



SOLUÇÕES NUMÉRICAS E SIMULAÇÕES DE CIRCUITOS ELÉTRICOS REAIS: UM PROJETO DE PESQUISA NO ENSINO MÉDIO TÉCNICO.

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2025.6259

Autores: ILCA MARIA FERRARI GHIGGI, RAFAEL DA SILVA PIPPI, GRAZIELLI VASSOLER RUTZ, VITÓRIA ROVERSI GALERA, ISABELY DE OLIVEIRA TREVISAN

Resumo: Este trabalho de iniciação científica foi desenvolvido com estudantes do curso técnico integrado em Desenvolvimento de Sistemas do IFSC - Câmpus Chapecó. O projeto centrou-se na modelagem e resolução de sistemas lineares aplicados a circuitos elétricos reais, integrando conteúdos de matemática, física e eletrônica. Foram utilizados métodos como a Regra de Cramer, eliminação de Gauss e o método de Gauss-Seidel, além de simuladores eletrônicos como PhET, Tinkercad e EveryCircuit. As atividades incluíram medições em laboratório, possibilitando uma análise crítica da aplicação dos métodos teóricos e das simulações em situações reais. Os resultados evidenciam limitações dos modelos matemáticos frente a circuitos reais e destacam o valor dos simuladores digitais para promover uma aprendizagem contextualizada e eficaz, aproximando teoria e prática no ensino técnico.

Palavras-chave: Sistemas Lineares, Circuitos Elétricos, Métodos Numéricos, Simuladores Educacionais, Ensino Técnico, Sistemas Lineares, Circuitos Elétricos, Métodos Numéricos, Simuladores Educacionais, Ensino Técnico.

SOLUÇÕES NUMÉRICAS E SIMULAÇÕES DE CIRCUITOS ELÉTRICOS REAIS: UM PROJETO DE PESQUISA NO ENSINO MÉDIO TÉCNICO.

1 INTRODUÇÃO

O estudo de sistemas de equações lineares integra os conteúdos curriculares dos cursos técnicos integrados ao ensino médio ofertados pelo Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Câmpus Chapecó. No entanto, é comum que os exemplos didáticos utilizados em sala de aula se limitem a sistemas com poucas variáveis e apresentem pouca ou nenhuma conexão com situações reais vivenciadas pelos estudantes. Ainda que temas como circuitos elétricos e modelagem matemática sejam contemplados nas unidades curriculares, raramente são propostos problemas cuja resolução envolva aplicações práticas concretas, como o estudo de redes elétricas presentes em ambientes familiares ou de convivência dos alunos. Além disso, a ênfase no uso da Regra de Cramer — um método pouco eficiente para sistemas maiores — pode dificultar a compreensão conceitual e comprometer a motivação dos estudantes.

Diante desse cenário, foi desenvolvido o projeto *Modelagem Matemática de Circuitos Elétricos com Aplicações de Sistemas Lineares*, aprovado no Edital 01/2024 PIBIC-EM do IFSC. A iniciativa envolveu estudantes do curso técnico em Desenvolvimento de Sistemas integrado ao ensino médio, propondo uma abordagem interdisciplinar que articula conhecimentos de matemática, física, eletrônica e programação. O foco esteve na modelagem matemática de circuitos elétricos reais, montados em laboratório, representados por sistemas lineares. A resolução desses sistemas foi investigada por diferentes métodos numéricos — diretos e iterativos —, tanto manualmente quanto com o uso de ferramentas computacionais. Simuladores como PhET, EveryCircuit e TinkerCad também foram utilizados, cuja eficácia na aprendizagem de circuitos elétricos tem sido corroborada por diversas pesquisas educacionais.

Neste artigo, os principais resultados da pesquisa são apresentados sob o título *Soluções Numéricas e Simulações de Circuitos Elétricos Reais: Um Projeto de Pesquisa no Ensino Médio Técnico*, de forma a refletir os enfoques metodológicos e os aprofundamentos alcançados ao longo do desenvolvimento do trabalho.

A relevância desta iniciativa está na articulação entre teoria e prática por meio da resolução de problemas reais e contextualizados, promovendo a aprendizagem ativa, o pensamento crítico e o desenvolvimento da autonomia intelectual. A pergunta norteadora da pesquisa foi: a solução obtida para a corrente elétrica, por meio de diferentes métodos numéricos aplicados a sistemas lineares modelados a partir de circuitos reais, aproxima-se da solução observada experimentalmente?

