

Ambiente Virtual para Visualização de Imagens Esféricas Georreferenciadas de Subestações de Energia Elétrica, associadas com Diagramas Unifilares

Claudemir J. Alves¹, Gabriel F. Cyrino¹, Gerson F. M. de Lima¹,
Edgard A. Lamounier¹, Alexandre Cardoso¹,
Lilian F. Queiroz², Jader A. de Oliveira²

¹ Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
Uberlândia – MG – Brasil

{claudemir.alves, gabrielcyrino, gerson.lima}@ufu.br
{lamounier, alexandre}@ufu.br

²AXIA Energia
Brasília – DF – Brasil

{lilian.queiroz, jader.oliveira}@axia.com.br

Abstract. *Electrical substations require efficient inspection and analysis processes. This work presents ELN360, a virtual environment that integrates georeferenced spherical images, aerial images obtained by drones, orthomosaics, and CAD schematics. The proposal establishes a direct correspondence between the physical configuration of the substation and its single-line diagram, allowing navigation between spatial and logical representations of the system. The results indicate a reduction in equipment identification time and increased safety in maintenance activities.*

Keywords – *Electrical substations, 360° images, UAVs, orthomosaic, virtual navigation.*

Resumo. *Subestações elétricas requerem processos eficientes de inspeção e análise. Este trabalho apresenta o ELN360, um ambiente virtual que integra imagens esféricas georreferenciadas, imagens aéreas obtidas por drones, ortomosaicos e esquemas CAD. A proposta estabelece uma correspondência direta entre a configuração física da subestação e seu diagrama unifilar, permitindo navegação entre representações espaciais e lógicas do sistema. Os resultados indicam redução no tempo de identificação de equipamentos e aumento da segurança nas atividades de manutenção.*

Palavras Chave – *Subestações de energia elétrica, imagens 360°, VANTs, ortomosaico, navegação virtual.*

1. Introdução

Subestações de energia elétrica são elementos essenciais dos sistemas de transmissão e distribuição, responsáveis pela confiabilidade do fornecimento [Cyrino et al. 2023]. A elevada complexidade e os riscos operacionais tornam as inspeções presenciais custosas, desafiadoras e potencialmente perigosas, além de dificultarem a integração entre dados de campo e documentos técnicos [Júnior et al. 2023].

Nesse cenário, tecnologias como imagens esféricas georreferenciadas e Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) possibilitam a visualização imersiva e a geração de ortomosaicos [Cyrino et al. 2023, Liu et al. 2019]. Contudo, a limitada integração com modelos técnicos, como diagramas unifilares e projetos desenvolvidos por meio de sistemas de Projeto Assistido por Computador (*Computer-Aided Design* – CAD), ainda restringe a análise e a tomada de decisão [Mihai et al. 2022].

Este trabalho apresenta o ELN360, um ambiente virtual que integra imagens esféricas, ortomosaicos e esquemas CAD em uma plataforma unificada, permitindo navegação entre o ambiente físico e o modelo lógico e contribuindo para reduzir deslocamentos, agilizar a identificação de ativos e aumentar a segurança operacional [Cyrino et al. 2023].

2. Trabalhos Relacionados

O desenvolvimento de ambientes virtuais para infraestruturas críticas envolve reconstrução fotogramétrica, navegação interativa e integração de dados técnicos.

2.1. Desafios na Reconstrução 3D e Imagens Esféricas

Modelagem digital de subestações enfrenta desafios como interferências eletromagnéticas e lacunas em nuvens de pontos [Júnior et al. 2023]. A fotogrametria por imagens esféricas surge como alternativa eficiente, permitindo ampla cobertura e redução da dependência de modelagem detalhada [Liu et al. 2019].

2.2. VANTs Imagens Aéreas

VANTs consolidaram-se na aquisição de imagens em áreas de difícil acesso, aumentando a segurança [Cyrino et al. 2023]. Imagens esféricas georreferenciadas complementam essa visão, permitindo atualizações rápidas e melhor percepção situacional [Liu et al. 2019].

