o processo de reconciliação integradora pode ser uma estratégia para sanar essas lacunas.

A análise também sugere que, embora a observação de fenômenos elétricos concretos seja um ponto de partida importante, ela não é suficiente para a construção de conceitos abstratos. Enquanto os alunos associam eletricidade a efeitos observáveis como calor e a luz, a pesquisa empírica mostra que essa associação não leva a uma compreensão abrangente do conceito. Nesse contexto, Lima e Takahashi [46] sugerem que a experimentação, seja real ou virtual, configura uma importante estratégia para a promoção da aprendizagem por descoberta, que acompanhada de discussões teóricas e sistematização do conhecimento pode permitir maior discriminação conceitual. Os autores, ao abordarem a ideia de rótulos conceituais, demonstram que o ensino conjunto de conceitos similares por meio da experimentação, pode ser uma importante estratégia de discriminação de conceitos [46].

Para essa problemática da diferenciação e reconciliação conceitual, pesquisas em EF sugerem alternativas pedagógicas como a contextualização fenomenológica ou histórica de conceitos e a integração entre conceitos que, geralmente, são apresentados separadamente. A título de exemplo, Filho [47] propõe, em seu trabalho, uma correlação entre descargas elétricas atmosféricas (raios) com o experimento de Van de Graaff, utilizando um fenômeno natural para desmistificar conceitos errôneos e aumentar o interesse dos alunos. Uma outra possibilidade apresentada por Fonseca e Penello [48] destaca a necessidade de evidenciar a relação entre eletrostática e circuitos de corrente constante, tradicionalmente, discutidos separadamente. Para os autores, a compreensão da distribuição superficial de carga como fator principal na relação causal do surgimento da corrente elétrica pode ajudar a construir uma compreensão mais unificada do fenômeno elétrico. Uma abordagem histórica, como a proposta por Jardim e Guerra [49], também pode

enriquecer a discussão sobre a complexidade da construção do conhecimento científico em torno da eletricidade.

Em resumo, a dificuldade dos estudantes em diferenciar eletricidade de energia elétrica é um indício de uma indiscriminação conceitual, acentuada por uma linguagem cotidiana imprecisa e metodologias de ensino que não enfatizam a distinção fundamental entre os conceitos. Superar essa barreira exige não apenas clareza terminológica, mas também a implementação de estratégias pedagógicas que promovam a reconciliação integradora e a discriminação conceitual. A experimentação, a contextualização fenomenológica ou histórica e a integração de conceitos tradicionalmente separados podem unificar o entendimento dos fenômenos elétricos, enriquecendo o processo de aprendizagem e desmistificando concepções errôneas.

4.1.3. Concepções sobre carga elétrica sua conservação e quantização

Ao analisar as respostas às perguntas: *i) O que você entende por Carga Elétrica?*; *ii) O que você entende por Conservação da Carga Elétrica?*; *iii) O que você entende por Quantização da Carga Elétrica?*, é possível identificar uma diversidade de concepções que refletem tanto conhecimentos científicos quanto noções intuitivas. O Quadro 3 sintetiza as unidades empíricas que melhor representam as subcategorias destacadas na análise e a categoria mais abrangente desta seção.

As concepções iniciais dos estudantes sobre carga elétrica, conforme Quadro 3, evidenciam uma heterogeneidade conceitual considerável. Uma parcela dos respondentes alinha-se ao conceito científico formal, definindo carga elétrica como uma propriedade fundamental da matéria, intrinsecamente ligada a partículas subatômicas como prótons e elétrons. Essa compreensão reflete uma visão mais sofisticada, reconhecendo a natureza intrínseca da carga como uma propriedade física fundamental e sua relação com a estrutura atômica [50].

Contrariamente, uma tendência observada é a confusão entre carga elétrica e energia, ou a associação com processos relacionados à eletricidade. Embora haja uma relação mediada pelo potencial elétrico, a carga elétrica, por si, constitui uma propriedade fundamental [10], e não uma forma de energia. Similarmente, a condução de eletricidade, um processo que envolve o movimento de cargas, não define a natureza da carga em si. Tais equívocos revelam dificuldades na articulação conceitual, em que a associação da carga com o movimento pode derivar da observação da geração de corrente elétrica por cargas em movimento, sem, contudo, evidenciar a sua natureza fundamental.

Há ainda uma fração dos estudantes que demonstra lacunas significativas na compreensão do conceito, manifestadas por respostas como “Não sei” ou “Não entendo esse assunto ainda”, o que encaminha abordagens de ensino que valorizem a organização conceitual de maneira a construir esse subsunçor por meio da “inferência,

abstração discriminação, descobrimento, representação”, envolvidos em encontros sucessivos com objetos, eventos ou outros conceitos [20].

Em relação ao conceito de Conservação da Carga Elétrica, as concepções dos estudantes variam de uma compreensão próxima ao significado físico a interpretações em outros contextos. Muitos associam conservação à permanência ou à imutabilidade, alinhando-se ao conceito científico de invariância. Alguns demonstram conhecimento de leis físicas específicas, como a conservação da energia e da matéria, mas sem integrar esse conhecimento à Carga Elétrica. Uma parte significativa, no entanto, interpreta o termo no contexto ambiental ou ecológico, o que, embora válido, revela desconhecimento em relação ao contexto em que se aplica o conceito. Há ainda uma associação com o conceito genérico de conservação de patrimônio.

Do ponto de vista da Física, o princípio de conservação refere-se à invariância de certas grandezas em sistemas isolados ao longo do tempo, como é o caso da conservação da energia, do momento linear, do momento angular e da carga elétrica [51]. A literatura em EF enfatiza a importância de abordar cautelosamente o princípio de conservação, independentemente da grandeza. Em estudos de Gomes [47], por exemplo, é discutida a evolução histórica do conceito de energia e a formulação moderna do princípio de conservação de energia por Joule e Kelvin, fornecendo subsídios, desde uma abordagem centrada na História da Ciência, para um ensino mais aprofundado do conceito e a proposta de [52], que demonstra como experimentos práticos podem ser utilizados para discutir a conversão e a dissipação de energia, ajudando a consolidar a compreensão do conceito. Essas abordagens podem ser inspiração para percursos formativos que visem ensinar, desde a perspectiva da História da Ciência ou da experimentação sobre a conservação da carga elétrica.

A polissemia do termo conservação, evidenciada na subcategoria (Conservação da Carga Elétrica relacionada a contextos ambientais ou ecológicos), é um desafio pedagógico relevante, pois evidencia a ausência de subsunçores que possibilitem o aprofundamento do conceito e encaminha abordagens que utilizem organizadores prévios, cuidadosamente planejados para a consolidação da aprendizagem [53].

A predominância da interpretação ambiental para a conservação demonstra como o significado em um domínio (Ecologia/Ambiental) pode sobrepor-se a um significado específico em outro (Física), dificultando a aprendizagem. Quando os alunos encontram o termo em Física, eles naturalmente ativam os seus conhecimentos prévios mais salientes, muitas vezes, ligados ao discurso público sobre o meio ambiente, que lhe é mais comum. Isso não constitui um erro propriamente, mas uma transferência inadequada de significado entre domínios. A implicação é que os professores precisam ser explícitos sobre a polissemia do termo e as condições de aplicabilidade em cada contexto, talvez utilizando

Quadro 3: Categorização sobre o conceito de Carga Elétrica, sua Conservação e Quantização.