Nesse contexto, o projeto se configura como uma experiência concreta de integração entre ensino, pesquisa e extensão, na qual os estudantes atuam como protagonistas do processo investigativo, desenvolvendo competências que transcendem o currículo tradicional e ampliam suas perspectivas acadêmicas e profissionais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E CONTEXTUALIZAÇÃO

O termo "modelo" está relacionado à ideia de uma representação simplificada de um objeto ou fenômeno, que pode ser reproduzido em escala menor ou maior. Na matemática, essa representação é entendida como uma ferramenta para estudar relações entre objetos

abstratos, como números, figuras e funções. Bassanezi (2002) define a modelagem matemática como a arte de transformar problemas da realidade em problemas matemáticos e buscar suas soluções, interpretando-as à luz do mundo real. Para o autor, a modelagem matemática deve seguir etapas bem definidas: experimentação, abstração, resolução, validação, modificação e aplicação.

Inicialmente aplicada em cursos de engenharia a partir da década de 1960, a modelagem matemática foi gradualmente incorporada a outras áreas do conhecimento, inclusive na educação básica. A utilização dessa abordagem favorece a aprendizagem ao permitir que problemas do cotidiano sejam simplificados e transformados em modelos matemáticos, que podem ser analisados, ajustados e aplicados em diferentes contextos. Áreas como Física, Química, Biologia e Engenharia se beneficiam significativamente dessa estratégia, pois ela possibilita uma compreensão mais concreta e profunda dos conteúdos.

Um exemplo de aplicação recorrente da modelagem matemática envolve sistemas de rede, como os circuitos elétricos. Em redes elétricas, os ramos representam fios condutores por onde circula corrente elétrica. O encontro de três ou mais fios forma um nó (ou vértice), e um laço fechado é uma sequência de ramos que começa e termina no mesmo nó. Um dos principais desafios desse tipo de problema é determinar a corrente elétrica em certos ramos, a partir de valores conhecidos em outros.

Para entender o comportamento dos circuitos compostos por resistores e capacitores, Anton e Rorres (2010) comparam o fluxo de corrente elétrica (fluxo de elétrons) ao fluxo de água em canos. O resistor funciona como uma restrição que reduz esse fluxo. Essa pressão elétrica é tecnicamente conhecida como tensão (medida em volts). Utilizando a Lei de Ohm e as Leis de Kirchhoff, é possível construir um sistema de equações lineares que representa matematicamente o comportamento de um circuito elétrico.

A combinação da modelagem matemática com os princípios da eletricidade promove uma abordagem interdisciplinar, conectando teoria e prática de forma significativa. Este projeto foi desenvolvido com estudantes do curso Técnico Integrado em Desenvolvimento de Sistemas, do IFSC – Câmpus Chapecó. Durante o processo investigativo, os discentes participaram ativamente desde a construção dos circuitos até a análise dos resultados. A participação dos estudantes, especialmente dos bolsistas envolvidos, reforça o compromisso com o tripé ensino, pesquisa e extensão, promovendo uma aprendizagem desafiadora e conectada às futuras possibilidades acadêmicas e profissionais dos alunos.

2.1 Simuladores computacionais no ensino de circuitos elétricos

A utilização de simuladores computacionais tem ganho destaque como ferramenta pedagógica no ensino de conceitos de eletricidade, principalmente por proporcionar uma aprendizagem mais visual, interativa e segura. Esses recursos permitem a montagem de circuitos e a observação do comportamento dos componentes em tempo real, favorecendo a experimentação e o desenvolvimento da intuição científica.

No contexto deste projeto, foram utilizados três simuladores on-line com finalidades educacionais distintas: o PhET, o TinkerCad e o EveryCircuit. O PhET Interactive Simulations, desenvolvido pela Universidade do Colorado, destaca-se pela sua interface amigável e pelo foco em simulações conceituais, sendo gratuito e acessível. Estudos indicam que sua aplicação contribui para uma melhor compreensão dos fenômenos elétricos e facilita a aprendizagem ativa, promovendo o envolvimento dos estudantes com o conteúdo de forma lúdica e significativa (FEITOSA; LAVOR, 2020; CRISTO et al., 2024).

O TinkerCad Circuits, por sua vez, é uma plataforma desenvolvida pela Autodesk que alia design em 3D à simulação de circuitos elétricos analógicos e digitais. Sua capacidade de representar circuitos reais com diferentes componentes e permitir a visualização do comportamento dos sinais torna-o particularmente útil para a

experimentação prática. Sua aplicação no ensino remoto também tem se mostrado eficaz, especialmente no contexto da pandemia, em que substituiu com sucesso parte das atividades de laboratório (DOS SANTOS; DOS SANTOS, 2023).

Já o EveryCircuit se diferencia pela animação contínua do comportamento do circuito em tempo real, permitindo uma visualização mais dinâmica da circulação da corrente e da atuação dos componentes. Embora sua versão completa seja paga, trata-se de uma ferramenta didática relevante, que complementa os outros simuladores ao enfatizar aspectos visuais do funcionamento elétrico. A literatura aponta que a combinação dessas plataformas amplia a compreensão dos estudantes, favorecendo a aprendizagem interdisciplinar e o desenvolvimento de habilidades investigativas (MADANI et al., 2023).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O desenvolvimento deste projeto seguiu uma abordagem prática e interdisciplinar, com base em estratégias investigativas orientadas à aprendizagem baseada em problemas e à integração entre teoria e prática. O trabalho envolveu estudantes do curso técnico integrado em Desenvolvimento de Sistemas do IFSC – Câmpus Chapecó, atuando como bolsistas de iniciação científica.