2.3. Integração entre Dados Lógicos e Espaciais

A associação entre modelos de engenharia e representações visuais é crucial [Jones et al. 2020]. Contudo, a integração direta entre o modelo espacial e a lógica operacional (diagramas unifilares) ainda é pouco explorada [Qiao et al. 2023]. O ELN360 propõe essa integração bidirecional [Cyrino et al. 2023].

3. Sistema Proposto e Desenvolvimento

O sistema proposto consiste no desenvolvimento de um ambiente virtual interativo para visualização, navegação e integração de dados espaciais e técnicos de subestações de energia elétrica, denominado ELN360. A arquitetura foi estruturada de forma modular, abrangendo desde a aquisição dos dados em campo até sua integração em um ambiente digital navegável.

De forma geral, o processo é organizado em quatro etapas principais: aquisição de imagens, processamento dos dados, geração de produtos cartográficos e integração das informações em um ambiente virtual unificado.

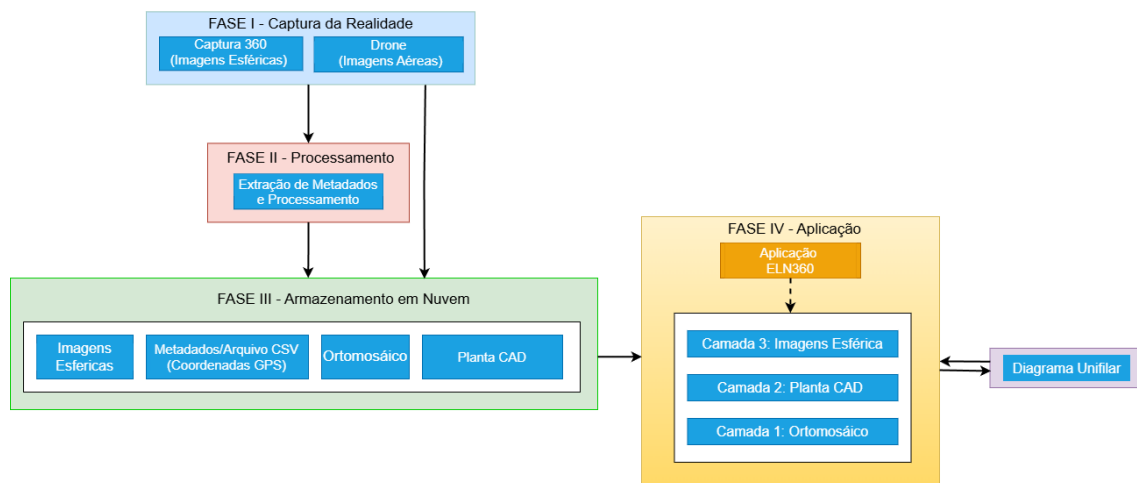


Figura 1. Fluxograma da arquitetura proposta.

3.1. Aquisição de Dados

Coletam-se imagens esféricas em pontos estratégicos e imagens aéreas via VANTs para representar o ambiente físico e garantir continuidade visual na navegação.

3.2. Processamento e Georreferenciamento

Imagens aéreas geram ortomosaicos georreferenciados. Imagens esféricas têm metadados espaciais extraídos para correta localização, assegurando consistência entre as fontes.

3.3. Integração de Dados e Modelos Técnicos

Dados visuais são integrados a desenhos CAD e diagramas unifilares, associando a posição física dos equipamentos às informações técnicas e lógica do sistema.

3.4. Ambiente Virtual ELN360

O sistema adota integração bidirecional entre o diagrama unifilar e o ambiente físico. Marcadores georreferenciados conectam identificadores técnicos aos equipamentos reais. Inclui um modo de edição para associar PDFs de diagramas a marcadores, apoiando inspeção e manutenção em uma arquitetura em camadas.

