

## Exploração de circuitos elétricos com massinha de modelar em uma abordagem Maker-STEAM

João Francisco Trencher Martins<sup>1</sup>, Rodnil da Silva Moreira Lisboa<sup>1,2</sup>, Lucy Mari Tabuti<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Fundação Escola de Comércio Álvares Penteado (FECAP), São Paulo, Brasil (joao.trencher@fecap.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal do ABC (UFABC), Santo André, Brasil

<sup>3</sup> Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC-SP), São Paulo, Brasil

**Resumo:** Este trabalho apresenta uma atividade Maker-STEAM para o ensino de eletricidade utilizando massinha de modelar convencional como condutor. Foram explorados circuitos simples, resistência elétrica, curto-circuito e associação em paralelo por meio da variação da luminosidade de LEDs. Como etapa final, os estudantes construíram esculturas funcionais. A proposta favoreceu a compreensão qualitativa dos conceitos e alto engajamento.

**Palavras-chave:** Ensino de Física; Circuitos elétricos; Cultura maker; STEAM; Aprendizagem ativa

### INTRODUÇÃO

O ensino de eletricidade na educação básica constitui um dos campos mais desafiadores no ensino de Física, especialmente no que se refere à compreensão de conceitos fundamentais como corrente elétrica, diferença de potencial e resistência. Apesar de sua ampla presença nos currículos escolares, diversos estudos apontam que estudantes frequentemente desenvolvem concepções alternativas persistentes, como a confusão entre corrente e energia, a ideia de consumo de corrente ao longo do circuito e interpretações equivocadas sobre o funcionamento de circuitos elétricos (Bernhard e Carstensen, 2002; Moodley e Gaigher, 2017). Essas dificuldades tendem a se manter mesmo após instrução formal, evidenciando limitações das abordagens tradicionais de ensino.

Do ponto de vista conceitual, a compreensão de circuitos elétricos exige a articulação entre diferentes níveis de representação. Em nível macroscópico, os estudantes lidam com grandezas como corrente, tensão e resistência; já em nível microscópico, essas grandezas estão associadas ao movimento de cargas e às propriedades físicas dos materiais condutores. Essa articulação é complexa e frequentemente não é explicitada no ensino, o que contribui para interpretações fragmentadas dos fenômenos elétricos.

Nesse contexto, a Lei de Ohm, frequentemente apresentada como uma relação direta entre corrente, tensão e resistência, é muitas vezes interpretada de forma equivocada como uma definição absoluta, e não como uma regularidade empírica válida sob determinadas condições. Estudos mostram que

estudantes e até mesmo professores tendem a tratar a expressão  $R = \frac{V}{I}$  como uma definição universal de resistência, sem considerar suas limitações ou o fato de que nem todos os materiais apresentam comportamento ôhmico (Kim e Ha, 2024). Essa simplificação pode comprometer a compreensão mais profunda dos fenômenos envolvidos.

Além disso, a resistência elétrica depende não apenas do material, mas também da geometria do condutor, sendo proporcional ao comprimento e inversamente proporcional à área de seção transversal. No entanto, essas relações são frequentemente apresentadas de forma abstrata, sem conexão com experiências concretas, o que dificulta sua apropriação pelos estudantes. A ausência de atividades experimentais que permitam a manipulação dessas variáveis contribui para a manutenção dessas dificuldades conceituais (Aprillya et al., 2025).

Diante desse cenário, a literatura em ensino de Física aponta a necessidade de abordagens que promovam a aprendizagem ativa e a construção de conhecimento a partir da interação direta com fenômenos físicos. Atividades investigativas, nas quais os estudantes são levados a formular hipóteses, testar configurações e interpretar resultados, têm se mostrado uma estratégia didática pertinente na construção de modelos mentais consistentes, ao favorecer a articulação entre teoria e observação (Zuza et al., 2020).