Inicialmente, os participantes foram introduzidos aos objetivos e à relevância do projeto, assim como aos fundamentos da modelagem matemática e sua aplicação em áreas como física e engenharia. Em seguida, os estudantes revisaram os conceitos fundamentais sobre circuitos elétricos, com ênfase nas Leis de Ohm e Kirchhoff, e sobre sistemas de equações lineares, abordando tópicos como matrizes, variáveis, termos independentes e métodos de resolução.

A aplicação dos conceitos foi realizada a partir da modelagem e análise de circuitos didáticos de duas e três malhas, com base em exemplos da literatura educacional. Esses sistemas foram resolvidos por métodos numéricos diretos e iterativos, como a Regra de Cramer, Eliminação de Gauss e o método de Gauss-Seidel, primeiramente de forma manual e depois com auxílio do software Octave.

Posteriormente, os estudantes participaram da modelagem matemática de circuitos elétricos reais montados em laboratório, elaborando os sistemas de equações correspondentes. As soluções obtidas foram confrontadas com simulações computacionais realizadas nas plataformas PhET, TinkerCad e EveryCircuit. A escolha dessas ferramentas se deu com base em critérios como acessibilidade, usabilidade e fidelidade na representação dos fenômenos elétricos.

Os dados provenientes das simulações e das medições experimentais foram analisados comparativamente, considerando a fidelidade dos modelos matemáticos frente ao comportamento dos sistemas reais. Essa análise crítica permitiu discutir as limitações dos métodos tradicionais e a importância da validação empírica na formação técnica.

Por fim, os resultados foram sistematizados em relatórios, artigos e apresentações, promovendo a socialização do conhecimento em eventos científicos e reforçando a indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão no contexto do ensino médio técnico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O desenvolvimento das etapas propostas neste projeto promoveu uma vivência significativa dos conceitos matemáticos e físicos envolvidos, resultando em uma aprendizagem contextualizada e interdisciplinar. Ao longo das atividades, os estudantes ampliaram sua compreensão sobre modelagem matemática, métodos numéricos e simulação computacional, demonstrando progresso tanto conceitual quanto prático.

Durante a resolução de circuitos elétricos didáticos, os estudantes mostraram domínio na construção dos sistemas de equações lineares, utilizando com êxito métodos como a Regra de Cramer, Eliminação de Gauss e o Método de Gauss-Seidel. As soluções obtidas foram consistentes entre os métodos analíticos, numéricos e computacionais, validando a eficácia da proposta didática inicial.

Contudo, ao aplicar os mesmos métodos aos circuitos reais montados em laboratório, observou-se um comportamento distinto. Em vários casos, os algoritmos iterativos, especialmente o método de Gauss-Seidel, não convergiram ou apresentaram resultados incompatíveis com as medições experimentais e as simulações em Tinkercad e PhET. Esse comportamento indicou a presença de sistemas mal condicionados, ou seja, sistemas em que pequenas variações nos dados podem levar a grandes alterações nas soluções, comprometendo a estabilidade numérica dos métodos.

Esse contraste evidenciou a limitação dos modelos simplificados presentes na literatura didática e a importância de validar empiricamente os modelos matemáticos quando aplicados a sistemas reais. A divergência entre os resultados teóricos e práticos gerou reflexões sobre a adequação dos métodos utilizados e a necessidade de critérios para escolha do método de resolução conforme o tipo de circuito.

A análise crítica realizada pelos estudantes destacou aspectos fundamentais da modelagem: a interpretação física das soluções, a confiabilidade dos métodos e o impacto de fatores externos, tolerâncias dos componentes e ruídos de medição — nos resultados experimentais. Essa vivência despertou nos alunos maior interesse por conteúdos de matemática e física ao perceberem sua aplicação concreta em problemas reais.

O uso dos simuladores digitais teve papel fundamental no processo. Ferramentas como PhET, Tinkercad e EveryCircuit facilitaram a visualização de fenômenos elétricos, tornando o aprendizado mais acessível e interativo. As bolsistas realizaram uma análise comparativa dos três simuladores, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Comparativo entre os simuladores utilizados na pesquisa.

