

INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS NO ENSINO DE ELETRODINÂMICA: UMA ABORDAGEM BASEADA EM UEPS COM ARDUINO E TINKERCAD

Integration of digital technologies in electrodynamics teaching: a PMTU-based approach with Arduino and Tinkercad.

Vinícius da Silva Neres [vinicius.neres@prof.ce.gov.br]

Instituto Federal do Piauí (IFPI), Campus Picos

Av. Pedro Marques de Medeiros, s/n. Bairro Pantanal, 64605-500, Picos, PI, Brasil

Alexandro das Chagas de Sousa Nascimento [alexandro@ifpi.edu.br]

Instituto Federal do Piauí (IFPI), Campus Parnaíba

Av. Monsenhor Antonio Sampaio, s/n. Bairro Dirceu Arcoverde, 64211-145, Parnaíba, PI, Brasil

Francisco Ronan Viana Araújo [ronan.viana@ifpi.edu.br]

Instituto Federal do Piauí (IFPI), Campus Piripiri

Av. Rio dos Matos, s/n. Bairro Germano, 64211-145, Piripiri, PI, Brasil

Recebido: 07/01/2026

Aceito: 06/05/2026

Resumo

As transformações tecnológicas na era da informação demandam que o ensino de Física incorpore estratégias inovadoras baseadas em Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs). No contexto da educação básica, a aprendizagem mecânica ainda predomina, dificultando a construção de conceitos mais profundos. Esta pesquisa busca superar tais desafios no ensino de Eletrodinâmica por meio de uma sequência didática fundamentada nas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS). A abordagem envolve a modelagem e construção de circuitos elétricos utilizando a plataforma Arduino, incluindo componentes como resistores e capacitores, com foco na análise do circuito RC. Como forma de complementar a aprendizagem, serão utilizados circuitos digitais desenvolvidos na plataforma Tinkercad e circuitos reais montados com Arduino. A metodologia adotada combina análises quantitativas e qualitativas, empregando instrumentos como questionários, registros de atividades e observações diretas para identificar indícios de aprendizagem significativa nos estudantes. Os resultados indicaram avanços consistentes na compreensão conceitual e procedimental dos estudantes acerca dos fenômenos elétricos. Embora o estudo reconheça algumas limitações práticas — como o tempo estendido de implementação e a necessidade de as escolas possuírem infraestrutura tecnológica adequada —, a pesquisa abre caminho para que a experimentação digital e as metodologias ativas sejam, no futuro, expandidas para outros tópicos de Física.

Palavras-chave: Ensino de Física; Tecnologias Digitais; Aprendizagem Significativa; Eletrodinâmica; Arduino.

Abstract

Technological transformations in the information age require Physics education to incorporate innovative strategies based on Digital Information and Communication Technologies (DICT). In the context of basic education, rote learning still predominates, hindering the construction of deeper conceptual understanding. This research aims to overcome these challenges in the teaching of

Electrodynamics through a didactic sequence grounded in Potentially Meaningful Teaching Units (PMTU). The approach involves the modeling and construction of electrical circuits using the Arduino platform, including components such as resistors and capacitors, with a focus on the analysis of RC circuits. To complement learning, digital circuits developed on the Tinkercad platform and real circuits assembled with Arduino are employed. The adopted methodology combines quantitative and qualitative analyses, using instruments such as questionnaires, activity records, and direct observations to identify evidence of meaningful learning among students. The results indicated consistent advances in the students' conceptual and procedural understanding of electrical phenomena. Although the study recognizes some practical limitations — such as the extended implementation time and the need for adequate technological infrastructure in schools —, the research paves the way for digital experimentation and active methodologies to be expanded to other Physics topics in the future.

Keywords: Physics Teaching; Digital Technologies; Meaningful Learning; Electrodynamics; Arduino.

1. INTRODUÇÃO

As transformações tecnológicas características da chamada era da informação têm impactado profundamente os processos educacionais, impondo novos desafios ao trabalho docente na educação básica. O professor de Física, em particular, atua diante de uma geração de estudantes frequentemente caracterizada como nativa digital, inserida em um contexto marcado pela ampla disponibilidade de informações e pelo uso constante de recursos tecnológicos (Prensky, 2001; McCrindle, 2009). Nesse cenário, torna-se imprescindível que as práticas pedagógicas dialoguem com essas novas formas de interação com o conhecimento, superando abordagens centradas na memorização e favorecendo aprendizagens mais significativas.

No ensino de Física, tais desafios se intensificam devido ao elevado grau de abstração de muitos conceitos e à dificuldade de visualização de fenômenos microscópicos ou invisíveis, como aqueles relacionados à Eletrodinâmica. Conteúdos envolvendo corrente elétrica, resistência, carga e diferença de potencial costumam ser abordados de forma excessivamente matemática, o que contribui para a predominância da aprendizagem mecânica e para a fragmentação do conhecimento. Diante disso, faz-se necessário o uso de estratégias didáticas que integrem teoria e prática, permitindo aos estudantes explorar, investigar e modelar fenômenos físicos de maneira ativa e contextualizada.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) reforça essa necessidade ao destacar a importância da incorporação das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDICs) no ensino de Ciências da Natureza, tanto na análise de fenômenos quanto na comunicação científica, estimulando uma aprendizagem investigativa, crítica e significativa (Brasil, 2018). Nesse contexto, o uso de simuladores computacionais e plataformas de prototipagem eletrônica, como o Arduino, apresenta-se como uma alternativa promissora, ao possibilitar a construção e a análise de circuitos elétricos reais e virtuais, ampliando as possibilidades de experimentação em ambientes escolares.

Do ponto de vista teórico, esta pesquisa fundamenta-se na Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por David Ausubel, segundo a qual a aprendizagem ocorre de forma mais efetiva quando novos conhecimentos se relacionam, de maneira não arbitrária e substantiva, às estruturas cognitivas previamente existentes nos estudantes. A operacionalização dessa teoria no contexto do ensino de Física encontra respaldo nas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), sistematizadas por Moreira (2011), que organizam o processo de ensino em etapas articuladas, contemplando o levantamento de conhecimentos prévios, a problematização, a mediação docente, a resolução de problemas e a integração entre teoria e prática.

Quando associadas às TDICs, as UEPS potencializam a construção de experiências didáticas que favorecem a visualização de processos físicos, a manipulação de variáveis e a análise de dados experimentais, aspectos fundamentais para o aprendizado de tópicos de Eletrodinâmica. Estudos apontam que a combinação de simulações digitais com atividades experimentais reais contribui significativamente para a superação de dificuldades conceituais recorrentes nesse conteúdo, especialmente no que se refere à compreensão do comportamento dinâmico dos circuitos elétricos (Miquelin, 2009).

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo elaborar e aplicar uma sequência didática fundamentada nas Unidades de Ensino Potencialmente Significativas, com foco no estudo de circuitos elétricos do tipo resistivo-capacitivo (*RC*), visando à construção de um produto educacional que promova a aprendizagem significativa de tópicos de Eletrodinâmica. A proposta envolve a modelagem e a construção de circuitos de corrente contínua utilizando a plataforma Arduino, aliada ao uso de simuladores virtuais e outras TDICs, por meio da resolução de problemas e da análise qualitativa e quantitativa de grandezas físicas como corrente, carga e tensão. Espera-se, com isso, contribuir para o desenvolvimento de práticas pedagógicas mais integradas, investigativas e alinhadas às demandas contemporâneas do ensino de Física na educação básica.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta o embasamento teórico e metodológico que sustenta a presente pesquisa, estruturando-se em cinco eixos sequenciais. Inicialmente, abordam-se os fundamentos da Aprendizagem Significativa e a importância da estrutura cognitiva, com destaque para os conhecimentos prévios (subsúcores), na assimilação de novos saberes. Em seguida, estabelece-se o contraponto conceitual entre essa abordagem e a aprendizagem mecânica, evidenciando a necessidade de superar o ensino pautado na memorização. Como forma de operacionalizar essa transição no ambiente escolar, a seção apresenta a estruturação das UEPS articuladas ao uso pedagógico das TDICs no ensino de Física. Por fim, a fundamentação converge para o objeto específico da intervenção prática, detalhando os conceitos estruturantes de circuitos elétricos e circuitos *RC* no contexto da Eletrodinâmica.

2.1. Aprendizagem significativa e estrutura cognitiva

As teorias contemporâneas da aprendizagem reconhecem que o processo de aprender envolve múltiplas dimensões do desenvolvimento humano, tradicionalmente classificadas como aprendizagem cognitiva, afetiva e psicomotora. Embora sejam conceitualmente distintas, tais dimensões não se manifestam de forma isolada, uma vez que experiências cognitivas frequentemente estão associadas a aspectos afetivos e, em determinados contextos, a respostas psicomotoras. No contexto da educação formal, em especial no ensino de Ciências, a dimensão cognitiva ganha destaque, uma vez que é a base para a construção, a organização e a aplicação do conhecimento. Esse processo cognitivo resulta na formação do que chamamos de "estrutura cognitiva", que é o armazenamento organizado de informações na mente do estudante. Conforme define Moreira (2023), trata-se de um sistema hierárquico constituído pelas experiências intelectuais e sensoriais prévias do aprendiz. É exatamente nessa rede bem estruturada que as novas informações se ancoram, reconfigurando e expandindo os significados que já existiam.

