



HASLETT: SIMULADOR EM REALIDADE VIRTUAL PARA PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM SUBESTAÇÕES ABRIGADAS DE 13.8KV

Emerson Leão Brito do Nascimento –
Fundação Matias Machline – eng.emersonleobrito@gmail.com
Gabrielly Ferreira Cavalcante – Fundação Matias Machline – gabrielly.230911@fmm.org.br

Eixo 01

RESUMO: O projeto desenvolve um simulador em realidade virtual (RV) voltado ao ensino seguro e eficiente de procedimentos operacionais em subestações elétricas abrigadas de 13,8 kV. Dados divulgados pela Associação Brasileira de Conscientização sobre os Perigos da Eletricidade (Abracopel) indicam um aumento de 11% em 2024 nos acidentes relacionados a choques elétricos e incêndios provocados por sobrecarga de energia, em relação ao ano anterior. Diante desse cenário, a necessidade de treinamentos seguros e eficazes torna-se ainda mais urgente. O objetivo do projeto é desenvolver um simulador que possibilite treinamentos de manutenção em subestações abrigadas de 13,8 kV utilizando realidade virtual. A metodologia inclui o levantamento de normas técnicas, como NR-10 e NR-12, e de manuais operacionais utilizados em cursos técnicos e superiores. Com base nesse referencial, foram iniciadas a modelagem tridimensional dos equipamentos e a construção do ambiente simulado por meio dos softwares Unity, Solid Edge, Figma e Visual Studio Code. O simulador busca representar fielmente as etapas de desenergização, reenergização e análise de risco, permitindo que o usuário execute as tarefas com orientação interativa, sem exposição a perigos reais. Testes iniciais indicam que o ambiente imersivo contribui para maior compreensão dos procedimentos, favorece o aprendizado prático e aumenta o engajamento dos estudantes. A conclusão preliminar aponta que o simulador tem potencial para ampliar a formação técnica em segurança elétrica e reduzir falhas por despreparo durante manutenções reais.

Palavras-chave: Realidade virtual; Subestação elétrica; Segurança do trabalho; Subestação abrigada.

INTRODUÇÃO

A motivação que orienta este estudo fundamenta-se na necessidade premente de aprofundar a formação prática de profissionais da área elétrica, especialmente em um contexto marcado pelo aumento de acidentes em subestações e pela complexidade operacional dessas instalações. Dados recentes da Associação Brasileira de Conscientização sobre os Perigos da Eletricidade (Abracopel) indicam um crescimento de 11% em 2024 nos acidentes relacionados a choques elétricos e



incêndios provocados por sobrecarga de energia, em comparação ao ano anterior, evidenciando a vulnerabilidade de profissionais diante de procedimentos críticos mal treinados. Pesquisas em segurança elétrica também apontam que grande parte dos incidentes ocorre devido ao despreparo técnico, à falta de experiência prática e à limitada exposição a cenários de risco durante a formação profissional.

O ensino técnico e superior na área elétrica enfrenta desafios recorrentes relacionados à escassez de ambientes de prática seguros, à complexidade dos equipamentos e aos altos custos operacionais, que dificultam a realização de treinamentos práticos adequados. Estudos recentes (Silva et al., 2022; Souza, 2023) indicam que a ausência de experiências imersivas e de simulações realísticas está diretamente associada a falhas operacionais e acidentes, reforçando a necessidade de soluções pedagógicas inovadoras que permitam aos estudantes vivenciar procedimentos críticos sem riscos reais.

Dante desse cenário, o presente estudo tem como objetivo desenvolver um simulador em realidade virtual para treinamentos de manutenção em subestações elétricas abrigadas de 13,8 kV, com foco na prática segura, na familiarização com protocolos de desenergização e reenergização. Mais do que uma ferramenta tecnológica, o projeto busca preencher uma lacuna educacional e operacional significativa, proporcionando aos futuros profissionais a oportunidade de adquirir experiência prática de forma segura, interativa e repetível, minimizando erros e aumentando a segurança no ambiente real de trabalho.

A relevância da investigação se dá não apenas pelo impacto na segurança elétrica, mas também pelo contributo direto para a formação técnica e para a prevenção de acidentes, aspectos estratégicos para a consolidação de uma cultura profissional mais segura e eficiente. Ao explorar oportunidades, limitações e benefícios da aplicação de simuladores virtuais em treinamentos, este estudo busca fornecer subsídios para a implementação de práticas pedagógicas inovadoras e



eficazes, fortalecendo a capacitação de profissionais da área elétrica e promovendo maior segurança em subestações de alta tensão.