Simulador	Acesso	Interface/ Usabilidade	Recursos Didáticos	Limitações	Indicado para
EveryCircuit	Pago (versão gratuita limitada)	Intuitiva, com animações em tempo real	Simulação dinâmica e visual de fenômenos elétricos	Acesso completo condicionado à assinatura	Demonstrações interativas e visualmente atrativas
PhET	Gratuito	Muito simples e acessível	Ênfase em causa e consequência, ideal para iniciantes	Funcionalidades limitadas para circuitos complexos	Introdução a conceitos básicos de eletricidade
TinkerCad	Gratuito (via navegador)	Intuitiva, baseada em montagem por blocos	Permite simulações analógicas e digitais mais robustas	Requer cadastro e conexão constante à internet	Projetos didáticos com maior liberdade de montagem

Fonte: Dados organizados pelas bolsistas a partir da análise realizada durante a pesquisa (2024/2025).

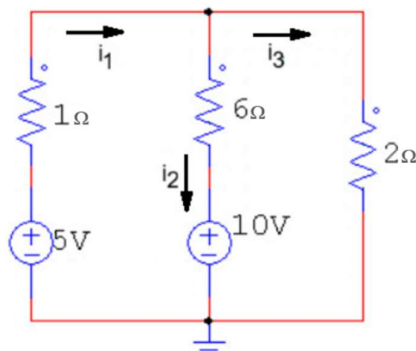
A partir dessa análise, PhET e Tinkercad foram os mais utilizados nas atividades práticas por sua acessibilidade e adequação ao contexto educacional. A seguir, apresentam-se três exemplos numéricos que ilustram o desempenho dos métodos diretos e iterativos comparados às simulações e medições em laboratório.

As tabelas e figuras correspondentes foram organizadas por exemplo para facilitar a compreensão comparativa entre os diferentes métodos, simuladores e medições reais. Cada caso permite analisar o comportamento numérico e experimental em diferentes

condições de complexidade dos circuitos, evidenciando os limites e potencialidades das abordagens didáticas e computacionais adotadas no projeto.

Exemplo 1 – circuito elétrico didático com três malhas – Circuito A

Figura 1 – Representação do Circuito A.



Fonte: Circuito montado pelos professores vinculados a pesquisa.

Neste primeiro exemplo, um circuito didático foi modelado por um sistema linear 3x3, o qual pode ser observado no Sistema (1).

$$\left\{ \begin{array}{l} 5 - 1i_1 - 6i_2 - 10 = 0 \\ 10 + 6i_2 - 2i_3 = 0 \\ i_1 = i_2 + i_3 \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 1i_1 + 6i_2 + 0.i_3 = -5 \\ 0.i_1 - 6i_2 + 2i_3 = 10 \\ i_1 - i_2 - i_3 = 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

As correntes foram calculadas utilizando Regra de Cramer, Eliminação de Gauss, Gauss-Seidel e simuladas nos ambientes PhET e Tinkercad. Todas as abordagens produziram resultados idênticos, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados obtidos para o Circuito A.

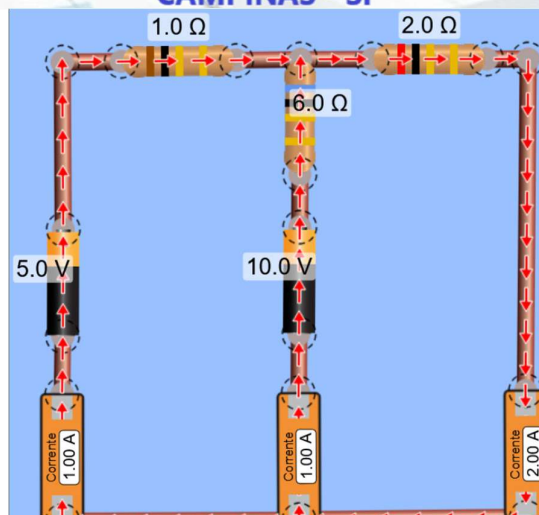
Método	i_1 (mA)	i_2 (mA)	i_3 (mA)
Cramer	1,00	-1,00	2,00
Gauss	1,00	-1,00	2,00
Gauss-Seidel	1,00	-1,00	2,00
PhET	1,00	-1,00	2,00
Tinkercad	1,00	-1,00	2,00

Fonte: Dados organizados pelas bolsistas a partir dos testes realizados durante a pesquisa (2024/2025).

A igualdade nos resultados reforça a boa condição numérica do sistema e a confiabilidade dos métodos adotados. A interpretação correta do sentido da corrente, em relação ao referencial usado na modelagem, foi essencial para validar os dados obtidos.

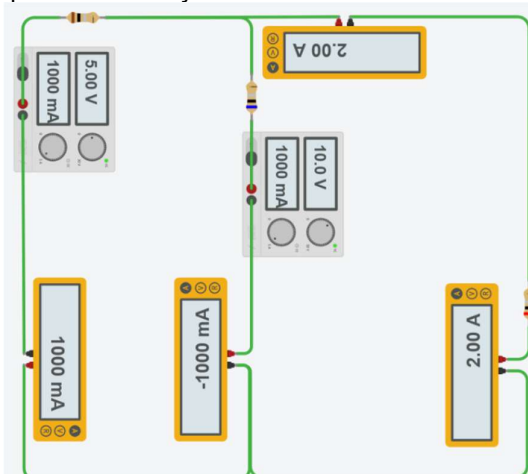
Nas Figuras 2 e 3, apresentam-se as simulações em PhET e TinkerCad.