Unidades Empíricas	Subcategoria Inicial	Categoria Final
“A carga elétrica é uma propriedade das partículas elementares que compõem o átomo, sendo que a carga do próton é positiva e a do elétron, negativa.” <i>Estudante Dorothy Vaughan</i> “A carga elétrica é uma propriedade física fundamental que determina interações eletromagnéticas.” <i>Estudante Vera Rubin</i>	Carga elétrica como propriedade de partículas subatômicas	Concepções sobre Carga Elétrica, Conservação e Quantização.
“Carga é como se fosse um tipo de energia, que pode ser aumentada e usada diversas vezes.” <i>Estudante Dorothy Vaughan</i> “Carga é tudo que conduz eletricidade.” <i>Estudante Alan Turing</i>	Carga elétrica como a manifestação associada à energia ou a fenômenos elétricos específicos	
“Aquilo que pode gerar movimento.” <i>Estudante James Clerk Maxwell</i> “Algo que compõem outra coisa.” <i>Estudante Galileu Galilei</i>	Concepções que revelam confusões conceituais ou imprecisões	
“Refere-se a algo que não muda, a variável sempre vai manter o mesmo valor.” <i>Estudante Ada Lovelace</i> “A conservação se refere a algo que se mantém e não muda, mas permanece constante ao longo do tempo.” <i>Estudante Albert Einstein</i> “Deixar algo como está, sem alterar.” <i>Estudante Galileu Galilei</i>	Conservação da Carga Elétrica associada à ideia de permanência ou imutabilidade	
“A conservação denomina que a carga elétrica não pode ser criada e nem destruída.” <i>Estudante James Clerk Maxwell</i> “Algo que não pode ser criado nem destruído, apenas transformado, assim como diz a Lei de Lavoisier.” <i>Estudante Ada Lovelace</i>	Conservação da Carga Elétrica relacionadas à lei de conservação da matéria ou energia	
“A conservação permite o desenvolvimento socioeconômico aliado ao cuidado com a natureza.” <i>Estudante Alan Turing</i> “As unidades de conservação são áreas naturais que passam por processo severos de conservação.” <i>Estudante Dmitri Mendeleev</i>	Conservação da Carga Elétrica relacionada a contextos ambientais ou ecológicos	
“Guardar ou preservar algo.” <i>Estudante Alan Turing</i> “É quando podemos conservar um valor de um elemento, corpo. É algo que não podemos mudar.” <i>Estudante Isaac Newton</i>	Concepções que revelam confusões conceituais ou imprecisões sobre a Conservação da Carga Elétrica	
“É o processo de atribuição de valores discretos para um sinal cuja amplitude varia entre infinitos valores.” <i>Estudante Katherine Johnson</i> “Em processamento de sinais digitais, quantização é o processo de atribuição de valores discretos para um sinal cuja amplitude varia entre infinitos valores.” <i>Estudante Louis Pasteur</i>	Concepção de Quantização da Carga Elétrica que se aproxima do conceito formal	
“Algo que venha enumerar, quantificar determinada coisa.” <i>Estudante Marie Curie</i> “Serve para determinar a quantidade da carga.” <i>Estudante James Clerk Maxwell</i>	Concepção de Quantização da Carga Elétrica relacionada à ideia de medição ou atribuição de valores	
“Eu não sei explicar, não entendo esse assunto ainda.” <i>Estudante Charles Darwin</i> “Eu não sei dizer muito bem.” <i>Estudante Albert Einstein</i>	Não articulação do conceito de Quantização da Carga Elétrica	

Fonte: Elaboração própria.

exemplos contrastantes para ilustrar as diferenças, incentivando reelaborações ou estimulando o processo de aprendizagem por subordinação [20].

O processo de subordinação ocorre quando o sujeito possui um conhecimento mais genérico sobre determinado assunto como ‘Conservação Ambiental’ e relaciona de maneira substantiva esse conhecimento com um novo ‘Conservação da Carga Elétrica’, utilizando, para tanto, ideias mais estáveis como suporte à aprendizagem do novo conhecimento. Esse processo é interativo, pois promove uma reelaboração do subsunçor, tornando-o mais diferenciado [20], podendo ser derivativo ou correlato. A subordinação será derivativa quando o novo conhecimento apenas confirmar ou derivar de conceitos já existentes na mente do aprendiz; e será correlativa, quando o novo material aprofundar, modificar ou quantificar conceitos previamente aprendidos de forma significativa [34].

Outro achado da análise é a não menção à aplicação da conservação em sistemas isolados. Essa é uma lacuna relevante, pois essa condição é fundamental para a validade dos princípios de conservação na Física. O princípio da conservação de energia, momento ou carga só se aplica rigorosamente a sistemas isolados, ou seja, aqueles que não trocam matéria ou energia com o ambiente [54]. Se os alunos não compreendem essa condição, a sua concepção sobre o princípio poderá ser comprometida. Isso indica que o ensino pode não estar enfatizando suficientemente as condições de contorno para a validade das leis físicas, o que é essencial para uma compreensão conceitual robusta.

No que diz respeito à análise das respostas dos estudantes sobre o conceito de quantização, algumas delas revelam uma compreensão predominantemente limitada, muitas vezes restrita à reprodução de definições técnicas associadas a outros domínios conceituais, como as de processamento de sinais digitais. Alguns outros associam quantização à ideia de medição ou atribuição de valores, o que, embora simplificado, capta um aspecto da ideia de valores específicos. Há um número significativo de alunos que admite total desconhecimento, indicando lacunas consideráveis na compreensão desse conceito abstrato, corroborando com a literatura que evidencia que os estudantes da Educação Básica têm graves dificuldades relacionadas à compreensão desse conceito abstrato [42].

Na Física, a quantização refere-se ao fato de que certas grandezas físicas só podem assumir valores discretos (quantizados), em vez de variar continuamente e, no contexto da eletrostática, a quantização da carga elétrica significa que a carga de qualquer objeto é sempre um múltiplo inteiro da carga elementar (a carga do elétron ou do próton) [51]. O desconhecimento generalizado dos estudantes acerca do conceito de quantização e a utilização de definições próprias do campo de processamento de sinais digitais sugerem que os alunos podem ter encontrado o termo no contexto da eletrônica digital e transpuseram sem o devido cuidado para o contexto da Física. A ausência de menção à quantização da

carga elétrica, apesar de ser um conceito central na eletrostática, é um forte indicador de que a quantização não é percebida como uma propriedade intrínseca da matéria, mas como um conceito técnico isolado.

4.1.4. Síntese da análise discursiva de subsunçores

A discrepância entre o conhecimento científico formal e as concepções dos estudantes, somadas às dificuldades dos professores em abordar certos conteúdos conceituais, apontam para a necessidade de aprimorar a transposição didática desses conceitos complexos. Os resultados empíricos revelam as lacunas dos alunos e a literatura indica que os processos de ensino também enfrentam desafios na transformação do conhecimento científico para ser ensinado [55]. Isso sugere que o problema não reside apenas na aprendizagem do aluno, mas também na forma como o conhecimento é mediado. A implicação é que a formação continuada de professores e o desenvolvimento de materiais didáticos específicos são cruciais para uma transposição didática eficaz de conceitos abstratos e, algumas vezes, contraintuitivos.

O alinhamento entre as dificuldades empíricas dos alunos e as diversas metodologias ativas e contextualizadas, propostas na literatura, sugere que a combinação dessas estratégias pode ser mais eficaz do que a aplicação isolada de uma única abordagem. Reconhecemos que a construção de conhecimentos científicos é um processo complexo e não linear, que envolve avanços, retrocessos e reconstruções contínuas. Neste sentido, o EF deve ser visto como um processo contínuo de negociação de significados, em que professores e estudantes trabalham colaborativamente para construir uma compreensão cada vez mais rica e profunda dos fenômenos naturais. A implementação dessas recomendações, adaptadas às características específicas de cada contexto educacional, é essencial para transformar o EF e capacitar os estudantes a desenvolverem um pensamento científico robusto.

4.2. Análise conceitual dos estudantes na aplicação do jogo EletroWizard

Para que cumpram plenamente o seu propósito, é preciso que cada jogo seja concebido com funções bem delimitadas: a função lúdica, responsável pelo engajamento e prazer na atividade, e a função educativa, que direciona a aquisição de conhecimentos e o desenvolvimento de competências específicas. A união dessas duas dimensões garante o impacto positivo dos jogos no percurso educacional [23]. Em seu trabalho sobre a TAS e o jogo, Silva-Pires, Trajano e Araujo-Jorge referem a possibilidade de construção do conhecimento por meio dos jogos, pois eles possibilitam a criação de uma representação simbólica da realidade [24].

Neste sentido, considerando a sua dimensão lúdica e educativa [23], o Jogo EletroWizard buscou, nesta investigação, por indícios de aprendizagem significativa

referente aos conceitos estudados previamente pelos estudantes de terceira série, quais sejam: Energia e Eletrostática. Esses indícios puderam ser observados por meio dos resultados obtidos pelos estudantes em relação aos questionários e charadas, aos quais foram submetidos na aplicação do jogo e que serão detalhados nas seções seguintes.