METODOLOGIA

A pesquisa aqui descrita configura-se como uma investigação aplicada e descriptiva, de caráter tecnológico, cujo objetivo central é desenvolver um simulador em realidade virtual (RV) para o ensino de procedimentos operacionais e de segurança em subestações elétricas abrigadas de 13,8 kV. A abordagem metodológica integrada envolveu análise documental, entrevistas com especialistas, modelagem tridimensional, programação interativa e testes com usuários, visando a construção de um protótipo funcional e alinhado às normas de segurança do setor elétrico.

A pesquisa foi estruturada em cinco etapas complementares. Na primeira etapa, realizou-se o levantamento de normas técnicas, manuais operacionais, artigos acadêmicos e publicações recentes (2020–2025) relacionados à operação e manutenção de subestações elétricas. Entre os documentos analisados destacam-se: NR-10 e NR-12, que estabelecem diretrizes de segurança do trabalho em instalações elétricas; e o Manual Técnico da Amazonas Energia (MPN-DC-01/NDEE-01, 2024), que apresenta o diagrama de subestação abrigada com ramal de entrada subterrâneo e derivação subterrânea em 13,8 kV (Desenho 9A), utilizado como referência para a modelagem dos equipamentos e roteiros virtuais. O objetivo dessa etapa foi sistematizar os procedimentos formais e de segurança, garantindo que o simulador reproduzisse fielmente práticas adotadas no campo e atendesse às exigências normativas.

Na segunda etapa, foram definidos os experimentos a serem simulados, com foco nas operações de desenergização e reenergização. A estrutura das atividades foi delineada a partir da integração entre a análise documental e entrevistas semiestruturadas com profissionais da área elétrica, detalhando a sequência



operacional, os dispositivos manipuláveis e os critérios de conclusão de cada procedimento. Esse mapeamento permitiu a construção de roteiros pedagógicos consistentes, próximos da realidade profissional.

A terceira etapa consistiu na modelagem tridimensional do ambiente e dos equipamentos. Foram utilizados os softwares Solid Edge e Blender para criação dos modelos 3D, enquanto a Unity foi empregada como engine gráfica para integração com dispositivos de realidade virtual. Equipamentos como disjuntores, barramentos, painéis de controle e chaves seccionadoras foram desenvolvidos com base em diagramas técnicos, registros fotográficos, vídeos de campo e, principalmente, no Desenho 9A do Manual Técnico da Amazonas Energia (MPN-DC-01/NDEE-01, 2024), garantindo fidelidade dimensional e visual. O ambiente virtual foi planejado para proporcionar imersão e permitir interação intuitiva com os elementos do cenário.

Na quarta etapa, deu-se início à programação das funcionalidades interativas, utilizando Visual Studio Code. Foram implementadas interfaces, menus, orientações e rotinas de operação dos equipamentos virtuais. O simulador permite que o usuário execute procedimentos conforme os roteiros, operando dispositivos de forma guiada. Diferentemente de simuladores com feedback automático, o modelo adotado prevê mediação docente, com professores orientando e avaliando o desempenho dos estudantes.

Na quinta etapa, o simulador passou por testes com estudantes e professores da área elétrica em ambiente controlado. Foram observadas variáveis como usabilidade, clareza dos procedimentos, grau de imersão e dificuldades de navegação, permitindo ajustes e validação do protótipo como recurso didático.

A metodologia adotada, ao integrar análise documental detalhada, modelagem 3D, programação interativa e validação com usuários, proporciona um arcabouço robusto para a construção de um simulador funcional e seguro. Esse enfoque



aplicado permite que o projeto contribua para a redução de falhas operacionais e acidentes em subestações elétricas, enfrentando diretamente o problema do despreparo técnico identificado em dados recentes e pesquisas do setor.

DISCUSSÃO

O desenvolvimento do simulador em realidade virtual para subestações elétricas abrigadas de 13,8 kV representa um avanço significativo na formação de profissionais da área elétrica, oferecendo aprendizado seguro de procedimentos críticos. A análise do protótipo evidencia que a simulação das etapas de desenergização e reenergização permite aos usuários praticar tarefas complexas de manutenção sem exposição a acidentes reais. Esse aspecto é especialmente relevante diante do contexto de acidentes elétricos no Brasil, em que falhas durante a operação representam risco significativo para trabalhadores e estudantes da área elétrica.