Fundamentada no cognitivismo, a Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel coloca essa estrutura cognitiva no centro do processo educativo. Para Ausubel (2003), a aprendizagem real e profunda ocorre quando os novos saberes se conectam, de maneira não arbitrária e não literal, àquilo que o estudante já sabe. Portanto, o conhecimento prévio do aluno é o fator mais determinante para o sucesso da nova aprendizagem. Essas ideias preexistentes, chamadas de subsúcores, atuam como verdadeiras âncoras: quando estão claras e estáveis, facilitam a assimilação de novos conteúdos e, simultaneamente, tornam-se mais complexas e integradas (Moreira, 2023).

No ensino de Física, a atuação dos subsunçores pode ser observada em diversas situações didáticas. Por exemplo, ao estudar o conceito de corrente elétrica, o estudante pode recorrer a ideias previamente construídas sobre “fluxo” - como o escoamento de água ou a transferência de calor descrita pela lei de Fourier. Esses conceitos compartilham a noção de uma grandeza que se desloca ao longo do tempo, servindo como base para a compreensão da corrente elétrica como o fluxo de carga elétrica por unidade de tempo. Dessa forma, o novo conceito não é aprendido de maneira isolada, mas sim incorporado a um esquema conceitual mais amplo, garantindo uma aprendizagem verdadeiramente significativa.

2.2. Aprendizagem significativa vs. aprendizagem mecânica

Em oposição à aprendizagem significativa, Ausubel define a aprendizagem mecânica como o processo no qual novas informações são incorporadas à estrutura cognitiva de maneira arbitrária e literal. Nesse paradigma, de caráter predominantemente memorístico, não se estabelecem relações substantivas com os conhecimentos prévios do aprendiz. Esse tipo de aprendizagem é frequentemente observado em contextos educacionais que priorizam a reprodução acrítica de fórmulas e definições, resultando em uma retenção efêmera do conhecimento, que tende a ser esquecido logo após a aplicação de avaliações formais.

Conforme aponta Moreira (2010), a aprendizagem mecânica - muitas vezes associada popularmente à mera “decoreba” - continua a ser fortemente estimulada por práticas pedagógicas tradicionais, especialmente em disciplinas como a Física, nas quais o formalismo matemático costuma se sobrepor à compreensão conceitual. Tal abordagem contribui para dificuldades persistentes na aprendizagem e para a percepção da Física como um conhecimento abstrato e distante da realidade dos estudantes.

Para superar essa barreira e promover a transição para a aprendizagem significativa, Ausubel estabelece duas condições indissociáveis: o material de ensino deve ser potencialmente significativo e o estudante deve apresentar uma predisposição para aprender. A primeira condição refere-se à organização lógica do conteúdo, de modo que ele possa ser relacionado, de forma não arbitrária, a conceitos relevantes da estrutura cognitiva do aprendiz. A segunda condição demanda o engajamento intencional do aprendiz em estabelecer essas relações, perpassando dimensões motivacionais e afetivas que são indispensáveis ao processo de aprendizagem.

Nesse sentido, materiais didáticos - abrangendo textos, roteiros experimentais, simulações computacionais, aplicativos e outras TDICs - podem desempenhar papel relevante, assumem uma função mediadora crucial, desde que estruturados com coerência e alinhados à matriz cognitiva prévia dos discentes. Contudo, é imperativo ressaltar que a mera inserção de aparatos tecnológicos no ambiente escolar, desprovida de uma intencionalidade pedagógica rigorosa, é insuficiente para assegurar a efetivação da aprendizagem significativa.

2.3. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)

Sistematizadas por Moreira (2011), as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) configuram-se como sequências didáticas estruturadas com o propósito explícito de operacionalizar os pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa no cotidiano escolar. Seu objetivo central é organizar a instrução de modo a promover dinâmicas cognitivas essenciais, notadamente a diferenciação progressiva, na qual os conceitos mais gerais e inclusivos são apresentados inicialmente e detalhados aos poucos, e a reconciliação integradora, que visa estabelecer inter-relações entre as ideias e mitigar possíveis dissonâncias conceituais, afastando o ensino de abordagens estritamente mecânicas.

Do ponto de vista metodológico, a concepção de uma UEPS exige o cumprimento de etapas rigorosas e articuladas. O percurso inicia-se com a delimitação do tópico de estudo e, crucialmente,

com o levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes, utilizando-se instrumentos diagnósticos como mapas conceituais, questionários diagnósticos ou situações-problema iniciais. A partir desse diagnóstico, são propostas atividades introdutórias que buscam despertar o interesse e provocar conflitos cognitivos, incentivando os alunos a mobilizarem seus subsunçores. Ao longo da sequência, os conteúdos são apresentados de forma gradual, partindo de conceitos mais gerais para níveis crescentes de complexidade. As etapas incluem momentos de discussão em grupo, resolução de problemas, atividades experimentais e avaliações formativas e somativas, permitindo ao professor acompanhar o desenvolvimento da aprendizagem e realizar ajustes na proposta didática. Ao final, a análise da UEPS possibilita refletir sobre sua efetividade enquanto estratégia promotora de aprendizagem significativa.

No âmbito específico do ensino de Física, em particular na Eletrodinâmica, a adoção das UEPS revela-se uma escolha metodologicamente adequada, pois permite integrar a exploração de conceitos teóricos, o rigor da modelagem matemática e a vivência da experimentação prática. Como resultado, favorece-se a construção de uma rede de significados muito mais robusta, profunda e consistente acerca da natureza e do funcionamento dos circuitos elétricos.

2.4. Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação no Ensino de Física

O contínuo avanço das TDICs tem provocado transformações significativas nos modos de interação, comunicação e produção do conhecimento na sociedade contemporânea. Diante desse cenário estrutural, a escola assume o desafio de incorporar essas tecnologias de forma crítica e intencional. Essa incorporação deve transcender a mera facilitação da transmissão de conteúdos, almejando, primordialmente, a formação de sujeitos autônomos, reflexivos e socialmente responsáveis

Segundo Vani Kenski (2003), os processos educativos mediados pelas tecnologias digitais devem ultrapassar a lógica transmissiva tradicional, direcionando-se para a construção de novas formas de participação e cidadania. No âmbito de ensino de Ciências, em especial da Física, a adoção das TDICs expande significativamente o horizonte investigativo e experimental, alçando o estudante à condição de agente ativo frente ao próprio aprendizado. A literatura especializada corrobora essa perspectiva: investigações na área de Ensino de Física demonstram que a inserção de simuladores digitais, softwares educacionais e plataformas interativas atua como um catalisador na superação de obstáculos conceituais recorrentes. Conforme aponta Miquelin (2009), essas ferramentas são particularmente eficazes na mitigação das dificuldades associadas à visualização de fenômenos de alto grau de abstração e à interpretação analítica de grandezas físicas. Em contrapartida, a manutenção de abordagens estritamente tradicionais tende a fomentar a resistência discente, consolidando estigmas que reforçam uma percepção negativa da disciplina (Santos, 2006).

Não obstante o arcabouço teórico favorável e a proliferação de produtos educacionais inovadores, a transposição dessas metodologias para o cotidiano escolar ainda esbarra em obstáculos sistêmicos. Moreira (2018) adverte que a aplicação efetiva dessas inovações nas salas de aula é frequentemente limitada por restrições institucionais, pela escassez de infraestrutura tecnológica adequada e por lacunas estruturais na formação docente. Contudo, a inserção pedagógica estrategicamente planejada desses recursos - englobando simuladores, linguagens de programação e plataformas de prototipagem eletrônica, a exemplo do Arduino - desponta como um caminho altamente promissor. Essa articulação tecnológica possui o rigor e a dinamicidade necessários para reconfigurar o ensino de Física, tornando-o intrinsecamente mais investigativo, contextualizado e intimamente alinhado aos pressupostos da aprendizagem significativa.

2.5. Circuitos elétricos e circuitos RC no ensino de Eletrodinâmica

Os circuitos elétricos estão amplamente presentes na sociedade contemporânea, constituindo a base de funcionamento de sistemas tecnológicos que vão desde a distribuição de energia elétrica em larga escala até dispositivos eletrônicos do cotidiano, como computadores, smartphones, veículos automotivos, equipamentos médicos e sistemas de comunicação (Halliday, 2013). Essa presença massiva confere aos circuitos elétricos um papel central no ensino de Física, especialmente no estudo da Eletrodinâmica, por possibilitar a articulação entre conceitos abstratos e aplicações concretas amplamente reconhecidas pelos estudantes.