Em um primeiro momento, apresentamos a categorização das questões conceituais utilizadas no jogo; essa classificação foi utilizada em vistas de mobilizar diferentes tipos de conceitos relacionados aos temas trabalhados e para que fosse possível distinguir as dificuldades de discriminação de conceitos pelos estudantes. Posteriormente, são apresentados os resultados obtidos da aplicação do jogo com referência a cada uma das categorias apresentadas. Por fim, fizemos uma análise comparativa de desenvolvimento conceitual em relação aos resultados obtidos na primeira parte do trabalho com a ATD, dos conhecimentos prévios da turma de estudantes e, posteriormente, ao processo formativo, por meio do Jogo EletroWizard.

4.2.1. Classificação das questões conceituais

Para que fossem inseridos os aspectos educativos relacionados à aprendizagem de conceitos no jogo [23], as questões conceituais, presentes nos Livros de Feitiço, de Poções e nas cartas de charadas do jogo EletroWizard, foram classificadas de modo a abordarem conceitos mais amplos e genéricos (Questões Genéricas), mais discriminados (Questões Específicas) e outros contextualizados (Questões Aplicadas).

Na TAS, um conceito genérico refere-se a uma ideia, conceito ou proposição mais ampla e inclusiva que já existe na estrutura cognitiva do aprendiz [20]. Esse conceito genérico atua como uma “âncora” para o novo conhecimento, permitindo que ele seja assimilado e integrado à rede de conhecimentos do indivíduo, ao invés de ser apenas memorizado isoladamente [21]. Assim, elencamos a seguir, no Quadro 4, algumas características dos conceitos mobilizados nas questões do tipo Gerais.

Um conceito específico, por outro lado, é uma nova informação, ideia ou proposição que o aprendiz está tentando assimilar. Para que essa nova informação seja aprendida de forma significativa, ela precisa ser subordinada a um conceito genérico (subsunção) já existente na estrutura cognitiva do indivíduo [22]. Fazendo uma analogia a um sistema de exploração de arquivos, o conceito genérico atua como uma pasta ou categoria mais ampla, enquanto o conceito específico é um arquivo ou item que se encaixa dentro desta pasta. As questões do tipo Específicas mobilizam conceitos que, na TAS, são considerados processos que diferenciam e especificam conceitos.

O processo de discriminação de um conceito ocorre por meio dos processos cognitivos dinâmicos de diferenciação progressiva e reconciliação integradora, geralmente por

Quadro 4: Caracterização dos conceitos referentes às questões do tipo Gerais.

Característica	Definição
Preexistência	O conceito genérico já deve estar presente na estrutura cognitiva do aprendiz [56].
Relevância	Ele precisa ser relevante para a nova informação a ser aprendida, ou seja, ter a capacidade de “ancorar” o novo conhecimento [21].
Inclusividade	Geralmente, são conceitos mais abrangentes e inclusivos, capazes de englobar ideias mais específicas [57].
Modificabilidade	Tanto o conceito genérico quanto a nova informação podem ser modificados no processo de interação. O conceito genérico pode se tornar mais diferenciado e abrangente, enquanto a nova informação adquire um significado mais profundo [10].

Fonte: Elaboração própria.

meio da aprendizagem subordinante [34]. Um bom exemplo é mobilizado por Moreira [20], quando o autor utiliza o conceito de conservação de energia para explicar esse processo. O processo de subordinação acontece quando o sujeito possui um conhecimento mais genérico sobre determinado assunto como ‘Conservação da Energia’ e relaciona, de maneira substantiva, esse conhecimento com um novo ‘Conservação de Energia Cinética’, utiliza, para tanto, ideias mais estáveis como suporte à aprendizagem do novo conhecimento. O processo é interativo, visto que promove uma reelaboração do subsunção tornando-o mais diferenciado.

Na TAS, entretanto, o conceito aplicado não é uma categoria formal ou uma distinção tão fundamental quanto conceito genérico (subsunção) e conceito específico (novo conhecimento). No entanto, podemos entender que um conceito aplicado refere-se à utilização prática ou à contextualização de um conhecimento (que já foi aprendido significativamente) em situações reais, problemas ou novos contextos. É o processo em que o aprendiz consegue extrapolar o conhecimento teórico para a resolução de desafios concretos. Não é apenas saber a definição de algo, mas saber como e onde usar esse conhecimento, o que Ferreira e colaboradores elaboram como “recontextualização de conhecimentos (proposicionamento significativo)” [57].

Desse modo, para integrar de forma eficaz os aspectos educativos no jogo EletroWizard, as questões conceituais foram categorizadas, visando aprofundar a aprendizagem de conceitos. Essas categorias – Questões Genéricas, Questões Específicas e Questões Aplicadas – foram concebidas com base nos princípios da TAS e sua caracterização pode ser observada no Quadro 5.

Para ilustrar as categorias de questões definidas anteriormente (no Quadro 5) – Gerais, Específicas e

Quadro 5: Descrição das Categorias de Questões Conceituais.

Categoria	Descrição
Questões Gerais (QG)	Demandavam por parte dos grupos respondentes um domínio mais amplo e abrangente dos conteúdos trabalhados em aula. A solução dessas questões exigia a mobilização de um conjunto de saberes inter-relacionados, demonstrando uma compreensão holística dos temas. Aqui, a resposta dependia da capacidade de integrar diferentes conceitos e ideias previamente aprendidas.
Questões Específicas (QE)	Diferentemente das questões gerais, estas focavam na exigência de um domínio preciso e detalhado de um único saber ou conteúdo específico. Para resolvê-las, era necessário que o grupo demonstrasse um conhecimento aprofundado e particular sobre um ponto isolado da matéria.
Questões Aplicadas (QA)	Essas questões iam além da teoria, desafiando os grupos a utilizar os saberes adquiridos em contextos práticos e reais. Elas estavam frequentemente ligadas a áreas como Engenharia, Matemática e Arte e eram apresentadas em cenários que envolviam tecnologias e objetos tecnológicos. A resolução dessas questões evidenciava a capacidade de transferir o conhecimento teórico para a solução de problemas concretos, simulando situações do dia a dia ou de campos profissionais.

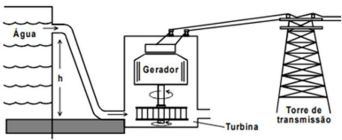
Fonte: Elaboração própria.

Aplicadas – aprofundaremos a análise, a partir de exemplos concretos extraídos do material didático utilizado no jogo. Apresentamos, a seguir, três questões que se destacam como boas representações de cada categoria, justificando a sua classificação com base nos conceitos da Física abordados. Iniciamos pela Figura 2, a seguir destacada:

Essa questão, mostrada na Figura 2, é considerada uma Questão Geral porque exigia que o aluno mobilizasse e integrasse múltiplos conceitos de transformações de energia para identificar as sequências corretas. Não se

(Enem-Inep, 1998) No processo de obtenção de eletricidade, ocorrem várias transformações de energia. Considere duas delas:

- I. cinética em elétrica
- II. potencial gravitacional em cinética



- Analizando o esquema acima, é possível identificar que elas se encontram, RESPECTIVAMENTE, entre:
- a) I – a água no nível h e a turbina, II – o gerador e a torre de distribuição.
 - b) I – a água no nível h e a turbina, II – a turbina e o gerador.
 - c) I – a turbina e o gerador, II – a turbina e o gerador.
 - d) I – a turbina e o gerador, II – a água no nível h e a turbina.
 - e) I – o gerador e a torre de distribuição, II – a água no nível h e a turbina.

Figura 2: Questão conceitual do tipo Geral. Fonte: Inep com adaptações dos autores.

trata de um único conceito isolado, mas da compreensão das diferentes formas de energia e como elas se interconvertem em um sistema hidrelétrico. A energia potencial gravitacional da água na altura h é convertida em energia cinética quando a água escoar e adquire velocidade em direção à turbina. Posteriormente, a energia cinética da água em movimento faz a turbina girar, transformando-se em energia mecânica. Por fim, o gerador converte essa energia mecânica da turbina em energia elétrica, que é transmitida pela torre de distribuição. A análise do esquema ilustrativo requer uma visão sistêmica dos processos energéticos e a aplicação dos princípios de conservação de energia, em vez de uma fórmula ou definição específica.