A Figura 1 apresenta dados da Abracopel sobre mortes por choque elétrico por profissão em 2024, evidenciando que trabalhadores da construção civil e manutenção, assim como técnicos eletrotécnicos e eletricistas, foram os mais afetados, com 44 e 42 mortes, respectivamente. Estes grupos representam quase 40% das fatalidades registradas. O gráfico reforça a urgência de soluções educativas inovadoras que permitam treinamento seguro e realista, reduzindo falhas operacionais e fortalecendo a cultura de prevenção de acidentes.

Figura 1: Mortes por choque elétrico por profissão no Brasil – 2024.

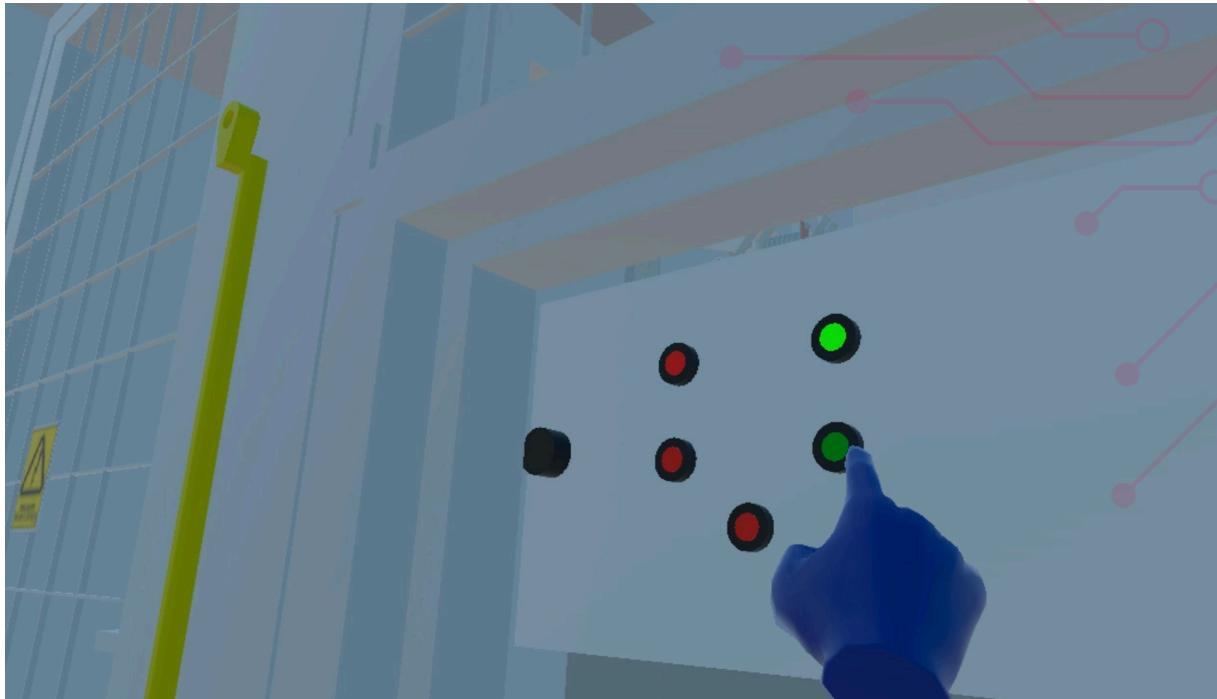


288 mortes (64%) em 448 acidentes. Período: 2024

Fonte: Abracopel, 2024.

A Figura 2 ilustra a manobra de um disjuntor no ambiente virtual do simulador, destacando a fidelidade da modelagem 3D e a interação do usuário com os equipamentos. Cada ação, desde a abertura de painéis até a ativação das alavancas, foi projetada para reproduzir fielmente a operação em campo, de acordo com as normas NR-10, NR-12 e os manuais da Amazonas Energia (MPN-DC-01/NDEE-01, 2024). Essa etapa do treinamento permite que o usuário compreenda a sequência correta de procedimentos e identifique possíveis riscos sem se expor a situações perigosas, promovendo aprendizado seguro e eficaz.