Figura 2 – Simulação realizada com o PhET para determinação das correntes do Circuito A.



Fonte: Prints da tela da simulação durante a realização dos experimentos da pesquisa (2024/2025).

Figura 3 – Simulação realizada com o TinkerCad para determinação das correntes do Circuito A.



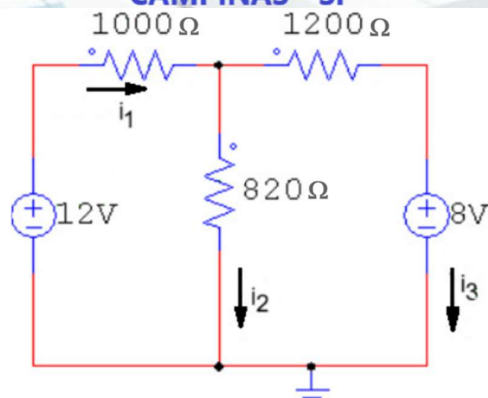
Fonte: Prints da tela da simulação durante a realização dos experimentos da pesquisa (2024/2025).

Se observar a Figura 2, a corrente indicada no amperímetro do ramo central dá impressão que está com sinal errado, porém, deve-se observar o sentido da corrente, que é contrário ao sentido utilizado na modelagem no sistema, conforme indicado na Figura 1.

O sucesso desse exemplo confirma a eficácia da metodologia no contexto pedagógico.

Exemplo 2 – circuito real com três malhas – experiência em laboratório – Circuito B.

Figura 4 – Representação do Circuito B.



Fonte: Circuito montado pelos professores vinculados a pesquisa.

Para o circuito B, o modelo matemático pode ser representado pelo Sistema (2):

$$\begin{cases} 12 - 1000i_1 - 820i_2 = 0 \\ 820i_2 - 1200i_3 - 8 = 0 \\ i_1 = i_2 + i_3 \end{cases} \quad \begin{cases} 1000i_1 + 820i_2 + 0 \cdot i_3 = -12 \\ 0 \cdot i_1 + 820i_2 - 1200i_3 = 8 \\ i_1 - i_2 - i_3 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

As correntes foram calculadas utilizando os métodos de Cramer, Eliminação de Gauss, Gauss-Seidel, e foram comparadas com os valores obtidos nos simuladores PhET, Tinkercad e nas medições com amperímetros em bancada.

Tabela 2 – Resultados obtidos para o Circuito B.

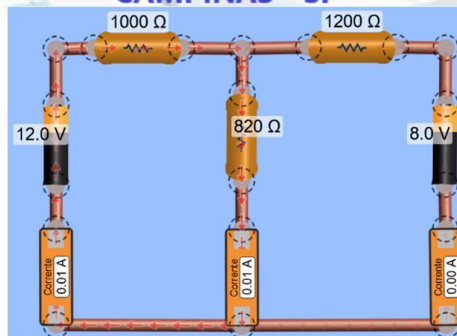
Método	i_1 (A)	i_2 (A)	i_3 (A)
Cramer	$-1,03 \times 10^{-2}$	$-2,13 \times 10^{-3}$	$-8,12 \times 10^{-3}$
Gauss	$-4,15 \times 10^{-2}$	$3,59 \times 10^{-2}$	$1,79 \times 10^{-2}$
Gauss-Seidel	$-1,03 \times 10^{-2}$	$2,13 \times 10^{-3}$	$-8,12 \times 10^{-3}$
PhET	$10,00 \times 10^{-3}$	$10,00 \times 10^{-3}$	$0,00 \times 10^{-3}$
Tinkercad	$5,89 \times 10^{-3}$	$7,46 \times 10^{-3}$	$-1,57 \times 10^{-3}$
Laboratório	$5,81 \times 10^{-3}$	$7,51 \times 10^{-3}$	$-1,57 \times 10^{-3}$

Fonte: Dados organizados pelas bolsistas a partir dos testes realizados durante a pesquisa (2024/2025).

Observa-se que os valores obtidos experimentalmente em laboratório foram muito próximos daqueles gerados pelo simulador Tinkercad, reforçando sua precisão em condições reais. Por outro lado, os métodos de Cramer e Gauss-Seidel, embora coerentes entre si, apresentaram discrepância significativa em relação às medições reais, o que indica a presença de mal condicionamento no sistema. O simulador PhET, por sua vez, mostrou limitações em sua capacidade de resolução, especialmente pela baixa sensibilidade dos instrumentos de medição embutidos, que registram alterações apenas a cada 10 mA.