Paralelamente, a cultura maker tem se consolidado como uma abordagem pedagógica relevante no ensino de ciências, ao enfatizar o “aprender fazendo” e a construção de artefatos como parte do processo de



aprendizagem. Nesse contexto, os estudantes assumem um papel ativo na resolução de problemas, sendo incentivados a projetar, construir e testar soluções, o que favorece o desenvolvimento da autonomia, da criatividade e do pensamento crítico (Pols e Hut, 2023).

No âmbito dessas transformações, a abordagem STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics) amplia ainda mais essas possibilidades ao integrar diferentes áreas do conhecimento, incluindo as artes, em propostas educacionais interdisciplinares. A inclusão do componente artístico não apenas favorece a expressão criativa, mas também contribui para a construção de significados, ao articular pensamento convergente e divergente no processo de aprendizagem (Aguilera e Ortiz-Revilla, 2021). Além disso, a abordagem STEAM enfatiza a contextualização e a integração de saberes, promovendo experiências de aprendizagem mais significativas (Rodrigues-Silva e Alsina, 2023).

Nesse contexto, o uso de materiais alternativos e de baixo custo emerge como uma estratégia relevante para viabilizar práticas experimentais em diferentes realidades educacionais. Entre esses materiais, a massinha de modelar convencional apresenta potencial didático significativo, uma vez que, apesar de não ser projetada para condução elétrica, sua composição contém sais, especialmente cloreto de sódio, que permitem a condução de corrente elétrica por meio de transporte iônico. Essa característica possibilita a construção de circuitos elétricos de forma simples, acessível e altamente manipulável.

Estudos que utilizam materiais como massinhas condutivas ou similares indicam que a construção de circuitos com elementos táteis e flexíveis favorece a compreensão de conceitos básicos de eletricidade, ao tornar visíveis e manipuláveis aspectos que, em abordagens tradicionais, permanecem abstratos (Peppler et al., 2018; Wuttirom et al., 2019). Além disso, a possibilidade de modificar facilmente a geometria dos condutores permite explorar, de forma experimental, relações entre resistência elétrica e dimensões físicas do material.

Diante desse contexto, o presente trabalho tem como objetivo relatar uma experiência didática baseada na construção de circuitos elétricos utilizando massinha de modelar convencional, explorando conceitos como resistência elétrica, caminhos preferenciais da corrente e associação de circuitos. A atividade foi estruturada em uma abordagem Maker-STEAM, culminando na criação de esculturas funcionais pelos estudantes, integrando conceitos científicos e expressão artística.

## MATERIAL E MÉTODOS

A atividade foi desenvolvida em ambiente escolar, no contexto de uma proposta didática fundamentada na abordagem Maker-STEAM, com estudantes do primeiro ano do ensino médio. A aplicação ocorreu em um espaço de aprendizagem com características de laboratório ou ambiente maker, favorecendo a manipulação de materiais e a construção de protótipos simples.

A proposta foi concebida como uma sequência didática investigativa, estruturada em etapas progressivas, com o objetivo de promover a compreensão qualitativa de conceitos fundamentais de eletricidade por meio da experimentação direta. A atividade foi planejada de forma a articular conceitos físicos com práticas de construção e exploração, incentivando a participação ativa dos estudantes durante todo o processo.

Foram utilizados materiais de baixo custo e fácil acesso, sendo eles: bateria de 9 V, LEDs e massinha de modelar comercial convencional. A escolha desses materiais teve como objetivo tornar a atividade replicável em diferentes contextos educacionais, incluindo aqueles com acesso limitado a equipamentos laboratoriais.

Embora a massinha de modelar não seja um material originalmente projetado para condução elétrica, sua composição contém sais, especialmente cloreto de sódio, que permitem a condução de corrente elétrica por meio de transporte iônico. Essa característica foi explorada como elemento central da atividade, possibilitando a construção de circuitos elétricos de forma simples e acessível.

A condução da atividade foi orientada por uma abordagem investigativa, na qual os estudantes foram incentivados a formular hipóteses, testar configurações de circuito e interpretar os resultados obtidos a partir da observação direta do comportamento dos componentes. O papel do professor consistiu em mediar o processo, propondo desafios, orientando discussões e auxiliando na sistematização dos conceitos explorados.