A natureza das QG, como a da Figura 2, alinha-se com o princípio da diferenciação progressiva na TAS [34], pois, de acordo com Ausubel [35], as ideias mais gerais e inclusivas de um conteúdo são menos diferenciadas em termos de detalhes e especificidade. Ao exigir que o aluno mobilize e integre múltiplos conceitos (como as transformações de energia em um sistema hidrelétrico: potencial gravitacional, cinética, mecânica, elétrica), as QG promovem a construção de significados por meio de uma visão sistêmica. Isso contrasta com a aprendizagem mecânica, em que conceitos são armazenados de forma isolada, sem conexões substantivas. A habilidade de identificar as sequências corretas das transformações energéticas demonstra a capacidade do estudante de relacionar novos conhecimentos com os subsunçores existentes de forma significativa, formando uma estrutura cognitiva mais organizada e hierárquica [34]. Analisemos a Figura 3, em continuidade:

A questão conceitual da Figura 3 representa a categoria Específica por demandar o domínio de um saber muito particular: a Lei de Coulomb. Ela não exige a aplicação em um contexto complexo ou a integração com outros princípios da Física, além do seu enunciado. O foco está nas características da força eletrostática de atração ou repulsão entre cargas pontuais. A resposta correta depende do conhecimento preciso de que essa força é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.

A QE, como na Figura 3, concentra um conceito específico, a Lei de Coulomb. Essa discriminação é crucial para a aprendizagem significativa na medida em que contribui para a aquisição e o aprofundamento de

- (UFRRJ - 2000) Segundo o princípio da atração e repulsão, corpos eletrizados com cargas de mesmo sinal se repelem e com sinais contrários se atraem. O módulo da força de atração ou repulsão mencionado acima é calculado através da lei de Coulomb. Sobre esta força é correto afirmar que ela é:
- a) inversamente proporcional ao produto das cargas.
 - b) proporcional ao quadrado da distância entre as cargas.
 - c) uma força de contato.
 - d) uma força de campo.
 - e) fraca, comparada com a força da gravidade.

Figura 3: Questão conceitual do tipo Específica. Fonte: UFRRJ com adaptações dos autores.

(IFSC 2012)

Como funciona a Máquina de Xerox

Quando se inicia a operação em uma máquina de Xerox, acende-se uma lâmpada, que varre todo o documento a ser copiado. A imagem é projetada por meio de espelhos e lentes sobre a superfície de um tambor fotossensível, que é um cilindro de alumínio revestido de um material fotocondutor. Os fotocondutores são materiais com propriedade isolante no escuro. Mas, quando expostos à luz, são condutores. Assim, quando a imagem refletida nos espelhos chega ao tambor, as cargas superficiais do cilindro se alteram: as áreas claras do documento eliminam as cargas elétricas que estão sobre a superfície do cilindro e as áreas escuras as preservam. Forma-se, então, uma imagem latente, que ainda precisa ser revelada. Para isso, o cilindro é revestido por uma fina tinta de pó, o tonalizador, ou toner, que adere à imagem latente formada sobre o tambor. Em seguida, toda a imagem passa para as fibras do papel, através de pressão e calor. E, assim, chega-se à cópia final.

Fonte: Revista Globo Ciência, dez. 1996, p. 18.

O texto se refere a uma aplicação do fenômeno de eletrização, pois é graças a ele que o toner adere ao cilindro metálico mencionado. O processo de eletrização pode ocorrer de três formas distintas: atrito, indução e contato, mas todos os processos têm algo em comum. É CORRETO afirmar que o comum destes processos é:

- a) Deixar o corpo eletrizado, com um desequilíbrio entre o número de cargas elétricas positivas e negativas.
- b) Deixar o corpo eletrizado, com um equilíbrio entre o número de cargas elétricas positivas e negativas.
- c) Arrancar as cargas positivas do corpo eletrizado.
- d) Deixar o corpo eletrizado com uma corrente elétrica negativa.
- e) Deixar o corpo eletrizado com um campo magnético.

Figura 4: Questão conceitual do tipo Aplicada. Fonte: IFSC com adaptações dos autores.

subsunçores. O foco em uma lei ou definição específica (como a proporcionalidade direta da força ao produto das cargas e inversa ao quadrado da distância) garante que o subsunçor relacionado à força eletrostática seja claro e bem definido, facilitando a aprendizagem de conceitos subsequentes por meio da reconciliação integradora, em que semelhanças e diferenças entre conceitos são resolvidas [20]. Seguimos com a representação das questões Aplicadas, mostradas na Figura 4.

O item retratado na Figura 4 aborda o funcionamento de uma máquina de Xerox e representa a categoria de questões Aplicada. O comando da pergunta, que é a instrução dentro de um enunciado que indica ao aluno o que ele deve fazer na tarefa proposta, não exige apenas o conhecimento sobre eletrização, mas contextualiza esse fenômeno em uma tecnologia do cotidiano, a fotocopiadora. O texto descreve detalhadamente o processo da máquina, mencionando a atuação de materiais fotocondutores que alteram as suas cargas superficiais em resposta à luz, permitindo a formação de uma imagem latente e a aderência do toner. A questão, então, pergunta sobre o princípio comum a todos os processos de eletrização (atrito, indução e contato) que permite essa aderência. Isso requer que o aluno aplique o seu conhecimento teórico sobre o desequilíbrio de cargas elétricas (positivas e negativas) para compreender e analisar um processo tecnológico real, demonstrando a transferência do saber para uma situação prática de engenharia.

Desse modo, observamos que esse tipo de questão utiliza o exemplo da máquina de Xerox como forma de recontextualização [57], promovendo a reconciliação integradora e a transferência do conhecimento para novas situações, como é o caso da aplicação tecnológica. Ao exigir que o aluno aplique o conhecimento sobre eletrização (atrito, indução e contato) para compreender o funcionamento de uma fotocopiadora, a QA força a construção de significados que vão além da mera memorização de definições.

A TAS defende que a aprendizagem é mais significativa quando o conhecimento é contextualizado e pode ser utilizado para resolver problemas autênticos. A

aplicação em cenários reais demonstra que o aluno não apenas retém a informação, mas a compreende de forma substantiva, sendo capaz de relacioná-la a fenômenos do cotidiano ou a contextos profissionais. Isso promove a internalização de instrumentos e signos [34], pois o estudante manipula conceitos abstratos em um ambiente concreto, validando a relevância e a funcionalidade do conhecimento adquirido. Além disso, a capacidade de transferir o saber teórico para a solução de problemas concretos em um contexto tecnológico real evidencia a superação da aprendizagem mecânica em favor de uma significativa.

Por fim, a categorização das QG, QE e QA, no contexto do jogo EletroWizard, é um reflexo da busca por uma aprendizagem significativa e reflete as conexões do referencial teórico adotado e os elementos avaliativos empregados no jogo. As QG promovem a diferenciação progressiva e a visão sistêmica, as QE solidificam subsunçores específicos e detalhados e as QA estimulam a reconciliação integradora e a aplicação prática do conhecimento, garantindo que o aprendizado seja substantivo, não arbitrário e duradouro, conforme preconizado pela TAS. Essa categorização serviu para a sistematização da análise conceitual realizada na seção seguinte.

4.2.2. Análise da aplicação das questões conceituais

Nesta seção, serão apresentados os resultados da aplicação do jogo EletroWizard, com foco na análise das respostas dos estudantes às questões conceituais. Em complemento a análise de mapas conceituais feita pelos autores em trabalho anterior [19], aqui apresentamos outra ferramenta avaliativa que buscou evidenciar o domínio conceitual dos estudantes, mas através de questões previamente selecionadas e categorizadas em termos de abrangência conceitual e recontextualização. Detalharemos o instrumento de observação utilizado, o desempenho geral dos participantes em termos de acertos e erros e, mais especificamente, a performance em cada uma das categorias de questões: Gerais, Específicas e Aplicadas. As discussões subsequentes buscarão estabelecer conexões entre os dados observados e os princípios da TAS, como a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora, evidenciando como o *design* das questões e a dinâmica do jogo contribuíram para a construção de significados.