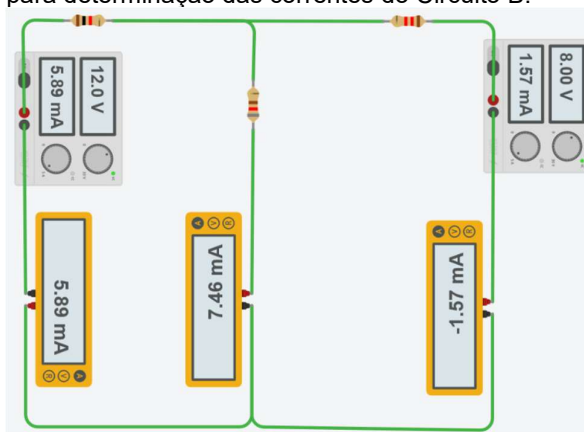
As Figuras 5, 6 e 7 ilustram, respectivamente, a simulação em PhET, a simulação em Tinkercad e o experimento de bancada, com as respectivas leituras dos amperímetros.

Figura 5 – Simulação realizada com o PhET para determinação das correntes do Circuito B.



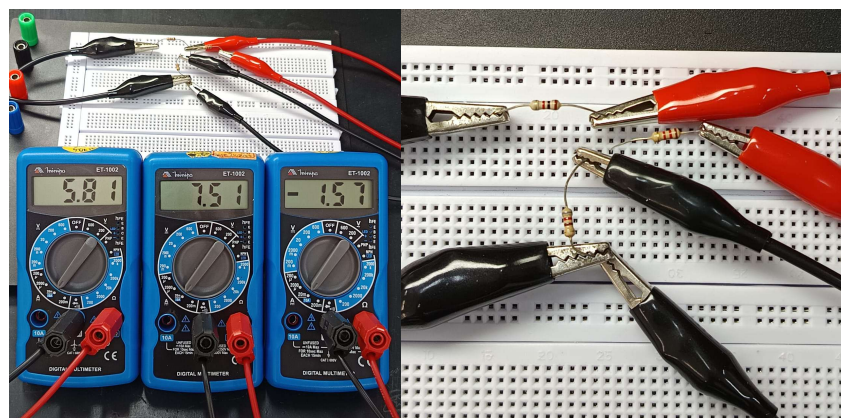
Fonte: Prints da tela da simulação durante a realização dos experimentos da pesquisa (2024/2025).

Figura 6 – Simulação realizada com o TinkerCad para determinação das correntes do Circuito B.



Fonte: Prints da tela da simulação durante a realização dos experimentos da pesquisa (2024/2025).

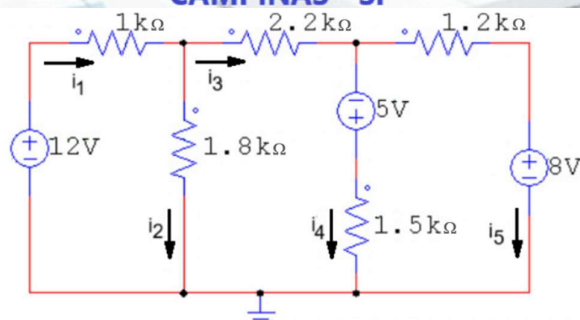
Figura 7 – Experimento realizado em laboratório pelos estudantes para determinação das correntes do Circuito B.



Fonte: Fotos tiradas pelos bolsistas durante a realização dos experimentos da pesquisa (2024/2025)

Exemplo 3 – circuito real com cinco malhas – experiência em laboratório – Circuito C.

Figura 8 – Representação do Circuito C.



Fonte: Circuito montado pelos professores vinculados a pesquisa

O circuito C, montado em laboratório, foi representado pelo Sistema (3):

$$\left\{ \begin{array}{l} +12 - 1000i_1 - 1800i_2 = 0 \\ 1800i_2 - 2200i_3 + 5 = 0 \\ 1500i_4 - 5 - 1200i_5 - 8 = 0 \\ i_1 = i_2 + i_3 \\ i_3 = i_4 + i_5 \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} 1000i_1 + 1800i_2 + 0i_3 + 0i_4 + 0i_5 = 12 \\ 0i_1 + 1800i_2 - 2200i_3 + 0i_4 + 0i_5 = -5 \\ 0i_1 + 0i_2 + 0i_3 + 1500i_4 - 1200i_5 = 13 \\ i_1 - i_2 - i_3 = 0 \\ i_3 - i_4 - i_5 = 0 \end{array} \right. \quad (3)$$

Neste terceiro exemplo, foi analisado um circuito real mais complexo, com cinco malhas, modelado por um sistema linear 5x5. As correntes foram calculadas utilizando os métodos de Cramer e Gauss-Seidel, e comparadas com os valores obtidos em simulação no Tinkercad e medições em laboratório. O simulador PhET não pôde ser utilizado neste exemplo por limitações técnicas de montagem.

Tabela 3 – Resultados obtidos para o Circuito C.