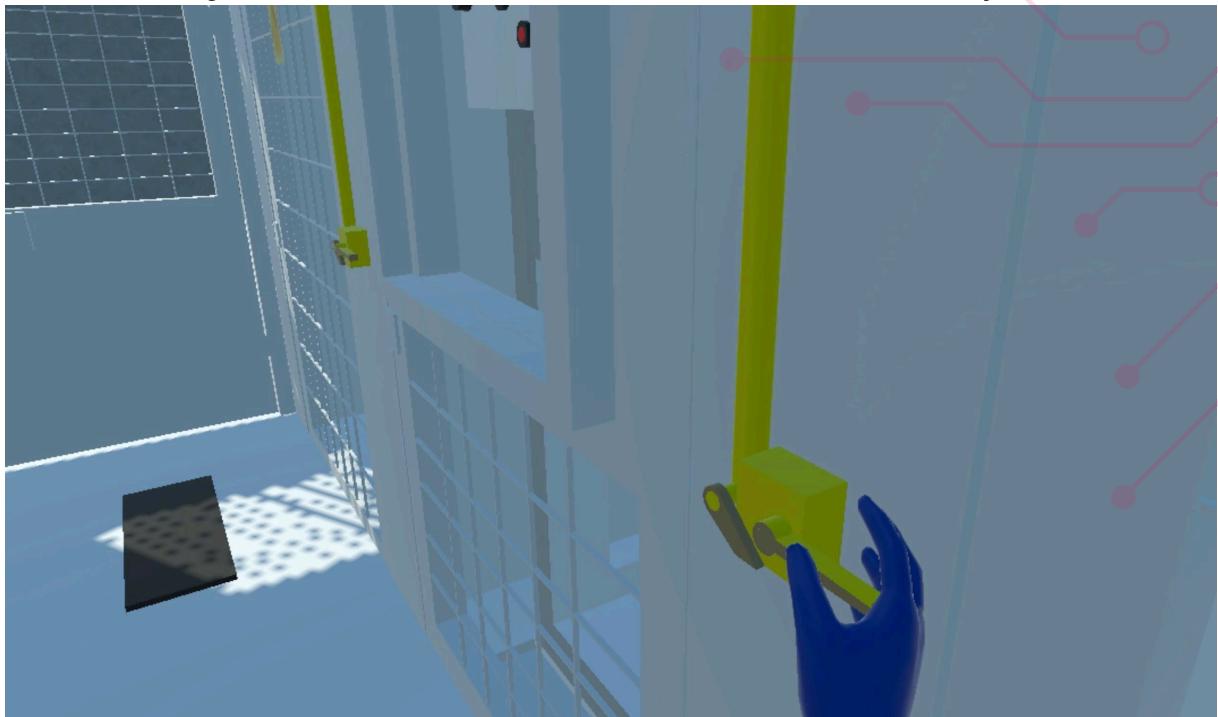
Figura 2: Manobra de disjuntor no simulador de subestação.



Fonte: Autoria própria, 2025.

A Figura 3 mostra a manobra em uma chave seccionadora, outro equipamento crítico na operação de subestações. A simulação permite que o usuário execute a abertura e fechamento da chave seguindo protocolos de segurança, consolidando a prática de procedimentos essenciais antes da aplicação em situações reais. A integração das etapas com os dispositivos de realidade virtual aumenta a imersão, ajuda a fixar o conhecimento e estimula a atenção aos detalhes, elementos cruciais para reduzir incidentes durante a manutenção elétrica.

Figura 3: Manobra na chave seccionadora no simulador de subestação.



Fonte: Autoria própria, 2025.

O simulador, ao reproduzir cenários reais com alto nível de interatividade, contribui para a conscientização sobre os riscos da profissão, engajamento do usuário e retenção de conhecimento técnico. Mesmo sem testes em larga escala, o protótipo demonstra potencial para melhorar a formação prática de estudantes e profissionais, promovendo segurança, cumprimento normativo e preparo operacional. A aplicação da realidade virtual em treinamentos dessa natureza mostra-se uma estratégia inovadora e eficaz para reduzir acidentes elétricos e fortalecer a capacitação no setor.

CONCLUSÕES

Este estudo contribuiu para a compreensão do panorama atual da iniciação científica na educação básica no estado do Amazonas, destacando tanto os avanços recentes quanto os desafios persistentes. A partir do levantamento de produções científicas e da análise de projetos relevantes, evidenciou-se a crescente valorização da pesquisa escolar, impulsionada por parcerias institucionais e pela adoção de



tecnologias aplicadas ao contexto amazônico. A valorização do saber tradicional, associada à inovação tecnológica, reafirma o potencial singular da região para a produção de conhecimento com impacto local e nacional.

Entre as principais limitações deste trabalho, destaca-se a escassez de dados atualizados e sistematizados sobre os programas de iniciação científica em diferentes municípios amazonenses, o que restringiu uma análise mais abrangente e comparativa. Ademais, a dificuldade de acesso a documentos institucionais e indicadores educacionais detalhados comprometeu a profundidade de algumas análises.