No Quadro 6, podemos verificar o instrumento pelo qual foram desenvolvidas as observações durante a aplicação do jogo na sala de aula. Na primeira coluna, temos a identificação das questões de conteúdo conceitual que poderiam ser apresentadas por meio das charadas nas cartas de Herbologia, Enigma e Astronomia e por meio das questões desafio presentes nos Livros de Feitiços e Poções, contendo questões do tipo Gerais, Específicas ou Aplicadas.

Quadro 6: Dados da observação participante do jogo EletroWizard.

Identificação e Descrição das Questões	Conteúdo Conceitual de Física	Respostas		Tipos de Questões Conceituais		
		Corretas (C)	Incorretas (I)	Gerais (G)	Específicas (E)	Aplicadas (A)
Livro Feitiços (cap. 14)	Processos de transformação de energia	X				X
Astronomia (hidroelétrica)	Energia potencial gravitacional	X				X
Astronomia (newton)	Unidade de medida de força	X			X	
Enigma (energia elétrica)	Conceito de energia elétrica em circuitos elétricos	X				X
Feitiços (cap. 9)	Processos de eletrização	X		X		
Herbologia (campo elétrico)	Unidade de medida de campo elétrico		X		X	
Herbologia (para-raios)	Processos de eletrização	X				X
Poções (cap. 19)	Processo de eletrização por contato	X			X	
Feitiços (cap. 6)	Força elétrica		X	X		
Herbologia (pilhas)	Processos de transformação de energia		X			X
Enigma (condutor elétrico)	Propriedades dos condutores elétricos	X				X
Enigma (isolante elétrico)	Propriedades dos isolantes elétricos	X			X	
Herbologia (campo elétrico)	Orientação das linhas de campo elétrico		X		X	
Feitiços (cap. 15)	Conversão de tipos de energia	X				X
Astronomia (isolantes)	Materiais isolantes elétricos	X		X		
Feitiços (cap. 17)	Tipos de energia e geração de energia elétrica	X				X
Herbologia (campo elétrico)	Campo elétrico uniforme		X		X	
Poções (cap. 20)	Processos de eletrização	X		X		
Astronomia (repulsão)	Força elétrica	X		X		
Feitiços (cap. 5)	Força elétrica	X				X
Astronomia (solar)	Processos de transformação de energia em usinas solares.	X				X
Herbologia (lei de coulomb)	Lei de coulomb	X			X	
Astronomia (prótons)	Composição atômica da matéria	X			X	
Feitiços (cap. 18)	Blindagem eletrostática	X			X	
Feitiços (cap. 19)	Descargas elétricas	X		X		
Poções (cap. 16)	Processos de transformação de energia em usinas e sustentabilidade	X		X		
Poções (cap. 11)	Processo de eletrização por contato	X			X	
Feitiços (cap. 20)	Campo elétrico	X			X	
Feitiços (cap. 12)	Quantização da carga elétrica		X	X		
Poções (cap. 8)	Processo de eletrização por contato		X	X		
Poções (cap. 13)	Processos de eletrização	X		X		
Astronomia (Itaipú)	Geração de energia hidroelétrica		X			X
Poções (cap. 14)	Processo de eletrização por indução	X		X		

(Continued)

Quadro 6: Continued

Identificação e Descrição das Questões	Conteúdo Conceitual de Física	Respostas		Tipos de Questões Conceituais		
		Corretas (C)	Incorretas (I)	Gerais (G)	Específicas (E)	Aplicadas (A)
Astronomia (campo elétrico)	Linhas potenciais de campo elétrico		X	X		
Poções (cap. 7)	Força elétrica	X			X	
Feitiços (cap.13)	Processos de eletrização	X		X		
Poções (cap.2)	Série triboelétrica	X			X	
Herbologia (atrito)	Processo de eletrização por atrito	X			X	
Poções (cap.10)	Processos de transformação de energia em termelétricas		X			X
Enigma (força elétrica)	Força elétrica	X			X	
Herbologia (força elétrica)	Força elétrica		X		X	
Astronomia (carga de prova)	Campo elétrico		X		X	
Astronomia (dalton)	Modelos atômicos	X		X		
Astronomia (pudim de passa)	Modelos atômicos	X		X		
Astronomia (elétrons livres)	Modelos atômicos e condutividade		X		X	
Poções (cap.15)	Conservação da carga elétrica	X			X	
Herbologia (ar)	Propriedades dos isolantes elétricos		X	X		
Feitiços (cap. 1)	Transformação de energia em hidrelétrica		X		X	
Feitiços (cap. 2)	Escala triboelétrica		X		X	
Poções (cap.6)	Força elétrica		X	X		
Feitiços (cap. 16)	Cogeração de energia	X				X
Herbologia (pilhas e baterias)	Processos de transformação de energia	X		X		

Fonte: Elaboração própria.

A primeira coluna do Quadro 6 contém descrições e localizações das questões conceituais respondidas pelos estudantes durante o jogo EletroWizard, como: Feitiços (cap. 1), Poções (cap. 6), que se referem às questões conceituais do tipo desafios presentes nos livros disponíveis como acessórios do jogo EletroWizard (Livro Padrão de Feitiços e Livro de Poções, respectivamente), por sua vez, as palavras entre parênteses referem-se ao capítulo desses livros onde os jogadores poderiam encontrar cada questão. As descrições como: Herbologia (pilhas e baterias), Astronomia (dalton), Enigma (força elétrica) referem-se às questões conceituais presentes nas cartas de charadas disponíveis como componentes do jogo. A primeira palavra faz referência ao tipo de carta e as palavras entre parênteses referem-se às respostas correspondentes àquela charada. Essa maneira de anotar informações durante o jogo, de maneira sucinta, permitiu fluidez e possibilitou que as perguntas fossem identificadas, posteriormente, na etapa de análise dos dados, já que só havia uma carta de cada tipo com resposta correspondente.

Tabela 1: Número de acertos e de erros das questões utilizadas no jogo.

Questões	Qt.	(%)
Corretas	35	67,3%
Incorretas	17	32,7%

Fonte: Elaboração própria.

A partir do Quadro 6 e da Tabela 1, a seguir, que trata do número e percentual de acertos e erros dos estudantes em relação às perguntas de conteúdo respondidas, podemos aferir que 52 questões foram utilizadas durante a aplicação do Jogo EletroWizard entre charadas e questões do tipo desafio. Dentre as 52 questões, 35 foram respondidas de maneira correta, o que corresponde a uma taxa de 67,3% de acertos.

Em uma abordagem semelhante a mostrada na Tabela 1, Castro e Costa utilizaram a aplicação de um jogo de aprendizagem para o ensino de teoria atômica na disciplina de Ciências em uma escola de Ensino Fundamental pública no estado do Paraná. A metodologia

utilizada demonstra que o jogo foi aplicado após a explanação dos conteúdos conceituais como maneira de avaliar os indícios de aprendizagem significativa. Para observar a contribuição do instrumento, as autoras aplicaram um questionário pré-teste sobre os conteúdos abordados e, em continuidade, aplicaram o jogo de aprendizagem que continha o mesmo questionário adaptado para a situação lúdica. As autoras estabeleceram um parâmetro de comparação entre o questionário pré-teste e a aplicação do jogo, tendo observado um total médio de 38,2% de respostas corretas antes da aplicação do jogo, e de 92,8% depois da sua aplicação [58].

Assim como em Castro e Costa [58], o jogo EletroWizard também foi aplicado após um processo de aprendizagem com intuito de averiguar a solidez com que os conceitos estabeleceram-se. Contudo, é importante ressaltar que o jogo foi aplicado após um período temporal de 14 semanas, desde o contato dos estudantes com os primeiros conceitos, porém, diferentemente do trabalho das autoras, aqui não estabelecemos um parâmetro de comparação com a aplicação de um questionário somativo pré-teste, mas um questionário qualitativo conceitual prévio, feito por meio da aplicação de questionário com respostas subjetivas. Optamos por essa metodologia, porque acreditamos que a expressão conceitual estudantil é mais complexa quando eles fazem uso da linguagem [43]. Ainda assim, traremos, na próxima seção, uma análise de desenvolvimento conceitual dos estudantes, por meio de comparação entre os resultados da ATD dos conhecimentos prévios e os achados da observação participante no jogo EletroWizard.