Método	i_1 (A)	i_2 (A)	i_3 (A)	i_4 (A)	i_5 (A)
Cramer	-5,9764	3,3130	2,7106	3,4269	4,2837
Gauss-Seidel	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
Tinkercad	$5,29 \times 10^{-3}$	$3,73 \times 10^{-3}$	$1,56 \times 10^{-3}$	$5,51 \times 10^{-3}$	$-3,59 \times 10^{-3}$
Laboratório	$5,23 \times 10^{-3}$	$3,70 \times 10^{-3}$	$1,61 \times 10^{-3}$	$5,56 \times 10^{-3}$	$-3,95 \times 10^{-3}$

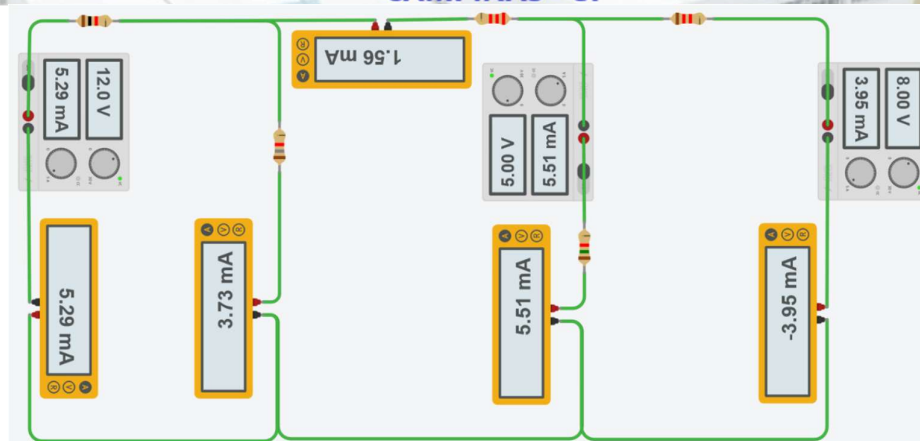
Fonte: Dados organizados pelas bolsistas a partir dos testes realizados durante a pesquisa (2024/2025).

Os resultados obtidos mostram que, para circuitos mais complexos, o método de Gauss-Seidel não conseguiu convergir, evidenciando limitações na aplicação de métodos iterativos em sistemas mal condicionados. A Regra de Cramer, apesar de fornecer uma solução, apresentou resultados significativamente diferentes dos observados em laboratório e nas simulações, o que também aponta para problemas numéricos decorrentes do condicionamento da matriz.

As simulações no Tinkercad e os valores obtidos experimentalmente apresentaram boa concordância, reforçando a confiabilidade dessa ferramenta como apoio ao ensino e à validação prática de circuitos reais. Pequenas diferenças entre os valores podem ser atribuídas às tolerâncias dos componentes físicos ($\pm 5\%$) utilizados nos experimentos.

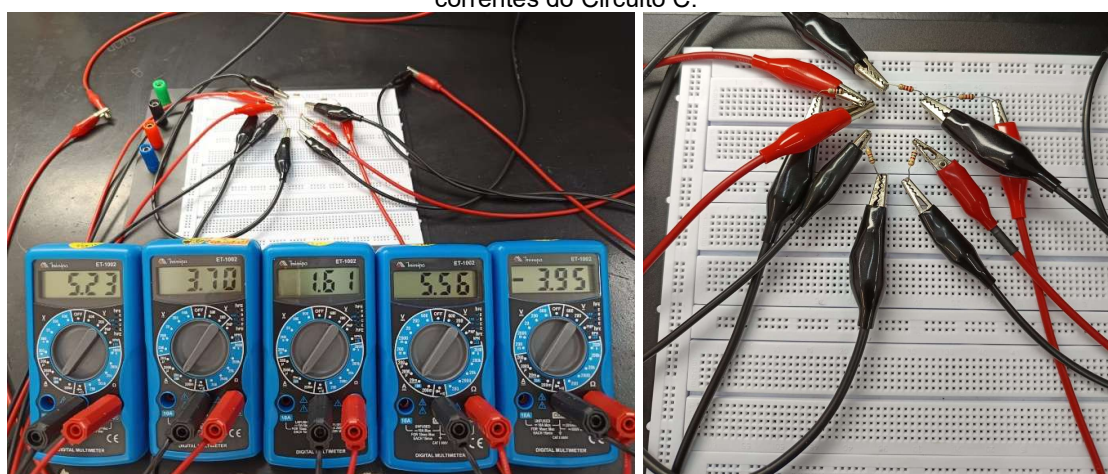
As Figuras 8, 9 e 10 ilustram a montagem do circuito real em laboratório e os resultados das simulações no Tinkercad para este circuito de cinco malhas.

Figura 9 – Simulação realizada com o TinkerCad para determinação das correntes do Circuito C.



Fonte: Prints da tela do computador tiradas pelos bolsistas durante a realização dos experimentos da pesquisa (2024/2025).