Além disso, a atividade foi planejada para favorecer a interação entre os estudantes, sendo realizada preferencialmente em pequenos grupos. Essa organização permitiu a troca de ideias, a colaboração na resolução de problemas e o desenvolvimento de estratégias coletivas para a construção e análise dos circuitos.

### Construção de circuito simples

Na etapa inicial, os estudantes foram orientados a construir um circuito elétrico simples utilizando uma bateria de 9 V, um LED e rolinhos de massinha de



modelar. O objetivo dessa atividade foi introduzir o conceito de circuito fechado e possibilitar a observação direta do funcionamento de um dispositivo elétrico.

Os alunos conectaram os terminais do LED aos polos da bateria por meio da massinha, sendo estimulados a testar diferentes configurações até obter o acendimento do componente. Essa abordagem permitiu que os estudantes identificassem, de forma autônoma, a necessidade de uma conexão contínua para a circulação de corrente elétrica.

Do ponto de vista conceitual, essa etapa buscou promover a compreensão inicial da ideia de circuito elétrico como um sistema fechado, no qual a corrente elétrica depende da existência de um caminho contínuo entre os polos da fonte.

#### Investigação da resistência elétrica

Na segunda etapa, foram propostas modificações nos circuitos construídos, com o objetivo de explorar qualitativamente o conceito de resistência elétrica. Os estudantes foram orientados a variar o comprimento e a espessura dos rolinhos de massinha que conectavam o LED à bateria.

Essas variações permitiram observar mudanças na intensidade luminosa do LED, utilizadas como indicador indireto da corrente elétrica no circuito. Rolinhos mais longos ou mais finos resultaram em menor luminosidade, enquanto rolinhos mais curtos ou mais espessos produziram maior brilho.

Essa etapa teve como objetivo estabelecer, de forma experimental, relações entre a resistência elétrica e a geometria do condutor, aproximando os estudantes da compreensão de que a resistência depende do comprimento e da área de seção transversal do material.

Além disso, a atividade permitiu discutir, de forma qualitativa, a dissipação de energia no circuito, evidenciada pela redução da intensidade luminosa do LED em configurações de maior resistência.

#### Exploração de curto-circuito e caminhos da corrente

Na etapa seguinte, os estudantes foram desafiados a modificar os circuitos para criar caminhos alternativos para a corrente elétrica. Inicialmente, foi proposto que conectassem diretamente os polos da bateria antes do LED, utilizando um rolinho adicional de massinha.

Essa configuração resultou no apagamento do LED, permitindo a introdução do conceito de curto-circuito e a discussão sobre a preferência da corrente elétrica por caminhos de menor resistência.

Em seguida, os estudantes foram orientados a criar o curto-circuito após o LED, mantendo o componente inserido no circuito principal. Nessa situação, foi possível observar que o LED permanecia aceso em determinadas configurações, especialmente quando o caminho alternativo apresentava maior resistência.

Essa etapa possibilitou discutir a distribuição da corrente elétrica em circuitos com múltiplos caminhos, enfatizando que a corrente não percorre apenas um único trajeto, mas se distribui de acordo com as resistências relativas dos caminhos disponíveis.

#### Construção de circuitos em paralelo

Na quarta etapa, os estudantes construíram circuitos com dois LEDs em paralelo, conectados à mesma fonte por meio da massinha de modelar. A atividade teve como objetivo ampliar a compreensão sobre a distribuição de corrente elétrica em diferentes ramos de um circuito.

Os alunos foram incentivados a construir configurações com diferentes comprimentos e espessuras de massinha em cada ramo, permitindo observar variações na intensidade luminosa dos LEDs. Essa abordagem favoreceu a percepção de que a corrente elétrica se distribui de maneira não uniforme, sendo influenciada pela resistência de cada ramo.