Do ponto de vista conceitual, um circuito elétrico pode ser definido como um conjunto de elementos interligados que formam um caminho fechado, permitindo o fluxo de cargas elétricas. Para que a corrente elétrica se estabeleça de maneira contínua, é necessário que o circuito esteja completo, sem interrupções, condição geralmente controlada por dispositivos como chaves elétricas. Em contextos reais, os circuitos frequentemente apresentam múltiplos componentes, cada um desempenhando funções específicas, como a conversão, o armazenamento ou o controle da energia elétrica (Hewitt, 2015).

No ensino de circuitos elétricos de corrente contínua, alguns conceitos assumem caráter estruturante, entre eles a corrente elétrica (i), a diferença de potencial (V) e a resistência elétrica (R). A relação entre essas grandezas é expressa por

$$V = R \cdot i, \quad (1)$$

segundo a qual a corrente elétrica que atravessa um elemento resistivo é diretamente proporcional à tensão aplicada e a constante de proporcionalidade é a resistência R . Essa relação constitui um dos fundamentos para compreender o comportamento das cargas elétricas nos condutores e para a análise de circuitos simples e compostos e é usualmente chamada de lei de Ohm, sendo amplamente explorada tanto em abordagens teóricas quanto experimentais. Importante destacar que essa relação é na verdade uma definição de resistência elétrica, mesmo quanto R varia com i – elementos não-ôhmicos (Halliday, 2017).

Outro aspecto fundamental no estudo da Eletrodinâmica refere-se às associações de resistores em série e em paralelo. Essas configurações permitem introduzir noções essenciais, como a conservação da corrente elétrica nos circuitos em série e a manutenção da diferença de potencial nos circuitos em paralelo, além do conceito de resistência equivalente. Do ponto de vista didático, o estudo dessas associações contribui para o desenvolvimento do raciocínio sistêmico dos estudantes, ao evidenciar como a alteração de um elemento impacta o comportamento global do circuito.

A expressão geral para obter a resistência equivalente, R_S , de um arranjo de n resistores em série é dada por

$$R_S = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i. \quad (2)$$

Para obter a resistência equivalente, R_P , de um arranjo de n resistores em paralelo, temos

$$\frac{1}{R_P} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad (3)$$

A introdução dos capacitores amplia significativamente as possibilidades conceituais e experimentais no estudo dos circuitos elétricos. Diferentemente dos resistores, os capacitores são dispositivos capazes de armazenar energia elétrica sob a forma de campo eletrostático, o que permite avançar para a análise de fenômenos dinâmicos associados à variação temporal das grandezas elétricas (Halliday, 2013). Nesse contexto, os circuitos do tipo resistivo-capacitivo (RC) destacam-se

por possibilitar o estudo de processos transitórios, como a carga e a descarga do capacitor, fenômenos descritos por funções exponenciais e frequentemente não abordados na educação básica.

Consideremos um capacitor, de capacitância C , inicialmente descarregado e conectado a um resistor de resistência R . Uma chave comutadora S pode conectar esses componentes a uma bateria com diferença de potencial (d.d.p.) V quando esta é colocada no ponto a (ver Fig. 1). Nessa configuração, o circuito RC série é formado e podemos iniciar o processo de carga do capacitor. Por outro lado, quando a chave S é colocada na posição b , eliminamos a bateria. Se nessa configuração o capacitor estiver inicialmente carregado, inicia-se o processo de descarga do mesmo através da resistência R .

Durante o carregamento ou descarregamento de um capacitor, a resposta do circuito não é imediata, mas sim ditada pela primeira lei de Kirchhoff para as malhas.

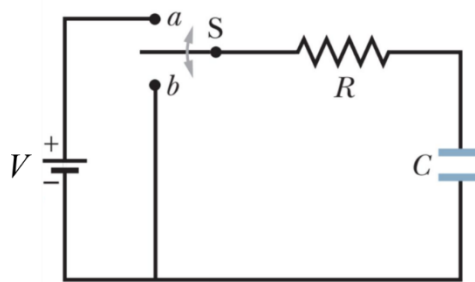


Figura 1 – Circuito RC em série com uma chave S que possibilita conectar uma fonte (ponto a) e desconectar a mesma (ponto b) ao circuito. Fonte: adaptada de Halliday (2013).

Considerando primeiramente a chave na posição a , a lei de Kirchhoff nos fornece

$$V - R \cdot i(t) - \frac{q(t)}{C} = 0 \quad (4)$$

onde $i(t)$ é a corrente no instante t e $q(t)$ a carga armazenada no capacitor nesse instante de tempo. No entanto, a corrente $i(t)$ está relacionada com a carga da seguinte forma

$$i(t) = \frac{dq}{dt}. \quad (5)$$

Derivando a equação (4) com respeito a t e usando a equação (5), obtemos

$$R \frac{di}{dt} + \frac{i(t)}{C} = 0 \Rightarrow \frac{di}{i(t)} = -\frac{dt}{\tau_c}, \quad (6)$$

onde $\tau_c \equiv RC$ é definido como a constante de tempo capacitiva. Esse é o tempo em que grandezas como a carga elétrica, a corrente ou a diferença de potencial atinjam aproximadamente 63% de seus valores finais (Halliday, 2013; Nussenzveig, 2015).

Integrando a equação (6) entre $t = 0$ (quando $i(0) = V/R$) a t , obtemos

$$i(t) = \frac{V}{R} \exp\left(-\frac{t}{\tau_c}\right). \quad (7)$$

Vemos que a corrente de carga do capacitor decai exponencialmente com o tempo. Para $t \gg \tau_c$ a corrente $i(t)$ é ≈ 0 e o capacitor atinge a carga $q = CV$. Portanto, toda a diferença de potencial V_C aparece entre os terminais do capacitor, que, nessa condição, está totalmente carregado. A partir

das equações (5) e (7), e considerando $q = CV$, é possível determinar V_C em qualquer instante, ou seja,

$$V_C = V(1 - e^{-t/\tau_c}). \quad (8)$$

Se a chave S, na Fig. 1, for deslocada do ponto *a* para o ponto *b*, inicia-se o processo de descarga do capacitor. A variação de corrente também pode ser obtida a partir da equação (4), exceto pelo fato de que agora teremos $V = 0$ (sem fonte). Esse processo leva à seguinte equação para V_C

$$V_C = V e^{-t/\tau_c}. \quad (9)$$

Aqui claramente podemos ver que para $t \gg \tau_c$, V_C vai a zero (capacitor completamente descarregado). A representação gráfica da carga [equação (8)] e descarga [equação (9)] estão ilustradas nas Figs. 2(a) e 2(b), respectivamente.

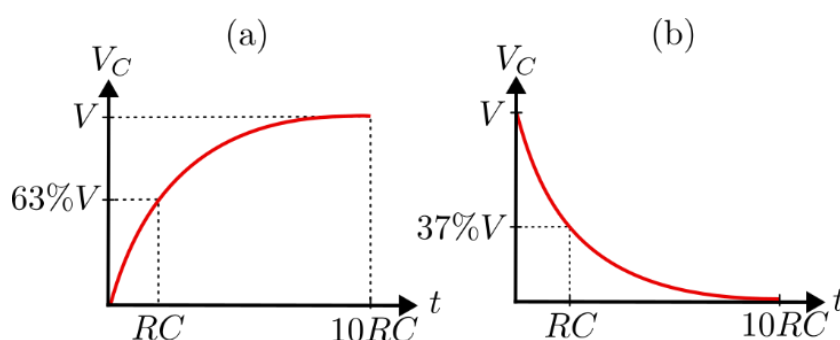


Figura 2 – Processo de (a) carga e (b) descarga de um capacitor em um circuito RC em série. Fonte: adaptado de Halliday (2013).

Do ponto de vista pedagógico, a análise desse comportamento e a visualização dos processos de carga e descarga constituem um desafio recorrente no Ensino Médio. Muitas vezes, esses tópicos não são aprofundados ou sequer são vistos nesse nível de ensino por necessitarem de uma formulação matemática avançada. A abordagem tradicional, quando ocorre, é frequentemente centrada na manipulação algébrica de equações diferenciais e exponenciais – que é mais comum a nível superior, o que tende a reforçar dificuldades conceituais e práticas de aprendizagem puramente memorística.

Nesse cenário, o uso de TDICs, como simuladores computacionais e plataformas de prototipagem eletrônica, apresenta-se como uma estratégia pedagógica extremamente relevante. Ferramentas como o Tinkercad e a plataforma Arduino permitem a construção de circuitos virtuais e reais, a manipulação de parâmetros físicos, a realização de medições em tempo real e a geração de gráficos de tensão e corrente. Ao viabilizarem a coleta automática de dados e a representação visual imediata dos processos transitórios, essas tecnologias favorecem a articulação direta entre teoria, experimentação e análise de dados, permitindo que a Eletrodinâmica seja tratada de forma investigativa tanto no Ensino Médio, contornando a barreira do formalismo matemático avançado, como a nível de ensino superior.