Para futuras pesquisas, recomenda-se a realização de estudos de caso em escolas específicas da capital e do interior, com foco na aplicação prática de projetos de iniciação científica e seus impactos no desempenho escolar e no desenvolvimento do pensamento crítico dos estudantes. Além disso, investigações que explorem a formação continuada de professores e as políticas públicas voltadas ao incentivo à pesquisa na educação básica podem oferecer subsídios importantes para o fortalecimento de práticas científicas em ambientes escolares amazônicos.

REFERÊNCIAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Dados sobre acidentes com profissionais do setor elétrico. Relatório 2022.** Brasília: ANEEL, 2022. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 10 set. 2025.

ABRACOPEL – Associação Brasileira de Conscientização para os Perigos da Eletricidade. **Mortes por choque elétrico e profissão – 2024.** Disponível em: <https://www.abracopel.org.br>. Acesso em: 10 set. 2025.

BOWER, Matt et al. **Augmented Reality in education – cases, places and potentials.** Educational Media International, v. 54, n. 1, p. 1–15, 2017. DOI: 10.1080/09523987.2017.1408252.



BOWER, Matt; LEE, Mark J. W.; DALEY, Lisa. **Collaborative learning across physical and virtual worlds: Factors supporting and constraining learners in a blended reality environment.** British Journal of Educational Technology, v. 51, n. 2, p. 351–370, 2020.

CAVALCANTI, Raquel; LIMA, Lucas. **Desafios da inserção da realidade virtual na educação profissional técnica: uma revisão crítica.** Revista Brasileira de Ensino Técnico, v. 6, n. 1, p. 45–58, 2022.

DALGARNO, Barney; LEE, Mark J. W. **What are the learning affordances of 3-D virtual environments?** British Journal of Educational Technology, v. 41, n. 1, p. 10–32, 2010.

DIAS, Aline et al. **Tecnologias imersivas e formação docente: desafios e possibilidades no ensino técnico.** Revista Educação e Realidade, v. 48, n. 2, p. 1–21, 2023.

FONSECA, Daniel et al. **Virtual Reality in Engineering Education: A review.** Computers & Education, v. 179, p. 104429, 2022. DOI: 10.1016/j.compedu.2021.104429.

FONSECA, Daniel et al. **Improving the learning process through interactive environments: empirical evidence in engineering education.** Journal of Educational Computing Research, v. 59, n. 1, p. 85–106, 2021.

FREINA, Laura; OTT, Michela. **A literature review on immersive virtual reality in education: state of the art and perspectives.** In: The International Scientific Conference eLearning and Software for Education. Bucharest: Carol I National Defence University, 2015. p. 133–141.

JENSEN, Line; KONRADSEN, Flemming. **A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training.** Education and Information Technologies, v. 23, p. 1515–1529, 2018.



MERCHANT, Zahira et al. **Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis.** Computers & Education, v. 70, p. 29–40, 2014.

MIKROPOULOS, Tassos A.; NATSIS, Andreas. **Educational virtual environments: A ten-year review of empirical research (1999–2009).** Computers & Education, v. 56, n. 3, p. 769–780, 2011.

RAMALHO, Felipe et al. **Realidade virtual no ensino técnico: análise de simuladores aplicados à eletrotécnica.** Revista Brasileira de Ensino de Ciéncia e Tecnologia, v. 14, n. 2, p. 101–120, 2021.

RADIANTI, Jannicke et al. **A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda.** Computers & Education, v. 147, p. 103778, 2020.

SILVA, Matheus; CARVALHO, Ingrid. **Planejamento pedagógico para uso de simuladores em realidade virtual no ensino técnico: uma análise prática.** Revista Brasileira de Educação Profissional e Tecnológica, v. 4, n. 2, p. 38–54, 2022.

SLATER, Mel; WILBUR, Sylvia. **A framework for immersive virtual environments (FIVE): Speculations on the role of presence in virtual environments.** Presence: Teleoperators & Virtual Environments, v. 6, n. 6, p. 603–616, 1997.

AMAZONAS ENERGIA. **Norma Técnica MPN-DC-01/NDEE-01 – Fornecimento de energia elétrica em média tensão (13,8 kV). Desenho 9A – Subestação abrigada com ramal de entrada subterrâneo e derivação subterrânea em 13,8 kV.** Versão 03, p. 81/112, 2024. RES nº 181/2022, 15 dez. 2022.