Do ponto de vista conceitual, essa etapa contribuiu para a compreensão qualitativa de circuitos em paralelo, reforçando a ideia de que diferentes caminhos podem coexistir em um mesmo sistema elétrico, com comportamentos distintos.

#### Integração com o componente artístico (STEAM)

Na etapa final, foi proposta uma atividade de caráter integrador, na qual os estudantes deveriam desenvolver esculturas utilizando massinha de modelar que incorporassem circuitos elétricos funcionais.

Os alunos tiveram liberdade para definir o formato de suas construções, desde que incluíssem pelo menos um LED em funcionamento. Essa proposta incentivou a aplicação dos conceitos explorados nas etapas anteriores em um contexto criativo e aberto, característico da abordagem STEAM.

Durante essa etapa, os estudantes foram levados a testar diferentes configurações de circuito, ajustar a disposição dos condutores e resolver problemas práticos relacionados ao funcionamento dos LEDs, promovendo um processo iterativo de construção, teste e refinamento.

Além de consolidar os conceitos físicos trabalhados, essa atividade favoreceu o desenvolvimento da criatividade, da autonomia e da capacidade de resolução de problemas, ao integrar conhecimentos científicos com expressão artística.

Durante a realização da atividade, foram adotados procedimentos de registro e acompanhamento com o objetivo de documentar o desenvolvimento das construções e as interações dos estudantes ao longo da sequência didática.

Os principais dados utilizados neste trabalho foram obtidos por meio de registros fotográficos das diferentes etapas da atividade, incluindo a montagem dos circuitos, as variações nas configurações propostas e as construções finais desenvolvidas pelos estudantes. As imagens foram utilizadas como evidências visuais do processo de aprendizagem e como suporte para a análise qualitativa dos resultados apresentados.

Além dos registros visuais, foram realizadas observações diretas durante a execução das atividades, com foco no comportamento dos estudantes, nas estratégias adotadas para a resolução dos desafios propostos e nas interações estabelecidas em grupo. Essas observações permitiram identificar padrões de raciocínio, dificuldades recorrentes e formas de apropriação dos conceitos trabalhados.

A análise dos dados foi conduzida de forma qualitativa, considerando principalmente as evidências de compreensão conceitual manifestadas pelos estudantes durante as atividades. Entre os aspectos analisados, destacam-se: a capacidade de estabelecer relações entre a geometria do condutor e a intensidade da corrente elétrica, a compreensão do comportamento da corrente em diferentes configurações de circuito e a aplicação dos conceitos na construção de estruturas funcionais.

Adicionalmente, foi considerada a evolução das construções ao longo das etapas da sequência didática, observando-se a progressiva incorporação de conceitos físicos nas soluções desenvolvidas pelos estudantes. Esse processo foi interpretado como indicativo de aprendizagem, uma vez que evidenciou a transição de abordagens exploratórias iniciais para construções mais estruturadas e intencionalmente planejadas.

A análise também levou em conta o nível de engajamento dos estudantes durante as atividades, observado por meio da participação nas discussões, da experimentação com diferentes configurações e da persistência na resolução de problemas. Esses elementos foram considerados relevantes para a avaliação do potencial da proposta no contexto do ensino de Física.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A atividade proposta apresentou elevado nível de engajamento dos estudantes, especialmente devido ao caráter tátil, visual e interativo da massinha de modelar. Desde a etapa inicial, foi possível observar que a manipulação direta dos materiais favoreceu a compreensão do conceito de circuito elétrico fechado, evidenciada pelo acendimento do LED quando corretamente conectado à bateria.

Durante a construção dos primeiros circuitos, os estudantes rapidamente identificaram a necessidade de estabelecer uma conexão contínua entre os polos da bateria e os terminais do LED, o que contribuiu para a superação de concepções alternativas relacionadas ao funcionamento de circuitos elétricos, frequentemente descritas na literatura como persistentes no processo de aprendizagem (Bernhard e Carstensen, 2002; Moodley e Gaigher, 2017).