3. METODOLOGIA

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e quantitativa, desenvolvida na perspectiva da pesquisa-ação, uma vez que envolve a elaboração, aplicação, acompanhamento e análise de uma intervenção pedagógica no contexto real da sala de aula. A investigação teve como foco a análise de indícios de aprendizagem significativa no

ensino de Eletrodinâmica, a partir da implementação de uma sequência didática fundamentada nas UEPS, conforme sistematizadas por Moreira (2011).

A proposta metodológica foi estruturada a partir da articulação entre situações-problema, investigação orientada, uso TDICs, experimentação virtual e experimentação real, buscando integrar teoria e prática de forma progressiva. A sequência didática foi inspirada nos princípios das UEPS, porém adaptada a um formato mais conciso, compatível com o contexto da educação básica e com os objetivos formativos do projeto, especialmente no que se refere à formação investigativa dos estudantes participantes.

Antes do início da aplicação da sequência didática, foi realizada a seleção dos participantes, baseada no princípio da intencionalidade, considerado fundamental para a ocorrência da aprendizagem significativa (Moreira, 2011). Inicialmente, os estudantes interessados manifestaram voluntariamente o desejo de participar do projeto, sendo selecionados aqueles que demonstraram maior comprometimento e disponibilidade para o desenvolvimento sistemático das atividades. Essa etapa visou garantir não apenas a participação formal, mas o engajamento ativo dos discentes ao longo de todo o processo investigativo.

O grupo de participantes foi composto por 20 estudantes do 3º ano do Ensino Médio, oriundos de escola de tempo integral. Após a seleção, os estudantes foram distribuídos por sorteio em cinco grupos, identificados de A a E, com quatro integrantes cada. Essa organização teve como objetivo favorecer a aprendizagem colaborativa, promover a troca de conhecimentos prévios entre os participantes e estimular a discussão coletiva durante a resolução das atividades propostas.

A sequência didática foi planejada para uma carga horária total de 16 horas-aula, distribuídas em etapas que contemplaram: (i) levantamento dos conhecimentos prévios dos estudantes, por meio de questionários diagnósticos e mapas conceituais; (ii) apresentação e discussão de situações-problema introdutórias; (iii) exploração de simulações computacionais nos ambientes Tinkercad e PhET; (iv) montagem e análise de circuitos elétricos reais utilizando a plataforma Arduino; e (v) atividades de sistematização e avaliação da aprendizagem.

Durante as atividades experimentais, os estudantes foram orientados a construir e modelar circuitos elétricos do tipo RC , realizando medições de grandezas físicas como tensão, corrente em um dado intervalo de tempo, além da construção de gráficos e registros em relatórios. Essas atividades buscaram favorecer a compreensão dos fenômenos transitórios associados aos processos de carga e descarga de capacitores, bem como a articulação entre representações matemáticas, gráficas e conceituais.

A coleta de dados foi realizada a partir de diferentes instrumentos, incluindo questionários, registros escritos dos estudantes, mapas conceituais, relatórios de atividades, gráficos produzidos ao longo da sequência didática e observações diretas do professor-pesquisador. A análise dos dados envolveu procedimentos qualitativos, voltados à identificação de indícios de aprendizagem significativa, como a evolução conceitual, a utilização de subsunçores e a reconciliação integrativa de conceitos, bem como procedimentos quantitativos, relacionados à análise das produções e respostas dos estudantes ao longo das atividades.

Dessa forma, a metodologia adotada buscou garantir coerência entre os fundamentos teóricos da aprendizagem significativa, a proposta didática baseada em UEPS e o uso intencional das TDICs, possibilitando a análise do potencial pedagógico da sequência didática no ensino de circuitos elétricos RC no contexto da educação básica.

Cabe ressaltar que todos os procedimentos metodológicos e a coleta de dados foram conduzidos em conformidade com as resoluções éticas vigentes para pesquisas com seres humanos, mediante aprovação do projeto pelo Comitê de Ética em Pesquisa (CEP), sob o CAAE 94074225.4.0000.0436 e Parecer nº 8.245.249.

3.1 Situação-problema inicial e identificação dos conhecimentos prévios

A primeira etapa prática da sequência didática foi dedicada à apresentação de uma situação-problema inicial, com o objetivo de identificar os conhecimentos prévios dos estudantes e ativar possíveis subsunçores relacionados aos conceitos de circuitos elétricos. A situação-problema envolveu a escolha entre circuitos em série ou em paralelo na montagem de aparelhos domésticos, contexto próximo da realidade dos estudantes e potencialmente significativo do ponto de vista cognitivo.

A atividade foi desenvolvida com o auxílio do simulador PhET *Simulation*, no qual foram utilizados modelos de lâmpadas com resistências equivalentes às de dispositivos reais. As Figs. 3(a) e 3(b) mostram alunos observando e manipulando as simulações no PhET tanto pelo celular como pelo computador, respectivamente. Mesmo tratando-se de um primeiro contato formal com o tema, os estudantes foram capazes de observar fenômenos básicos, formular hipóteses e expressar interpretações iniciais sobre o comportamento da corrente elétrica e da diferença de potencial nos circuitos analisados.

Durante essa etapa, emergiram concepções espontâneas, como a confusão entre os conceitos de “energia”, “corrente” e “tensão”, situação recorrente em contextos introdutórios de Eletrodinâmica. Essas manifestações foram registradas e analisadas, permitindo a identificação dos conhecimentos prévios e dos subsunçores disponíveis na estrutura cognitiva dos estudantes, etapa considerada fundamental na perspectiva da Aprendizagem Significativa (Moreira, 2011).

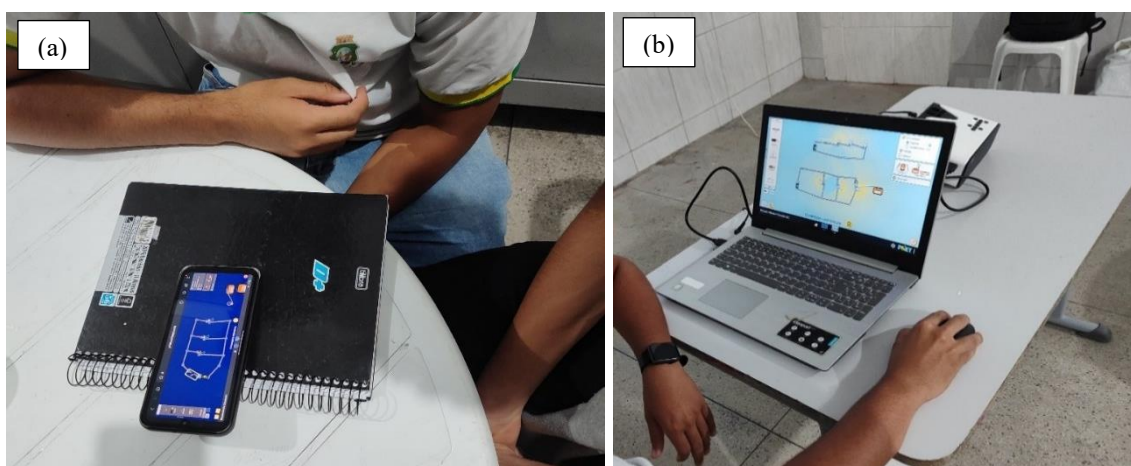


Figura 3 – Alunos montando um circuito de associação de resistores pelo PhET simulations tanto pelo (a) celular como pelo (b) computador. Fonte: elaborado pelos autores, 2026.

3.2 Conceituação básica de grandezas elétrica e uso dos ambientes virtuais

Dando seguimento à sequência didática, a etapa seguinte consistiu em uma abordagem expositivo-dialogada acerca da lei de Ohm, enfatizando a relação entre corrente elétrica, tensão elétrica e resistência. A discussão buscou ir além da apresentação formal da equação, priorizando a interpretação física da relação entre as grandezas envolvidas e a distinção entre resistores ôhmicos e não-ôhmicos a partir da análise de gráficos tensão $\times$ corrente.

Na sequência, os estudantes realizaram a montagem de um circuito elétrico no ambiente virtual do Tinkercad, como mostrado na Fig. 4(a), utilizando um potenciômetro digital para variar a tensão aplicada ao circuito. Os grupos de estudantes coletaram dados de tensão e corrente e organizaram essas informações em tabelas, a partir das quais construíram o gráfico $V \times i$ no software Microsoft Excel.