Figura 10 – Experimento realizado em laboratório pelos estudantes para determinação das correntes do Circuito C.



Fonte: Fotos tiradas pelos bolsistas durante a realização dos experimentos da pesquisa (2024/2025)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento deste projeto evidenciou a relevância da modelagem matemática no contexto educacional, especialmente no que se refere à sua aplicação na resolução de sistemas lineares. A experiência prática revelou que, embora os métodos estudados tenham se mostrado eficazes em situações didáticas simplificadas, sua aplicação em circuitos elétricos reais apresentou limitações importantes.

Os resultados demonstraram que as modelagens matemáticas tradicionais não foram suficientemente robustas para lidar com as particularidades dos sistemas reais, com a possibilidade da presença de matrizes mal condicionadas. Essa constatação evidenciou o distanciamento existente entre os exemplos frequentemente utilizados em sala de aula e a complexidade dos problemas encontrados na prática.

Ainda que o objetivo inicial de desenvolver um algoritmo plenamente funcional para todos os casos não tenha sido totalmente alcançado, o projeto gerou aprendizados significativos. A identificação das limitações dos métodos aplicados foi, em si, um dos principais achados da pesquisa, estimulando uma reflexão crítica sobre a fidelidade dos modelos e os critérios de escolha das técnicas numéricas.

O projeto cumpriu seu papel ao promover uma abordagem interdisciplinar da matemática, conectando-a com a engenharia elétrica por meio de experimentações e simulações. Além disso, contribuiu para o amadurecimento dos estudantes, que passaram a compreender não apenas os conteúdos teóricos, mas também os desafios da aplicação desses conhecimentos em contextos reais.

A experiência adquirida serve como base para novas investigações e para o aprimoramento de práticas pedagógicas voltadas ao ensino de sistemas de equações lineares, reforçando a importância de aliar teoria e prática no processo formativo. Futuras pesquisas poderão explorar algoritmos mais robustos, métodos adaptativos e modelos mais aderentes à realidade física dos sistemas elétricos.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa contou com fomento do CNPq, no âmbito do Programa PIBIC-EM, destinado ao incentivo à iniciação científica de estudantes do ensino médio

REFERÊNCIAS

ANTON, Howard; RORRES, Chris. **Álgebra linear com aplicações**. 10. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BASSANEZI, Rodney Carlos. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática**. São Paulo: Contexto, 2002.

CRISTO, Timóteo Orlando Paulo et al. O uso do PhET como opção didática para o ensino dos circuitos elétricos (Moçambique). **Revista Educação e Humanidades**, Manaus, v. 5, n. 1, p. 124-137, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/reh/article/download/14146/9039/38240>. Acesso em: 3 setembro 2024.

FEITOSA, Murilo Carvalho; LAVOR, Otávio Paulino. Ensino de circuitos elétricos com auxílio de um simulador do PhET. **REAMEC – Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, Cuiabá, v. 8, n. 1, p. 125-138, 2020. Disponível em: <https://portal.amelica.org/ameli/journal/437/4372757009/html/>. Acesso em: 3 setembro 2024.

MADANI, Frederico Silveira et al. Simuladores de circuitos elétricos: combinação para uma maior eficácia no ensino-aprendizagem. **Engenharia, Gestão e Inovação**, v. 12, p. 38-47, 2023. Disponível em: https://poisson.com.br/livros/engenharia/gestao_inovacao/volume12/Engenharia_Gestao_vol12.pdf#page=38. Acesso em: 3 setembro 2024.

SANTOS, Priscila Valdênia dos; SANTOS, Daniel de Jesus Melo dos. **O ensino remoto de física experimental: um relato de experiência da utilização do TinkerCad para uma aprendizagem significativa de circuitos elétricos**. 2023. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/370387119>. Acesso em: 3 setembro 2024.



NUMERICAL APPROACHES AND SIMULATIONS OF REAL ELECTRICAL CIRCUITS: A RESEARCH PROJECT IN THE INTEGRATED TECHNICAL COURSE

Abstract: This research project for undergraduate students was carried out with participants enrolled in the Integrated Technical Course in Systems Development at IFSC – Campus Chapecó. The project focused on modeling and solving linear systems applied to real electrical circuits, integrating concepts from mathematics, physics, and electronics. Traditional methods for solving linear systems – including Cramer's rule, Gaussian elimination, and the Gauss–Seidel method – were employed, along with electronic simulation tools such as PhET, Tinkercad, and EveryCircuit. The Experimental activities included laboratory measurements, enabling for a critical analysis of the applicability of theoretical methods and simulations in real-world scenarios. The results highlight the limitations of traditional models when applied to real circuits and underscore the pedagogical value of digital simulators in promoting more contextualized and effective learning.

Keywords: Linear Systems, Electrical Circuits, Numerical Methods, Educational Simulators, Technical Education.