Na etapa de investigação da resistência elétrica, as variações no comprimento e na espessura dos rolinhos de massinha permitiram aos alunos estabelecer relações qualitativas entre a geometria do condutor e a intensidade da corrente elétrica. Observou-se que circuitos construídos com rolinhos mais longos ou mais finos resultavam em menor luminosidade do LED, indicando maior resistência elétrica. Essa diferença pode ser observada na Figura 1, que compara um circuito construído com rolinhos de maior espessura com outro construído com rolinhos mais finos.

Além disso, o uso do LED como indicador visual da corrente elétrica mostrou-se uma estratégia eficaz para tornar perceptíveis fenômenos que, em contextos tradicionais, são frequentemente abstratos. A variação na intensidade luminosa funcionou como um recurso imediato de feedback, permitindo que os estudantes testassem hipóteses e ajustassem suas construções de forma autônoma.



Figura 1. Comparação entre circuitos construídos com massinha de modelar: (esquerda) circuito com rolinhos de maior espessura; (direita) circuito com rolinhos mais finos. A redução da luminosidade do

LED no segundo caso indica o aumento da resistência elétrica em função da menor área de seção transversal.

Após a exploração da resistência elétrica, foi introduzida a análise dos caminhos percorridos pela corrente elétrica em diferentes configurações de circuito. Nessa etapa, os estudantes foram desafiados a modificar os circuitos previamente construídos, criando conexões alternativas entre os polos da bateria.

Inicialmente, ao conectar diretamente os dois polos da bateria por meio de um rolinho de massinha antes do LED, os alunos observaram o apagamento imediato do componente. Esse resultado permitiu discutir o fenômeno do curto-circuito, evidenciando que a corrente elétrica tende a percorrer o caminho de menor resistência, desviando-se do LED.

Em seguida, foi proposta uma variação da montagem, na qual o curto-circuito era realizado após o LED. Nessa configuração, os estudantes observaram que o LED poderia permanecer aceso, dependendo das características do caminho alternativo criado. Quando o rolinho de massinha utilizado no desvio apresentava grande comprimento (e, conseqüentemente, maior resistência), parte significativa da corrente ainda atravessava o LED, mantendo sua luminosidade.

Essa atividade favoreceu a compreensão de que a corrente elétrica não “escolhe” um único caminho, mas se distribui entre diferentes trajetórias disponíveis, sendo influenciada pelas resistências relativas de cada uma delas. Esse entendimento representa um avanço importante em relação a concepções simplificadas frequentemente observadas no ensino de circuitos elétricos.

A Figura 2 ilustra as configurações exploradas pelos estudantes, evidenciando as situações de curto-circuito antes e após o LED, bem como seus efeitos no funcionamento do circuito.



Figura 2. Configurações de curto-circuito exploradas com massinha de modelar: (esquerda) curto-circuito realizado antes do LED, resultando no apagamento do componente; (direita) curto-circuito após o LED, no qual a luminosidade é mantida em função da maior resistência do caminho alternativo.

Na sequência, foram exploradas configurações de circuitos em paralelo, utilizando dois LEDs conectados a um mesmo conjunto de terminais da bateria por meio da massinha de modelar. Nessa etapa, os estudantes foram incentivados a construir diferentes arranjos e observar o comportamento dos componentes em funcionamento.

Durante as atividades, verificou-se que os LEDs apresentavam variações em sua intensidade luminosa, especialmente quando os caminhos de massinha que compunham cada ramo do circuito possuíam diferentes comprimentos ou espessuras. Em alguns casos, um dos LEDs apresentava maior brilho em relação ao outro, o que levou os estudantes a investigar as causas dessa diferença.

A análise dessas configurações permitiu discutir a distribuição da corrente elétrica em circuitos com múltiplos caminhos, evidenciando que a corrente não se divide necessariamente de forma igual entre os ramos, mas depende das resistências associadas a cada trajeto. Dessa forma, ramos com menor resistência tendem a conduzir uma fração maior da corrente, resultando em maior intensidade luminosa do LED correspondente.