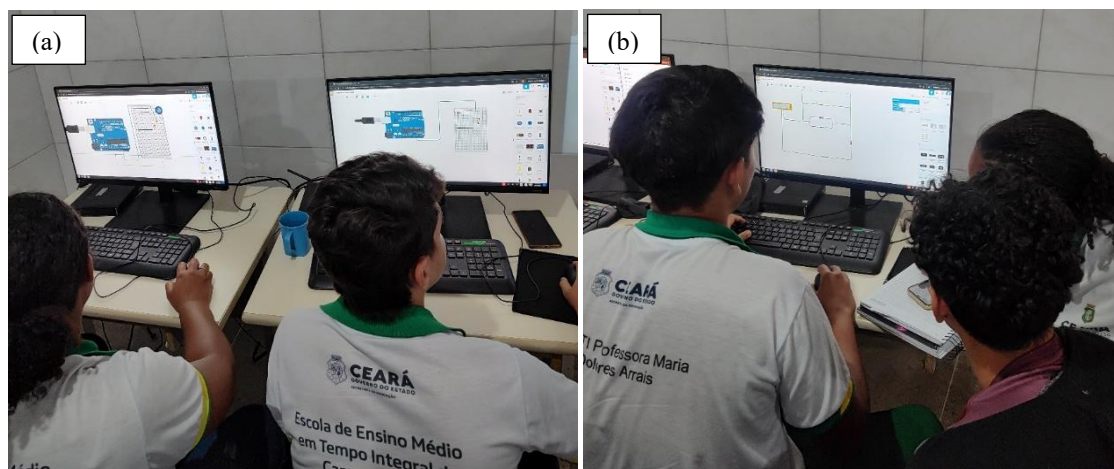


Figura 4 – Alunos realizando montagem de circuitos elétricos no ambiente virtual do Tinkercad. Fonte: elaborado pelos autores, 2026.

A análise dos gráficos permitiu aos estudantes identificarem a linearidade característica dos resistores ôhmicos e relacionar os resultados experimentais com os conceitos teóricos discutidos em aula. Essa atividade mostrou-se relevante para a consolidação conceitual, ao articular teoria, experimentação virtual e análise gráfica, favorecendo uma aprendizagem mais ativa e significativa por meio do uso intencional das TDICs.

Em duas aulas posteriores, foram abordados os conceitos de associação de resistores em série, paralelo e configurações mistas, por meio de exposições dialogadas, exemplos contextualizados e resolução coletiva de problemas. Essa etapa possibilitou a ampliação e a reorganização dos subsunçores previamente identificados, promovendo um processo de diferenciação progressiva dos conceitos relacionados à Eletrodinâmica.

Após a abordagem teórica, foram propostos exercícios aplicados, que deveriam ser resolvidos analiticamente pelos estudantes. Em seguida, os próprios grupos realizaram a verificação dos resultados por meio da montagem dos circuitos correspondentes no simulador Tinkercad, como mostrado na Fig. 4(b). Essa estratégia permitiu estabelecer uma ponte direta entre os cálculos matemáticos e a representação prática dos circuitos, favorecendo a validação dos resultados e o desenvolvimento da autonomia investigativa dos estudantes.

Em outra etapa da sequência didática, foi introduzido o conceito de potência elétrica, explorando sua relação com as grandezas tensão, corrente e resistência. A abordagem incluiu a análise de situações do cotidiano, como o funcionamento de eletrodomésticos e lâmpadas, permitindo aos estudantes atribuírem significado prático ao conceito estudado.

Esse momento assumiu um caráter marcadamente integrador, pois possibilitou a reconciliação integrativa dos conceitos trabalhados ao longo da sequência. Os estudantes foram levados a perceber como corrente, tensão, resistência e potência se articulam em um sistema conceitual coerente, reorganizando cognitivamente os conhecimentos previamente construídos e fortalecendo a compreensão global da Eletrodinâmica (Moreira, 2011).

3.3 Capacitores, circuitos *RC* e construção dos gráficos de carga e descarga

Na etapa seguinte, foram introduzidos os conceitos de capacitores e circuitos do tipo resistivo-capacitivo (RC), com ênfase na análise das relações entre corrente elétrica, tensão, carga elétrica e tempo. Os estudantes utilizaram simuladores digitais para construir circuitos RC e observar os processos de carga e descarga do capacitor.

A partir das simulações, os grupos construíram gráficos que representavam a variação da tensão e da carga em função do tempo, discutindo coletivamente o comportamento exponencial característico desses fenômenos. Essa atividade permitiu aos estudantes relacionarem os novos conceitos aos conteúdos já assimilados, ampliando o repertório conceitual e favorecendo a compreensão de fenômenos dinâmicos da Eletrodinâmica.

Nessa atividade, notou-se a evolução conceitual significativa dos estudantes. Houve uma evolução conceitual considerável nesta fase, materializada tanto no rigor das anotações técnicas produzidas pelas equipes quanto na maturidade argumentativa observada nas discussões orais durante as atividades.

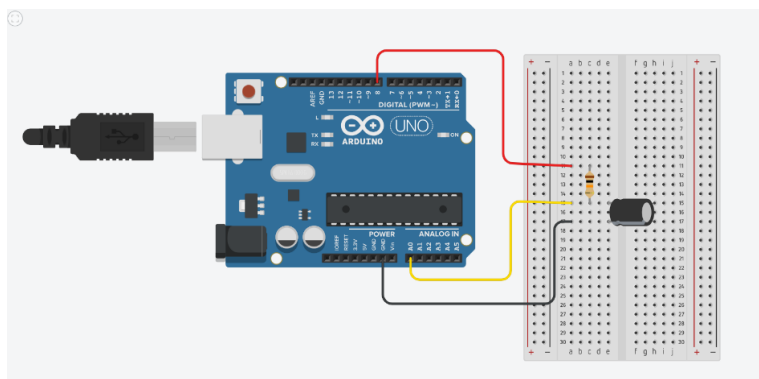


Figura 5 - Circuito RC montado no Tinkercad a partir dos diagramas apresentados em aula. Fonte: elaborado pelos autores, 2026.

Em uma etapa posterior, consolidando a transição do ambiente virtual para o físico, foi realizada a montagem prática de um circuito RC utilizando a plataforma Arduino e uma *protoboard*. Esta atividade, desenvolvida de forma colaborativa em equipes (como mostrado na Fig. 6), exigiu que os estudantes aplicassem conhecimentos básicos de eletrônica e instrumentação, identificando corretamente os terminais dos componentes. Mais do que a simples execução mecânica, os discentes foram capazes de relacionar os esquemas de montagem às grandezas físicas envolvidas, demonstrando fluidez ao transferir os subsunçores e as habilidades desenvolvidas nas simulações prévias para essa nova situação experimental, que apresentava um grau de complexidade superior.

O grande diferencial metodológico desta etapa residiu na utilização da programação por meio do Arduino IDE. Essa integração tecnológica permitiu a coleta automática de dados empíricos, viabilizando a construção e a visualização, em tempo real, dos gráficos de carga e descarga do capacitor. Diante desses resultados dinâmicos, os estudantes puderam interpretar de maneira consistente as relações temporais entre carga elétrica, corrente, tensão, resistência e capacitância.



Figura 6 – Estudantes realizando montagem do circuito RC em uma *protoboard* com fios conectados em uma placa Arduino.

Do ponto de vista da Aprendizagem Significativa, essa fase foi considerada o ápice da sequência didática, pois integrou a modelagem teórica, a simulação virtual, a experimentação física e a análise de dados reais.

3.4 Elaboração de mapas conceituais e síntese da aprendizagem

Como atividade final da sequência didática, cada grupo elaborou um mapa conceitual contemplando os principais conceitos trabalhados ao longo das aulas, tais como tensão elétrica, corrente elétrica, resistência, potência, carga elétrica, capacitor e tempo de resposta do circuito.

A análise dos mapas conceituais permitiu identificar evidências consistentes de aprendizagem significativa, uma vez que os estudantes estabeleceram relações não arbitrárias e não literais entre os conceitos, reorganizando cognitivamente os conhecimentos construídos ao longo da sequência didática. Esses registros constituíram um dos principais instrumentos para a análise qualitativa da aprendizagem, fornecendo subsídios para a interpretação dos resultados obtidos na pesquisa. Toda as etapas da SD e seus objetivos estão resumidas na Tabela 1.