Além disso, é importante salientar que há outras maneiras de investigar os indícios de aprendizagem significativa que não seja por comparação. Em Ferreira e colaboradores [57], por exemplo, após uma abordagem dos conteúdos de óptica geométrica apoiada por vídeos, aplicativos e jogos em uma UEPS, os autores aplicaram um questionário qualitativo em que os estudantes puderam dissertar sobre tópicos estudados e cerca de 86% responderam aos questionamentos de maneira satisfatória. Assim também ocorreu nesta investigação, pois utilizamos respostas subjetivas em um momento inicial e respostas objetivas durante o jogo EletroWizard.

Além do olhar mais amplo proporcionado no Quadro 6 e Tabela 1, a Tabela 2, a seguir, demonstra um recorte mais específico sobre as questões categorizadas em Gerais, Específicas e Aplicadas. As questões com maior êxito nas respostas correspondem às questões Aplicadas, obtendo 76,9% de acertos, aquelas que contextualizam o conteúdo estudado com situações cotidianas ou tecnologias utilizadas pelos estudantes. Já as que obtiveram menor êxito, apresentando 61,9% de acertos, foram as questões do tipo Específicas, que correspondem aquelas questões que abordam um saber muito singular dentro de determinado conteúdo, entretanto, ainda assim, houve um percentual relevante de acertos, conforme é possível ver na Tabela 2.

Tabela 2: Número de acertos e de erros por categoria de questões.

Categoria	Qt.	Corretas	%	Incorretas	%
Gerais	18	12	66,7%	6	33,3%
Específicas	21	13	61,9%	8	38,1%
Aplicadas	13	10	76,9%	3	23,1%

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados apresentados na Tabela 2 evidenciam um fator próprio dentro da TAS que é o uso da linguagem e outras simbologias como fator de percepção da realidade. Quanto mais simples são os elementos de representação, ou quanto mais familiares, envoltos de narrativas, forem essas situações, mais propícia será a negociação de significados entre as interpretações dos estudantes e o conteúdo [59]. Isso se traduz no número de acertos das questões Aplicadas, que problematizam e contextualizam os conceitos trabalhados. Se apresentam de maneiras diferentes, causando estranhamento e provocam a reconciliação integradora no processo de assimilação do conhecimento.

As questões do tipo Gerais (67% de acertos) e Aplicadas (77% de acertos) demonstram, sobretudo, os dois processos fundamentais na corroboração dos indícios de aprendizagem significativa, pois, por meio da generalização das questões do tipo Geral, observamos a ocorrência do processo de diferenciação progressiva e por meio da utilização contextual, externada nas questões do tipo Específicas, notamos o processo de reconciliação integradora [35].

4.3. Análise de desenvolvimento conceitual dos estudantes

Essa seção perfaz uma análise comparativa entre as concepções prévias dos estudantes, identificadas por meio da Análise Textual Discursiva (ATD) na seção 4.1, e o desempenho observado durante a aplicação do jogo EletroWizard na seção 4.2, oferecendo um panorama sobre a evolução conceitual da turma. Esse percurso evidencia tanto a superação de dificuldades iniciais quanto a persistência de certas lacunas, permitindo avaliar a eficácia da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa Gamificada (UEPS-G) como um todo.

4.3.1. Fragmentação e contextualização de conceitos

Um dos principais desafios identificados na análise inicial de subsunçores foi a fragmentação do conhecimento, demonstrada na dificuldade estudantil em diferenciar conceitos como fontes, formas e processos de energia, ou na confusão dos termos “eletricidade” e “energia elétrica”. Além disso, a associação de conceitos físicos a contextos inadequados, como a “conservação” no sentido ambiental em vez do físico, era predominante, revelando a ausência de subsunçores específicos para possibilitar a aprendizagem de conceitos científicos [21].

Contudo, de acordo com a literatura, conhecimentos prévios mal elaborados, em processos deficitários de ensino, são apontados como uma possível causa dessas desarticulações conceituais dos conteúdos relacionados à Física [21, 43, 55]. Essa fragmentação, conforme apontado, impede a construção de um arranjo conceitual coeso e dificulta a apreciação de conceitos e princípios fundamentais.

Uma solução viável para abordar o problema de uma aprendizagem fragmentada é o ensino e a avaliação de maneira contextualizada, seu enquadramento no cotidiano discente incentiva a investigação e a construção de significados [47]. Ao propor uma estratégia avaliativa que classificou questões conceituais, empregadas no jogo, em Genéricas, Específicas e Aplicadas, o produto educacional indica uma possibilidade para a mobilização de conceitos em diferentes níveis de generalidade e especificidade. Logo o jogo objetiva, nesse sentido, facilitar os processos de diferenciação progressiva e reconciliação integradora, pilares da TAS [60]. Ao interagir com o jogo, os estudantes foram levados a refinar os seus subsunçores, distinguindo conceitos que antes eram mal elaborados e integrando-os em uma estrutura cognitiva mais organizada.

O desempenho estudantil apresentado no jogo EletroWizard, especialmente no índice de acertos das Questões Aplicadas (77%), sugere um avanço conceitual no aspecto de compreensão contextual, no Ensino de Ciências, a utilização dos jogos educacionais pode promover esse desenvolvimento [6]. Questões contextuais, como a do funcionamento da máquina de Xerox, exigiam que os alunos aplicassem o conhecimento teórico sobre eletrização em um cenário tecnológico real, abordagem que se contrapõe às práticas pedagógicas tradicionais de ensino e avaliação, que carecem de contextualização, frequentemente, relacionadas à exposição de conteúdos como resultado final, em detrimento do processo de construção do conhecimento [31].

O sucesso, nesse tipo de questão, indica que os estudantes foram capazes de mobilizar satisfatoriamente o processo de reconciliação integradora e que a utilização de terminologias próprias de suas vivências facilita a compreensão de problemas, pois, na TAS, a forma como o conteúdo é apresentado e a linguagem utilizada são cruciais para a assimilação de novos significados [59]. Destacamos ainda que eles conseguiram superar a memorização isolada de fatos e passaram a aplicar os conceitos de forma contextualizada, demonstrando uma compreensão mais robusta e funcional do conteúdo. O resultado geral de acertos (67,3%), nas questões do jogo, reforça a ideia de que a estratégia gamificada foi eficaz na consolidação da aprendizagem.

4.3.2. Diferenciação progressiva e o desafio dos conceitos específicos

A análise de conhecimentos prévios revelou que os conceitos mais abstratos, como “carga elétrica” e,

principalmente, “quantização”, eram pouco compreendidos, com respostas vagas ou a admissão de total desconhecimento por parte significativa dos alunos. Em estudo semelhante sobre Física de partículas e Eletricidade, Calheiro e Garcia [31] revelam também a ocorrência dessa problemática, associada à má elaboração ou inexistência de conhecimentos prévios relevantes dos estudantes sobre os tópicos abordados, incluindo os relativos a este trabalho.

Neste sentido, uma proposta de ensino pautado na TAS busca promover a diferenciação progressiva, partindo de conceitos gerais para os mais específicos e detalhados [35]. Assim sendo, a estruturação das questões conceituais do jogo EletroWizard permitiu um achado importante, que é a dificuldade discente em aprender conceitos mais discriminados. O desempenho nas Questões Gerais (67% de acertos) e Aplicadas (77% de acertos) sinaliza que os alunos desenvolveram uma boa compreensão sistêmica dos fenômenos, sendo capazes de mobilizar múltiplos saberes para resolver um problema. No entanto, o menor índice de acertos nas Questões Específicas (62%) aponta para uma dificuldade persistente com os detalhes mais técnicos e as definições precisas, como as relacionadas à Lei de Coulomb.