Essa etapa contribuiu para o aprofundamento da compreensão dos estudantes sobre o comportamento da corrente elétrica em circuitos mais complexos, ampliando a visão inicialmente construída em circuitos simples. Além disso, a possibilidade de manipulação direta dos elementos do circuito favoreceu a experimentação e a verificação de hipóteses de forma autônoma.

Exemplos de circuitos em paralelo construídos pelos estudantes podem ser vistos na Figura 3, evidenciando as diferenças de luminosidade entre os LEDs em função das características dos condutores de massinha.



Figura 3. Circuito em paralelo construído com massinha de modelar, evidenciando a diferença de luminosidade entre os LEDs em função das diferentes resistências nos ramos do circuito.

Como etapa final da atividade, foi proposta uma tarefa integradora baseada na abordagem STEAM, na qual os estudantes foram desafiados a desenvolver esculturas utilizando massinha de modelar que incorporassem circuitos elétricos funcionais. Nessa fase, os conceitos explorados ao longo da atividade, como circuito fechado, resistência elétrica, caminhos preferenciais da corrente e associação em paralelo, foram aplicados de forma criativa e contextualizada.

Observou-se que os estudantes passaram a utilizar intencionalmente diferentes configurações de circuitos para atender aos objetivos de suas construções, ajustando o comprimento e a espessura dos condutores de massinha conforme necessário para garantir o funcionamento adequado dos LEDs. Em diversos casos, foram identificadas soluções originais, nas quais os elementos elétricos eram integrados de maneira funcional às estruturas tridimensionais, evidenciando não apenas a compreensão conceitual, mas também a capacidade de aplicação prática dos conhecimentos adquiridos.

Além do aspecto conceitual, essa etapa favoreceu o desenvolvimento da criatividade e da expressão individual dos estudantes, alinhando-se aos princípios da abordagem STEAM, que propõe a integração entre ciência e arte como forma de ampliar as possibilidades de aprendizagem (Aguilera e Ortiz-Revilla, 2021). A liberdade para criação permitiu a elaboração de projetos diversos, com diferentes níveis de complexidade, promovendo um ambiente de aprendizagem mais inclusivo e motivador.

Na Figura 4 observa-se exemplos de esculturas desenvolvidas pelos estudantes, nas quais circuitos elétricos com massinha de modelar foram incorporados às estruturas criadas, resultando em objetos tridimensionais com elementos luminosos funcionais.



Figura 4. Exemplos de esculturas desenvolvidas pelos estudantes utilizando massinha de modelar, incorporando circuitos elétricos funcionais com LEDs integrados às estruturas.

A construção das esculturas também reforçou o caráter investigativo da atividade, uma vez que os estudantes frequentemente precisaram testar, ajustar e reconstruir partes de seus circuitos para alcançar o resultado desejado. Esse processo iterativo evidenciou uma dinâmica próxima à prática científica, na qual a formulação de hipóteses, a experimentação e a análise de resultados ocorrem de forma integrada e contínua. Nesse contexto, os estudantes não apenas reproduziram configurações previamente exploradas, mas passaram a mobilizar os conceitos de maneira intencional, tomando decisões baseadas na observação do comportamento dos circuitos.

Além disso, a necessidade de resolver problemas práticos, como garantir o acendimento de múltiplos LEDs ou ajustar a intensidade luminosa em diferentes partes da estrutura, favoreceu a consolidação de relações entre variáveis físicas, como resistência, comprimento e espessura do condutor. Esse tipo de situação contribui para a superação de abordagens fragmentadas do conhecimento, promovendo uma compreensão mais integrada dos fenômenos elétricos.

Sob a perspectiva da abordagem STEAM, a integração entre construção técnica e expressão artística ampliou as possibilidades de engajamento dos estudantes, permitindo que diferentes perfis de aprendizagem fossem contemplados. A liberdade criativa associada à necessidade de funcionamento dos circuitos favoreceu a articulação entre pensamento convergente e divergente, conforme discutido na literatura (Aguilera e Ortiz-Revilla, 2021), ao mesmo tempo em que manteve o rigor conceitual necessário para o funcionamento das estruturas desenvolvidas.