Tabela 1 - Aspectos sequenciais da UEPS

Tema	Aula	Objetivos
Conhecimentos prévios e lei de Ohm.	1	Identificar subsunçores da Eletrodinâmica. Apresentar as lei de Ohm.
	2	Entender o que é resistência elétrica e um resistor ôhmico.
Resistores elétricos	3	Revisar associação de resistores: série, paralelo e mista.
Capacitores elétricos	4	Entender o que é um capacitor e sua capacitância.
Circuito <i>RC</i>	5	Compreender as principais características de um circuito <i>RC</i> .
Circuitos elétricos e as TDICs	6, 7	Compreender a manipulação de circuitos elétricos com as TDICs.
Circuitos elétricos e a plataforma Arduino	8, 9, 10	Compreender a manipulação de circuitos elétricos com a plataforma Arduino.
	11, 12	Compreender e manipular circuitos elétricos com TDICs.
Circuitos Elétricos	13, 14	Compreender e manipular circuitos elétricos com a plataforma Arduino.
	15	Construir mapas conceituais.
Avaliação na UEPS	16	Obter indícios de aprendizagem significativa dos estudantes acerca dos temas discutidos.

Fonte: elaborado pelo autor, 2026.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desenvolvimento da sequência didática em Eletrodinâmica possibilitou a obtenção de resultados expressivos tanto no domínio conceitual quanto no domínio procedimental dos estudantes participantes. A articulação entre situações-problema, uso de TDICs, simuladores computacionais e experimentação real favoreceu um avanço progressivo na compreensão dos fenômenos elétricos, evidenciando a consolidação de conceitos teóricos por meio de práticas potencialmente significativas.

Na etapa inicial, baseada em uma situação-problema envolvendo a escolha entre circuitos em série ou em paralelo para o funcionamento adequado de aparelhos domésticos, os estudantes apresentaram diferentes concepções prévias relacionadas às grandezas elétricas. O uso do simulador PhET permitiu que todos os grupos montassem corretamente as configurações propostas, comparassem o brilho das lâmpadas — utilizadas como analogia para a resistência equivalente de

eletrodomésticos — e analisassem como diferentes arranjos influenciavam o comportamento da corrente elétrica e da diferença de potencial. Durante essa etapa, emergiram subsunçores relevantes, como a recorrente confusão entre os conceitos de “energia” e “tensão”, aspecto amplamente discutido na literatura sobre ensino de Eletrodinâmica. A identificação dessas concepções mostrou-se fundamental para orientar as intervenções pedagógicas subsequentes, em consonância com os pressupostos da Aprendizagem Significativa.

No estudo da lei de Ohm, os resultados indicaram um avanço consistente na capacidade dos estudantes de relacionar, de forma sistemática, as grandezas tensão elétrica, corrente elétrica e resistência. A montagem de circuitos no ambiente virtual do Tinkercad e a posterior construção dos gráficos de tensão em função da corrente ($V \times I$) possibilitaram a observação empírica do comportamento linear característico dos resistores ôhmicos. A Fig. 7 mostra dois gráficos levantados por dois grupos de estudantes, onde podemos ver claramente o comportamento linear entre tensão e corrente, o que caracteriza um resistor ôhmico. O gráfico da esquerda (Fig. 7) mostra que os alunos obtiveram valores coerentes com o valor do resistor (aproximadamente $560\ \Omega$), indicando que a escala dos sensores estava adequadamente ajustada para a ordem de grandeza do resistor testado. Por outro lado, apesar da linearidade ser mantida no gráfico da direita na Fig. 7, a resistência calculada apresenta valor muito baixa (aproximadamente $4,5\ m\Omega$), o que indica um clássico erro de escala ou de unidade de medida (por exemplo, ler mA como A, ou mV em V).

Outro ponto a destacar é que a inversão dos eixos nos dois gráficos é, de fato, um ponto fundamental para a análise física e pedagógica. Embora ambos representem a lei de Ohm, a forma como lemos a inclinação da reta muda completamente dependendo de qual grandeza está no eixo vertical. Esse resultado serve como um excelente recurso didático em uma UEPS, pois mostra que um gráfico $V \times I$ ser linear, no caso dos resistores ôhmicos, não garante a precisão do experimento se a escala física subjacente não for tratada com rigor científico. Essa discussão pode contribuir para a consolidação conceitual.

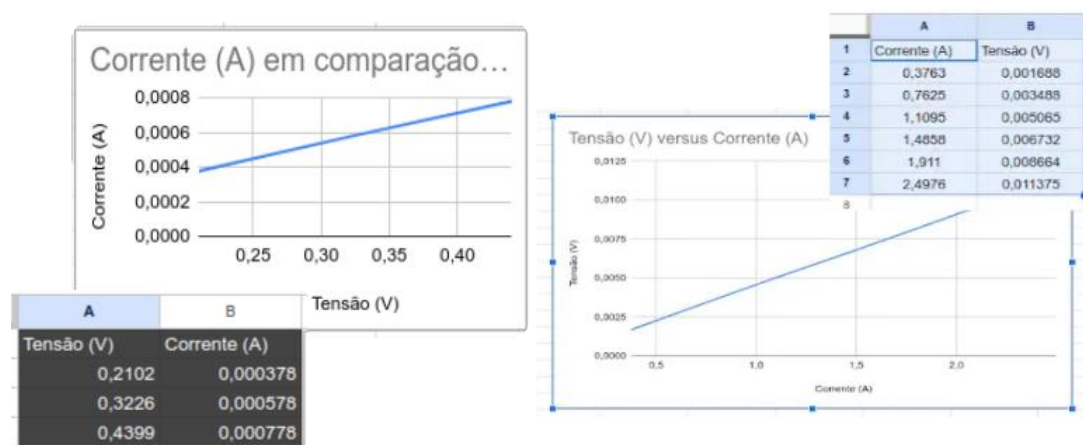


Figura 7 - Gráficos gerados pelos estudantes com o software Excel a partir dos dados coletados pelo Arduino. Fonte: elaborado pelos participantes da pesquisa, 2026.

No que diz respeito às atividades relacionadas com associações de resistores, os estudantes resolveram exercícios de forma analítica, discutindo em grupo os procedimentos matemáticos e conceituais necessários para determinar a resistência equivalente em associações em série e em paralelo. Em seguida, utilizaram o simulador Tinkercad para montar os circuitos correspondentes e verificar experimentalmente os resultados obtidos. Todos os grupos conseguiram confirmar corretamente seus cálculos por meio da simulação, evidenciando a coerência entre os modelos matemáticos e o comportamento físico dos circuitos. Essa etapa foi marcada por elevado engajamento, colaboração efetiva entre os integrantes dos grupos e crescente autonomia na utilização das ferramentas digitais, aspectos que reforçam o caráter investigativo da proposta.

No estudo do circuito RC , os estudantes demonstraram compreensão progressiva dos fenômenos transitórios envolvidos. Inicialmente, realizaram a montagem virtual do circuito no Tinkercad, onde puderam visualizar e analisar o gráfico de carga e descarga do capacitor, como mostrado na Fig. 8. Os grupos foram capazes de realizar inferências adequadas sobre o comportamento das curvas ao variar parâmetros como resistência, capacitância e tensão, indicando domínio conceitual crescente e capacidade de relacionar variáveis físicas de maneira integrada. Essas observações sugerem que a visualização dinâmica proporcionada pelos simuladores pode contribuir significativamente para a compreensão de processos que, tradicionalmente, apresentam alto grau de abstração.

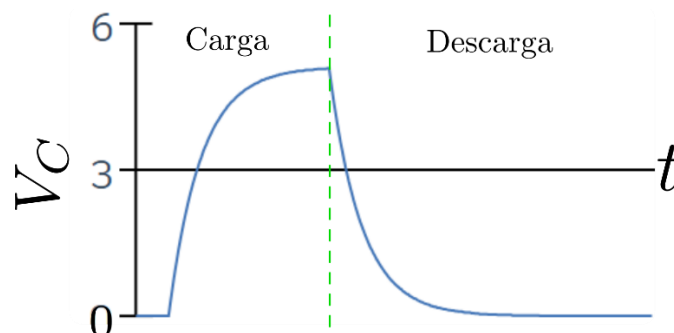


Figura 8 – Gráfico $V_C(t)$ de carga e descarga do circuito RC levantada no circuito virtual no Tinkercad. Fonte: elaborado pelo autor, 2026.

Posteriormente, a montagem prática do circuito RC utilizando a plataforma Arduino consolidou a transição entre o ambiente virtual e o experimental real. Todos os grupos conseguiram manipular o microcontrolador, identificar corretamente os componentes e utilizar a programação no Arduino IDE para coletar dados e gerar gráficos de carga e descarga em tempo real, como mostrado na Fig. 9. A fluidez observada nessa transição evidencia que os estudantes conseguiram transferir os conhecimentos construídos nas etapas anteriores para uma situação experimental mais complexa, interpretando de forma consistente as relações entre carga elétrica, corrente, tensão, resistência, capacitância e tempo. Essa integração entre teoria, simulação e experimentação real mostrou-se especialmente relevante para a compreensão dos fenômenos dinâmicos da Eletrodinâmica.