Como apontado por Moreira e Pantoja, sob a lente teórica dos campos conceituais de Gérard Vergnaud¹¹, as descrições de interações elétricas são ações complexas, como aquelas relacionadas à Lei de Coulomb, sendo problemas a serem organizados de maneira que as operações de pensamento envolvam a descrição da interação entre os objetos dotados de carga. Sob essa interpretação teórica, um conceito não pode ser aprendido de forma isolada e envolve as Situações, que são os problemas ou as tarefas que dão significado aos conceitos; os Conceitos, que são as noções e propriedades que o sujeito deve mobilizar para solver as situações; e o conjunto de Representações, que são as formas simbólicas que são utilizadas para representar os conceitos [42].

Nessa perspectiva, a dificuldade relacionada aos conceitos tidos como Específicos pode estar relacionada, desse modo, a uma falta ou fragilidade de conceitos subsunçores necessários para a compreensão das situações problema relacionadas a essas interações elétricas e a maneira como esses conceitos foram representados no processo de ensino (por meio de gráficos, equações, figuras, etc), além do modo como esses problemas foram contextualizados em sua apresentação.

Em conclusão, essa constatação indica que a transição de um entendimento geral para um conhecimento específico e bem discriminado é um desafio contínuo. Ausubel reitera que quando há dificuldade de discriminação entre ideias prévias e novas ideias, é necessário o uso de organizadores comparativos que explicitem semelhanças

¹¹ Para Vergnaud, o conhecimento organiza-se em campos conceituais, que funcionam como sistemas em que situações (tarefas), problemas, operações de pensamento, representações e conceitos estão interconectados [42].

e diferenças [35]. Esse resultado também corrobora a ideia de que a aprendizagem significativa é um processo gradual, no qual os subsunçores são progressivamente refinados e diferenciados.

4.3.3. O jogo como ferramenta de rememoração e avaliação formativa

A aplicação do jogo EletroWizard funcionou como um instrumento para a rememoração de conceitos, como demonstrado nas seções anteriores. A dinâmica do jogo, ao apresentar os conceitos de maneiras variadas e em diferentes níveis de complexidade, estimulou os estudantes a recuperar e reorganizar o conhecimento adquirido. O êxito na maioria das questões conceituais do jogo, mesmo após um intervalo de tempo considerável, indica a estabilidade da relação entre o conceito abordado e os novos subsunçores, mais discriminados dos estudantes, após o percurso de ensino [24], fornecendo indícios de aprendizagem significativa e contrastando com a aprendizagem mecânica, que tende a ser esquecida rapidamente [35].

O jogo permitiu não apenas avaliar o produto final da aprendizagem (acertos e erros), como em outros trabalhos que utilizam os jogos na perspectiva da TAS [58], mas também observar o processo, revelando quais tipos de conceitos (gerais, específicos ou aplicados) foram melhor assimilados pela turma, alinhando-se a uma perspectiva de avaliação formativa e servindo de panorama para o professor, em uma perspectiva de melhorar o processo de ensino e aprendizagem [60]. O jogo EletroWizard assume, neste sentido, a avaliação da aprendizagem como um “processo contínuo e cumulativo”, com predominância dos aspectos qualitativos [2].

Em síntese, a comparação entre os dois momentos da análise demonstra um desenvolvimento conceitual, em que os estudantes transitaram de um conhecimento inicial fragmentado, vago e, por vezes, equivocado, para uma compreensão mais integrada, contextualizada e funcional dos conceitos de Energia e Eletrostática. O EletroWizard, inserido em uma UEPS-G, mostrou ser uma importante ferramenta para promover e avaliar a aprendizagem significativa. As dificuldades remanescentes com conceitos específicos apontam para a necessidade de reforço contínuo e para a natureza processual e não linear da construção do conhecimento científico.

5. Considerações Finais

Este estudo partiu da constatação de um desafio persistente no EF que é a dissonância entre as diretrizes oficiais, que preconizam uma avaliação formativa e diversificada, e a prática escolar predominante, marcada por uma cultura de testagem classificatória que favorece a aprendizagem mecânica. Diante dessa problemática, a pesquisa teve como objetivo central propor e avaliar o jogo de aprendizagem EletroWizard como um instrumento gamificado para a avaliação do desenvolvimento

de conceitos sobre energia e eletrostática, fundamentado na TAS. O percurso pedagógico foi estruturado por meio de uma UEPS-G.

A principal contribuição decorrente desta investigação reside na concepção do EletroWizard não apenas como um produto educacional, mas como um aporte teórico-metodológico que conecta a teoria abstrata da aprendizagem com a prática concreta da sala de aula. O jogo operacionaliza conceitos teóricos da TAS, como subsunçores, diferenciação progressiva e reconciliação integradora, em mecânicas de jogo e tipologias de questões conceituais. Dessa maneira, a inovação do EletroWizard transpassa a ludicidade, representando uma aplicação da teoria educacional que traduz a linguagem da Psicologia Cognitiva em uma estratégia pedagógica replicável e engajadora.

Este estudo também oferece um modelo prático e empiricamente validado para a implementação da avaliação formativa e qualitativa, conforme defendido pela legislação educacional brasileira, mas, frequentemente, negligenciado na prática. Ao fornecer um diagnóstico sobre diferentes níveis de compreensão conceitual e ao ressignificar o erro como uma oportunidade de aprendizagem, o jogo EletroWizard apresenta-se como uma resposta tangível à lacuna documentada entre a política educacional e a realidade do EF.

É importante ressaltar as limitações inerentes a esta investigação para contextualizar seus achados e orientar trabalhos futuros. Desse modo, por ser um estudo de natureza qualitativa, com uma amostra de 25 estudantes em um contexto específico da rede pública da Paraíba, os resultados não são passíveis de generalização estatística. A metodologia qualitativa, igualmente, posiciona o pesquisador como parte essencial da coleta e análise de dados, o que introduz uma subjetividade inerente ao processo interpretativo.

Além disso, em relação à validade do jogo EletroWizard como instrumento de avaliação formativa, acreditamos que sejam necessárias outras aplicações em mais turmas e em outros contextos formativos para definir a confiabilidade do instrumento, contudo, o jogo demonstrou ser uma ferramenta pedagogicamente coerente para a avaliação qualitativa e formativa. Sua principal vantagem reside na função de operacionalizar os pressupostos teóricos de uma teoria de aprendizagem, a TAS, oferecendo ao docente um panorama diagnóstico sobre a assimilação de conceitos em diferentes níveis (Geral, Específico e Aplicado) e de ressignificar o erro como uma oportunidade de aprendizagem. Todavia, para a prática docente, é preciso considerar, como limitações, o investimento de tempo para aplicação e análise, em contraste com testes convencionais, bem como a exigência de uma preparação docente aprofundada para mediar a complexa interação entre a mecânica do jogo e seus objetivos pedagógicos.

Essas limitações, entretanto, abrem caminhos para futuras pesquisas como a realização de estudos quantitativos ou de métodos mistos com amostras maiores

e mais diversas para avaliar a significância estatística do impacto do jogo; a condução de estudos comparativos controlados, confrontando a abordagem UEPS-G/EletroWizard com outras metodologias (ativas ou tradicionais) para isolar os efeitos da intervenção; e a investigação da adequação e a adequação do *framework* do EletroWizard para outros tópicos da Física e outras área do conhecimento.

Disponibilidade de Dados

O conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo não está disponível publicamente.