Por fim, a utilização de um material acessível e altamente manipulável, como a massinha de modelar, mostrou-se particularmente relevante para o ensino de eletricidade, pois possibilitou a exploração direta de variáveis físicas de forma visual e tangível. Essa característica contribui para reduzir o nível de abstração associado ao tema, favorecendo a construção de significados a partir da experiência concreta, aspecto apontado como fundamental em abordagens investigativas no ensino de Física (Zuza et al., 2020).

## CONCLUSÃO

A atividade proposta demonstrou ser uma estratégia promissora para o ensino de conceitos fundamentais de eletricidade, ao possibilitar uma abordagem experimental, visual e acessível por meio do uso de massinha de modelar convencional. A utilização de materiais de baixo custo contribuiu para a viabilidade da prática em diferentes contextos educacionais, sem a necessidade de recursos laboratoriais sofisticados.

Os resultados indicam que os estudantes foram capazes de compreender qualitativamente conceitos



como resistência elétrica, caminhos preferenciais da corrente e associação de circuitos, a partir da observação direta e da manipulação dos elementos do circuito. Além disso, a variação da intensidade luminosa dos LEDs mostrou-se um recurso didático eficiente para tornar perceptíveis fenômenos abstratos.

A etapa final, baseada na construção de esculturas, ampliou o alcance da atividade ao integrar aspectos científicos e criativos, promovendo maior engajamento e favorecendo a aplicação dos conceitos em contextos autorais. Dessa forma, a abordagem Maker-STEAM revelou-se adequada para o desenvolvimento simultâneo de conhecimentos conceituais e habilidades criativas.

Esses resultados indicam o potencial da proposta como alternativa didática replicável em diferentes contextos educacionais.

## REFERÊNCIAS

AGUILERA, David; ORTIZ-REVILLA, Jairo. STEM vs. STEAM education and student creativity: a systematic literature review. *Education Sciences*, v. 11, n. 7, p. 331, 2021.

APRILLYA, Sonja Widya et al. Understanding resistivity through inquiry-based learning in physics education. *EduFisika: Jurnal Pendidikan Fisika*, v. 10, n. 2, p. 324–332, 2025.

BERNHARD, Jonte; CARSTENSEN, Anders K. Understanding of basic concepts in electricity among engineering students. *European Journal of Engineering Education*, v. 27, n. 3, p. 289–301, 2002.

KIM, Minchul; HA, Sangwoo. Challenging modeling for Ohm's law through open-ended in-depth inquiry. *Science & Education*, v. 33, p. 1005–1032, 2024.

MOODLEY, Tershia; GAIGHER, Ethel. Teaching electric circuits: teachers' perceptions and learners' misconceptions. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, v. 21, n. 1, p. 37–48, 2017.

PEPLER, Kylie; WOHLWEND, Karen; KEUNE, Anna; THOMPSON, Nick. Squishy circuits: circuit building with play dough. *The Science Teacher*, v. 85, n. 2, p. 46–51, 2018.

POLS, C. F. J.; HUT, R. The maker movement in education and physics education. In: *Handbook of Applied Teaching and Learning in Physics*. Delft: TU Delft, 2023.

RODRIGUES-SILVA, Jefferson; ALSINA, Ángel. Conceptualising and framing STEAM education: what is (and what is not) this educational approach?

Texto Livre: Linguagem e Tecnologia, v. 16, e44946, 2023.

WUTTIPROM, Sura et al. Play dough circuits: a tangible and friendly medium for understanding physics. *Journal of Physics: Conference Series*, v. 1380, p. 012150, 2019.

ZUZA, Kristina et al. Towards a research program in designing and evaluating teaching materials: an example from dc resistive circuits in introductory physics. *Physical Review Physics Education Research*, v. 16, n. 2, p. 020149, 2020.