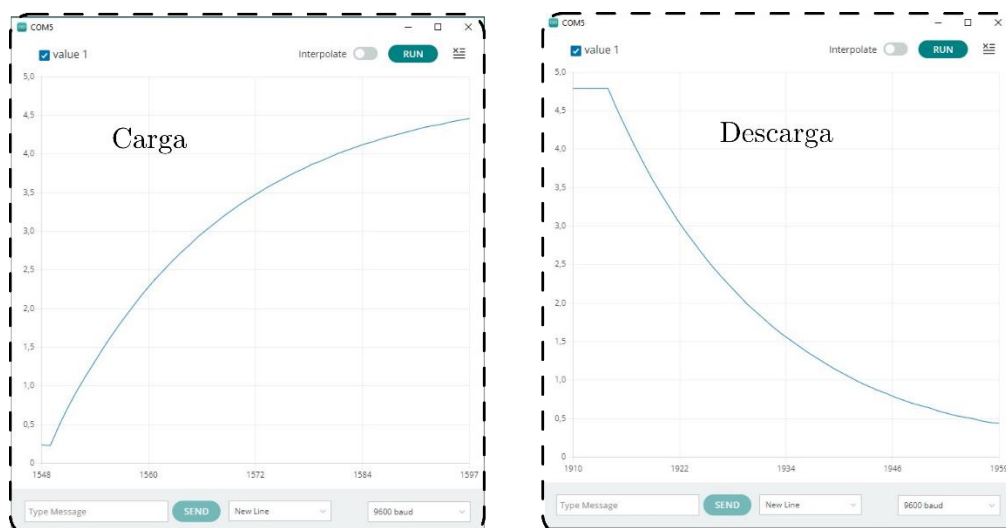


Figura 9 – Gráficos de carga e descarga de um circuito RC obtidas com o circuito real via Arduino. Fonte: elaborado pelo autor, 2026.

Como atividade integradora final, os estudantes elaboraram mapas conceituais, como apresentados na Fig. 10, representando as relações entre os conteúdos estudados ao longo da sequência didática.

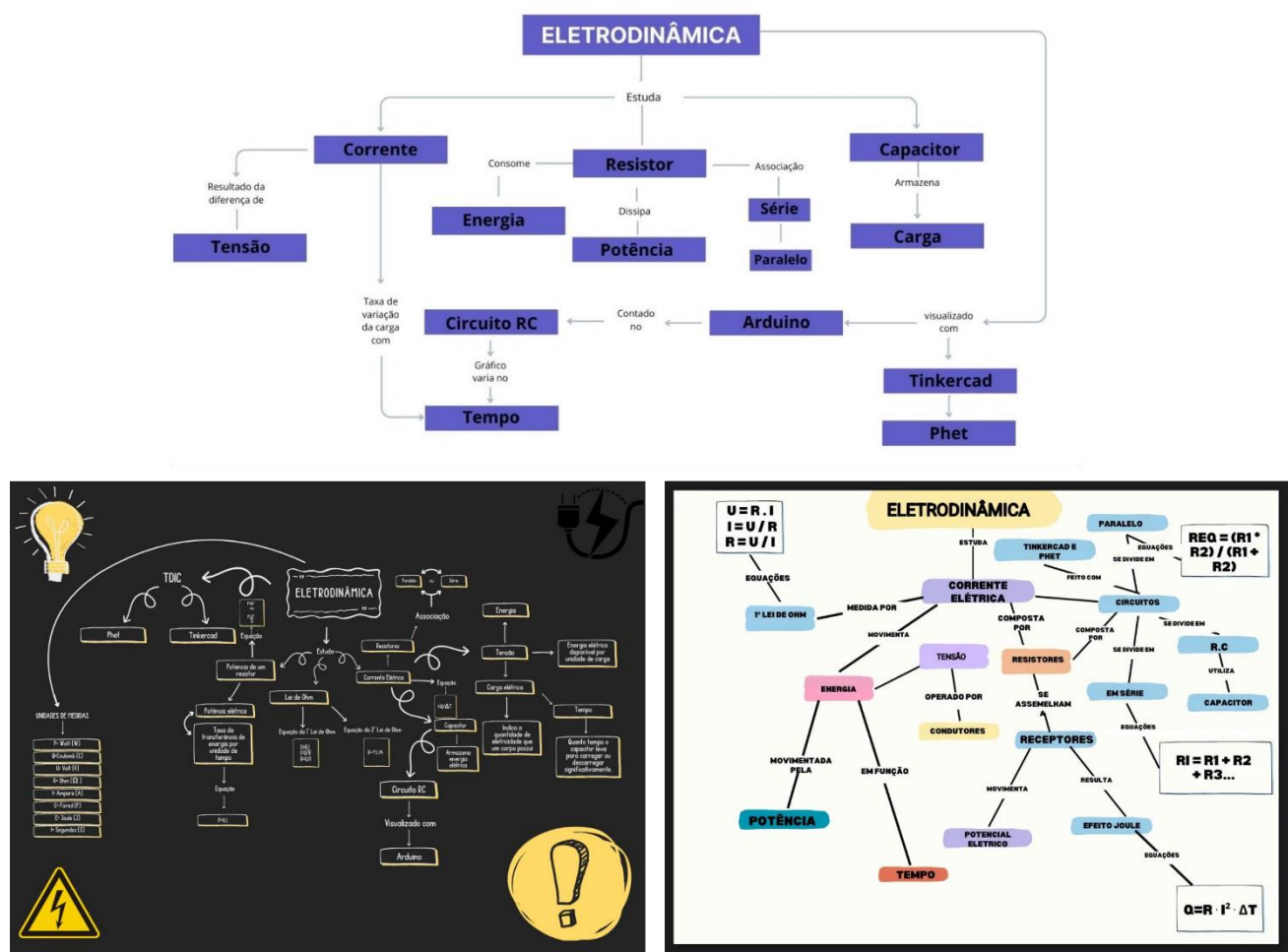


Figura 10 – Alguns exemplos de mapas mentais elaborados pelos grupos de estudantes. Fonte: elaborado pelos participantes da pesquisa, 2026.

maneira hierárquica e coerente, estabelecendo relações não arbitrárias entre tópicos como lei de Ohm, tipos de circuitos, resistores ôhmicos, associações resistivas, potência elétrica, capacitores e circuitos RC. Esse resultado constitui um forte indicativo de aprendizagem significativa, uma vez que evidencia a reorganização cognitiva e a integração dos conceitos em uma estrutura conceitual mais abrangente.

De modo geral, os resultados obtidos indicam que a abordagem baseada em investigação, uso intencional de TDIC e experimentação prática favoreceu a participação ativa dos estudantes e promoveu uma evolução progressiva na compreensão dos conceitos fundamentais da Eletrodinâmica. A sequência didática fundamentada nas UEPS mostrou-se eficaz ao articular conhecimentos prévios, problematização, experimentação e síntese conceitual, contribuindo para a superação de práticas centradas na aprendizagem mecânica e para o fortalecimento de aprendizagens mais significativas.

A análise dos resultados obtidos ao longo do projeto foi conduzida a partir de uma abordagem qualitativa, com predomínio qualitativo-observacional, uma vez que grande parte dos dados relevantes emergiu das interações entre os estudantes, das verbalizações espontâneas durante as atividades, do registro das dificuldades conceituais e do acompanhamento da evolução cognitiva ao longo da sequência didática. A dimensão quantitativa esteve presente principalmente nas atividades que envolveram a construção e análise de gráficos em ambientes digitais, como o Tinkercad e o

Arduino IDE, bem como nos cálculos associados à lei de Ohm, às associações de resistores e ao comportamento dos circuitos *RC*.

Os resultados evidenciam uma evolução conceitual significativa ao longo do projeto. Nas atividades iniciais, especialmente durante a situação-problema desenvolvida no PhET *Simulation*, tornou-se clara a centralidade dos conhecimentos prévios na construção de novos significados, conforme proposto por Ausubel (2003) e sistematizado por Moreira (2011). Ao montar circuitos simples que representavam situações do cotidiano, os estudantes externalizaram concepções espontâneas recorrentes, como a confusão entre os conceitos de “energia” e “tensão elétrica”. Longe de se configurarem como entraves ao processo de aprendizagem, essas concepções atuaram como pontos de ancoragem para a diferenciação progressiva e para a reconciliação integrativa dos conceitos, elementos centrais da Teoria da Aprendizagem Significativa.

À medida que as atividades avançaram, observou-se um aumento expressivo no engajamento dos estudantes, especialmente nas etapas que envolveram a manipulação de simuladores, a formulação de hipóteses e a testagem de explicações construídas pelos próprios grupos. A construção dos gráficos característicos de resistores ôhmicos no Tinkercad representou um momento decisivo para a consolidação conceitual, pois permitiu aos estudantes verificarem experimentalmente as relações previstas pela lei de Ohm. O confronto entre os valores obtidos nos cálculos analíticos e aqueles gerados nas simulações fortaleceu a coerência e discordâncias entre teoria e prática, contribuindo para uma aprendizagem mais significativa e crítica.