Referências

- [1] C.R.S. Dantas e N.T. Massoni, *Investig. Em Ensino Ciênc.* **24**, 31 (2019).
- [2] C.R.S. Dantas, N.T. Massoni e F.M.T. dos Santos, *Ens. Aval. E Políticas Públicas Em Educ.* **25**, 440 (2017).
- [3] D.P. Pastorio, B.S. Ribeiro, L.A.V.D. de Souza, L.T. Pigosso e T.A. Fragoso, *Rev. Bras. Ensino Física* **42**, e20200296 (2020).
- [4] P.H.S. Silva, *O RPG (Role-Playing Game) Como Uma Ferramenta Para o Ensino de Física*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (2016).
- [5] C.W. da Rosa e Á.B. da Rosa, *Rev. Iberoam. Educ.* **58**, 1 (2012).
- [6] L. Pavnoski, T.R. Hilger, N.T. Agranionih e S.Z.C. Beber, *Ensino Ciênc. E Tecnol. Em Rev. – ENCITEC* **13**, 183 (2023).
- [7] C.O. Sousa, A.M. Silvano e I.P. de Lima, *Rev. Espac.* **39**, (2018).
- [8] S. Boller e K. Kapp, *Jogar Para Aprender: Tudo o Que Você Precisa Saber Sobre o Design de Jogos de Aprendizagem Eficazes* (DVS Editora, São Paulo, 2018).
- [9] C.C.N. Menezes e R. De Bortoli, *Comun. Soc.* **40**, (2018).
- [10] F.S. Oliveira, *Gamificação como estratégia de ensino: Contribuições de uma UEPS-G e do jogo de aprendizagem Eletrowizard na promoção da aprendizagem e atitudes potencialmente significativas relativamente aos conceitos de energia e eletrostática no Ensino Médio*. Dissertação de Mestrado, Universidade Regional do Cariri, Crato (2023).
- [11] F. Alves, *Gamification: Como Criar Experiências de Aprendizagem Engajadoras* (DVS Editora, São Paulo, 2015), 1 ed.
- [12] T.R. Fortuna e A.D. da S. Bittencourt, *Rev. Psicopedag.* **20**, 234 (2003).
- [13] R.P. Feynman, *Os Melhores Textos de Richard P. Feynman* (Editora Blucher, São Paulo, 2015).
- [14] K.M. Kapp, L. Blair e R. Mesch, *The Gamification of Learning and Instruction. Ideas into Practice* (Wiley, San Francisco, 2014).
- [15] J. Huizinga, *Homo Ludens: Vom Ursprung Der Kultur Im Spiel* (Perspectiva, São Paulo, 2000).
- [16] J.B. da Silva, G.L. Sales e J.B. de Castro, *Rev. Bras. Ensino Física* **41**, e20180309 (2019).
- [17] F.V.S. Diniz e C.A. dos Santos, *Rev. Bras. Ensino Física* **41**, e20180268 (2019).
- [18] G.B. de Farias, *Perspect. Em Ciênc. Informação* **27**, 58 (2022).
- [19] F.S. de Oliveira, F.A.C. Santos, R.F. Rodrigues e D.P. Pastorio, *Rev. Bras. Ensino Física* **47**, e20250096 (2025).
- [20] M.A. Moreira, *Aprendizagem Significativa: A Teoria e Textos Complementares* (LF Editorial, São Paulo, 2011).
- [21] J.B. da Silva, *Res. Soc. Dev.* **9**, e09932803 (2020).
- [22] J. Valadares, *Aprendiz. Significativa Em Rev.* **1**, 36 (2011).
- [23] S.L. de Azevedo Neta e D.L. de Castro, *Rev. Ciênc. Ideias* **8**, 195 (2017).
- [24] F.E.S. Silva-Pires, V.S. Trajano e T.C. de Araujo-Jorge, *Rev. Educ. Em Quest.* **58**, e-21088 (2020).
- [25] M.L. Fardo, *Renote* **11**, 1 (2013).
- [26] A.C.B. Maia, *Questionário e Entrevista Na Pesquisa Qualitativa Elaboração, Aplicação e Análise de Conteúdo* (Pedro & João Editores, São Carlos, 2020).
- [27] G.D. Koppenhaver, *Decis. Sci. J. Innov. Educ.* **4**, 29 (2006).
- [28] C.A.T. Cicuto e B.B. Torres, *Quím. Nova* **43**, 239 (2020).
- [29] M.A. Moreira, *Aprendiz. Significativa Em Rev. Learn. Rev.* **1**, 43 (2011).
- [30] K. Werbach e D. Hunter, *O kit de ferramentas de gamificação: dinâmica, mecânica e componentes para a vitória* (Wharton Digital Press, Filadélfia, 2015).
- [31] L.B. Calheiro e I.K. Garcia, *Investig. Em Ensino Ciênc.* **19**, 177 (2014).
- [32] C.B. Spohr, I.K. Garcia e M.C.P. Santarosa, *Investig. Em Ensino Ciênc.* **22**, 162 (2017).
- [33] T. Fullerton, *Game Design Workshop: A Playcentric Approach to Creating Innovative Games* (AK Peters/CRC Press, Massachusetts, 2024).
- [34] M.A. Moreira, *Aprendiz. Significativa Em Rev. Learn. Rev.* **1**, 25 (2011).
- [35] D.P. Ausubel, *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva* (Plátano-Edições Técnicas, Lisboa, 2003).
- [36] M.M. Lucchese, M.B.C. de Oliveira e D.P.S. de Freitas, *Cad. Bras. Ensino Física* **40**, 502 (2023).
- [37] S.L. Sperhake e M.M. Bernardes, em: *O processo de ludificação: como transformar métodos de design em jogo de tabuleiro?* (Marcavizual, Porto Alegre, 2017).
- [38] C.C. Prodanov e E.C. De Freitas, *Metodologia Do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas Da Pesquisa e Do Trabalho Acadêmico-2ª Edição* (Editora Feevale, Novo Hamburgo, 2013).
- [39] M. Lüdke e M. André, *Pesquisa Em Educação: Abordagens Qualitativas* (EPU, São Paulo, 2013), 2 ed.
- [40] R. Moraes e M. do C. Galiazzi, *Análise Textual Discursiva* (Editora Unijuí, Ijuí, 2016), 3 ed.
- [41] A.R. Da Silva e V.S. Marcelino, em: *Procedimentos de Análise Textual Discursiva: considerações iniciais* (Encontrografia, Rio de Janeiro, 2022).
- [42] G.C. Pantoja e M.A. Moreira, *Lat. Am. J. Phys. Educ.* **13**, 4 (2019).

- [43] G.C. Pantoja e M.A. Moreira, Rev. Bras. Ensino Física **42**, e20200288 (2020).
- [44] R.P. Feynman, *Física Em 12 Lições: Fáceis e Não Tão Fáceis* (Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 2025).
- [45] L.C. Gomes, Cad. Bras. Ensino Física **32**, 407 (2015).
- [46] S.C. de Lima e E.K. Takahashi, Rev. Bras. Ensino Física **35**, 3501 (2013).
- [47] J.R.D.S. Filho, *Descargas elétricas atmosféricas: uma proposta pedagógica para o ensino de eletrostática*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Norte do Tocantins, Araguaína (2024).
- [48] A. Fonseca e G.M. Penello, Rev. Bras. Ensino Física **44**, e20210383 (2022).
- [49] W.T. Jardim e A. Guerra, Rev. Bras. Ensino Física **40**, e3603 (2018).
- [50] B.E.M. Zanon, *O Conceito de Energia Elétrica: Uma UEPS Desenvolvida No Contexto Das Metodologias STEAM*. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Maringá, Maringá (2020).
- [51] D. Halliday, R. Resnick e J. Walker, *Fundamentos de Física-Vol. 3-Eletromagnetismo* (LTC, Rio de Janeiro, 2016), 10 ed.
- [52] C.C. Borges, A.G. Dickman e L. Vertchenko, Rev. Bras. Ensino Física **40**, e2504 (2017).
- [53] J. Silva, G.L. Sales e J.B. de Castro, An. Workshop Congr. Bras. Informática Na Educ. **7**, 74 (2018).
- [54] O.G. de Aguiar Junior e J.A.F. Saraiva, Cad. Bras. Ensino Física **19**, 314 (2002).
- [55] Z.E.M. Burbano, J. Solbes e G.M. Avenía, Cad. Bras. Ensino Física **40**, 553 (2023).
- [56] M. Ferreira, O.L. Silva Filho, M.C. Batista, A. Abrão Filho, A. Strapasson e A.E. de Santana, Rev. Bras. Ensino Física **45**, e20230254 (2023).
- [57] M. Ferreira, O.L. Silva Filho, M.A. Moreira, G.B. Franz, K.O. Portugal e D.X.P. Nogueira, Rev. Bras. Ensino Física **42**, e20200057 (2020).
- [58] B.J. de Castro e P.C.F. Costa, Rev. Electrónica Investig. En Educ. En Cienc. **6**, 25 (2011).
- [59] T.M. da Costa e M.F. da Silva Verdeaux, Experiências Em Ensino Ciênc. **11**, 60 (2016).
- [60] V.M. Fraga, M.C. do Amaral Moreira e M.V. Pereira, Cad. Bras. Ensino Física **38**, 174 (2021).