Esse percurso investigativo, que se iniciou em ambientes virtuais e posteriormente se estendeu à experimentação física, favoreceu o desenvolvimento de habilidades associadas ao raciocínio científico, como análise de dados, organização de informações, argumentação e tomada de decisões fundamentadas. Durante as atividades envolvendo os circuitos *RC*, tanto no Tinkercad quanto na montagem com Arduino, os estudantes puderam observar de forma concreta o comportamento dos processos de carga e descarga do capacitor, discutir o papel da resistência e da capacitância na determinação da constante de tempo do circuito e formular previsões sobre a variação das grandezas envolvidas. Essa postura ativa e reflexiva evidencia a presença da intencionalidade, elemento considerado essencial por Moreira(2011) para a ocorrência da aprendizagem significativa.

Outro aspecto relevante observado foi o fortalecimento do trabalho colaborativo. A organização dos estudantes em grupos, selecionados por adesão voluntária e distribuídos por sorteio, favoreceu a diversidade de conhecimentos prévios e o protagonismo dos participantes. Ao longo das atividades, verificou-se uma divisão espontânea de funções, na qual alguns estudantes se destacaram nos cálculos, outros nas montagens dos circuitos e outros na análise gráfica e interpretação dos resultados. Esse processo colaborativo tornou a aprendizagem mais dinâmica e dialogada, além de exercer um efeito motivacional positivo. A cooperação, nesse sentido, mostrou-se um elemento catalisador do aprendizado.

O impacto das TDCs no processo formativo foi igualmente significativo. O uso de simuladores interativos, softwares de visualização gráfica e da plataforma Arduino permitiu que os estudantes testassem hipóteses com maior autonomia, reconhecessem erros e realizassem correções sem depender exclusivamente da mediação direta do professor. Esses ambientes funcionaram como uma ponte eficaz entre teoria e prática, tornando conceitos tradicionalmente abstratos — como diferença de potencial, corrente elétrica, resistência e capacitância — mais concretos, manipuláveis e compreensíveis. Além disso, observou-se um aumento expressivo da motivação dos estudantes, fator que, segundo Ausubel(2003), exerce influência direta sobre a predisposição para aprender e sobre a retenção significativa do conhecimento.

No plano educativo mais amplo, os estudantes demonstraram avanços na capacidade de relacionar os conceitos científicos estudados com situações do cotidiano. Surgiram discussões pertinentes sobre o uso responsável da energia elétrica, a segurança em instalações domésticas e o funcionamento de equipamentos elétricos e eletrônicos. Em alguns casos, os grupos propuseram

soluções de baixo custo para problemas práticos, evidenciando criatividade e capacidade de aplicar os conhecimentos físicos a contextos reais.

Do ponto de vista pedagógico, os resultados também ressaltam a importância da flexibilidade da UEPS adotada. A estrutura da sequência didática permitiu ajustes contínuos em função das necessidades do grupo, do calendário escolar e das condições reais do ambiente educativo. Essa flexibilidade contribuiu para que o percurso formativo se mantivesse progressivo, coerente e adequado ao ritmo dos estudantes, preservando a centralidade da intencionalidade, da problematização e da integração entre teoria e prática.

Em suma, os resultados e suas discussões indicam que o projeto alcançou plenamente seus objetivos pedagógicos, ao promover aprendizagem significativa, ampliar a motivação dos estudantes, fortalecer o trabalho em equipe, desenvolver o raciocínio lógico-científico e aproximar teoria e prática. O enfoque investigativo, flexível e mediado por TDIC demonstrou elevado potencial para qualificar o ensino de Eletrodinâmica na educação básica, evidenciando que, quando o ensino valoriza os conhecimentos prévios dos estudantes e promove sua participação ativa, a aprendizagem torna-se mais profunda, estável e relevante.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo elaborar, aplicar e analisar uma sequência didática fundamentada nas UEPS, mediada por TDICs e pela plataforma Arduino, com foco no ensino de circuitos elétricos com resistores ôhmicos e do tipo resistivo-capacitivo (*RC*). Os resultados indicaram avanços consistentes na compreensão conceitual e procedimental dos estudantes, evidenciando que a articulação entre situações-problema, simulações computacionais e experimentação prática favorece a construção de aprendizagens significativas em tópicos da Eletrodinâmica.

A análise dos dados revelou que a valorização dos conhecimentos prévios, aliada ao uso intencional das TDICs, contribuiu para a superação de práticas centradas na aprendizagem mecânica. A integração entre ambientes virtuais e experimentação real permitiu maior engajamento dos estudantes, desenvolvimento de habilidades investigativas e fortalecimento da relação entre teoria e prática. A flexibilidade da UEPS mostrou-se fundamental para ajustar o percurso formativo às necessidades do grupo, promovendo um processo de ensino-aprendizagem mais dialogado e coerente com os pressupostos da Aprendizagem Significativa.

A utilização intencional das TDIC desempenhou papel relevante ao possibilitar a visualização de fenômenos abstratos, a manipulação de variáveis físicas e a análise de dados em tempo real. O uso combinado de simuladores digitais e da plataforma Arduino favoreceu a integração entre teoria e prática, ampliando o engajamento dos estudantes e fortalecendo o desenvolvimento de habilidades investigativas, como a formulação de hipóteses, a interpretação de gráficos e a argumentação científica. Nesse sentido, os circuitos *RC* mostraram-se um conteúdo particularmente fértil para a abordagem investigativa, por permitirem a exploração de fenômenos dinâmicos da Eletrodinâmica.

Do ponto de vista pedagógico, a sequência didática baseada em UEPS demonstrou flexibilidade e adaptabilidade ao contexto escolar, permitindo ajustes ao longo do processo e respeitando o ritmo de aprendizagem dos estudantes. Além disso, o trabalho colaborativo em grupos favoreceu a participação ativa, a troca de saberes e o desenvolvimento de atitudes cooperativas, contribuindo para a construção de um ambiente de aprendizagem mais dialogado e significativo. Contudo, o estudo reconhece limitações práticas para a sua execução, notadamente a dependência de infraestrutura tecnológica adequada nas escolas, o tempo estendido exigido para a implementação integral das atividades e o número restrito de participantes na amostra analisada.

Como perspectivas futuras, os indícios de sucesso desta pesquisa apontam para a necessidade de expansão e adaptação dessa sequência didática, fundamentada em metodologias ativas e experimentação digital, para o ensino de outros tópicos do currículo de Física. Recomenda-se, ainda,

a replicação deste modelo investigativo em diferentes contextos socioeducacionais e com amostras mais amplas de estudantes, visando validar a generalização dos resultados. A continuidade destas investigações poderá consolidar o uso integrado de TDICs e microcontroladores para a inovação contínua no Ensino de Física.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ausubel, D. P. (2003). *Aquisição e retenção de conhecimentos*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.
- Brasil. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/a-base>. Acesso em: 06 mai. 2026.
- Halliday, D.; Resnick, R. & Krane, K. S. (2017). *Física 3*. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC.
- Halliday, D.; Resnick, R. & Walker, J. (2013). *Fundamentos de Física*, v. 3: Eletromagnetismo. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC.
- Hewitt, P. G. (2015). *Física conceitual*. 12. ed. Porto Alegre: Bookman.
- Kenski, V. M. (2003). Aprendizagem mediada pela tecnologia. *Revista Diálogo Educacional*. Curitiba.
- McCrindle, M. (2009). *The ABC of XYZ: understanding the global generations*. 3. ed. UNSW Press: Sydney.
- Miquelin, A. F. (2009). *Contribuições dos meios tecnológicos para o Ensino de Física na Escola Básica*. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- Moreira, M. A. (2018). Uma análise crítica do ensino de Física. *Estudos Avançados*, 32(94), 73-80.
- Moreira, M. A. (2010). *O que é afinal aprendizagem significativa?* Disponível em: <<http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>>. Acesso em: 22 dez. 2025.
- Moreira, M. A. (2011). Unidades de enseñanza potencialmente significativas – UEPS. *Aprendizagem Significativa em Revista*, 1(2), 43–63.
- Moreira, M. A. (2023). *Teorias de Aprendizagem*. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC.
- Nussenzveig, H. M. (2015). *Curso de Física Básica*, v. 3: Eletromagnetismo. 2. ed. São Paulo: Blucher.
- Prensky, M. (2001). Digital natives, digital immigrants. *On the Horizon*, 9(5). NCB University Press. Disponível em: <<https://www.marcprensky.com/writing/Prensky%20-%20Digital%20Natives,%20Digital%20Immigrants%20-%20Part1.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2025.
- Santos, R. (2006). TIC's: uma tendência no ensino da matemática. Disponível em: <<https://meuartigo.brasilecola.uol.com.br/educacao/tics-uma-tendencia-no-ensino-matematica.htm>>. Acesso em: 04 dez. 2025.