4. Resultados e Discussão

O ELN360 proporciona visualização unificada, reduzindo a fragmentação de informações. Ortomosaicos permitem localização precisa, enquanto a integração bidirecional facilita a alternância entre visão imersiva e lógica. Avaliações indicam redução no tempo de identificação de ativos e menor esforço cognitivo, aumentando a eficiência e segurança operacional.

De forma geral, o ELN360 contribui para melhorar a visualização e a gestão de ativos, reduzindo deslocamentos em campo e aumentando a eficiência e a segurança nas atividades de inspeção e manutenção.

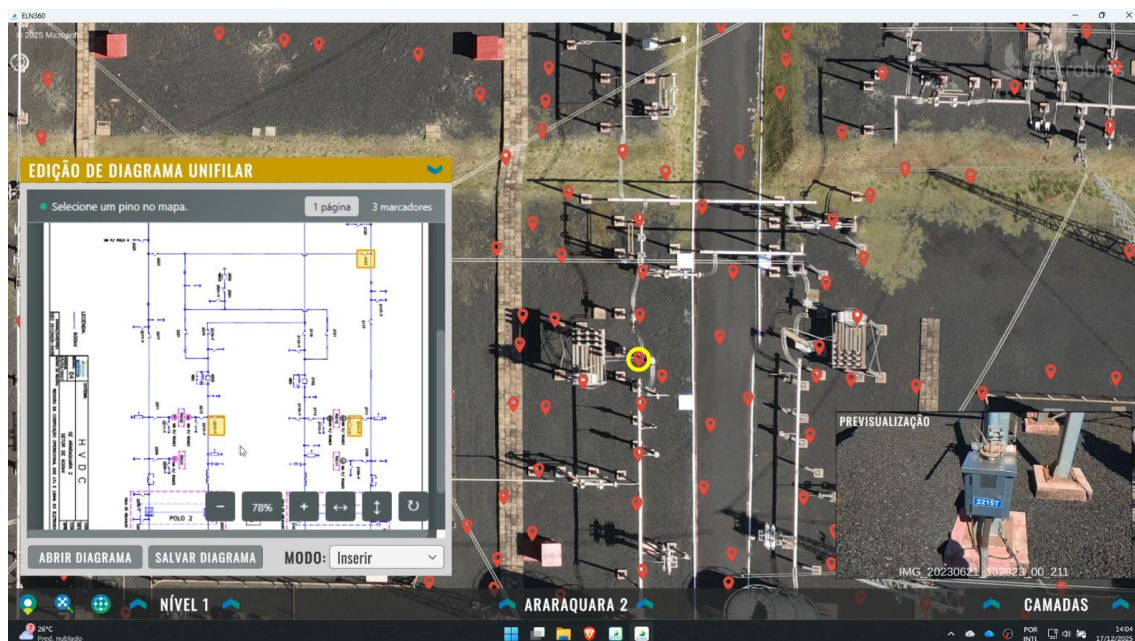


Figura 2. Imagem com diagrama unifilar e marcadores relacionados na subestação.

5. Conclusão e Trabalhos Futuros

Este trabalho apresentou o ELN360, um ambiente virtual interativo para visualização, navegação e integração de dados espaciais e técnicos em subestações de energia elétrica. A solução combina imagens esféricas georreferenciadas, imagens aéreas obtidas por VANTs, ortomosaicos, desenhos CAD e diagramas unifilares em uma arquitetura em camadas, permitindo acesso unificado às informações.

Os resultados indicam que a abordagem é viável e eficaz para apoiar inspeção, manutenção, planejamento e treinamento. A integração entre o ambiente físico e o modelo lógico, por meio da associação entre equipamentos e diagramas unifilares, aprimora a compreensão espacial e a análise operacional.

A navegação baseada em imagens esféricas, aliada a bases cartográficas métricas, reduz a necessidade de deslocamentos em campo, promovendo ganhos de eficiência e segurança.

Como trabalhos futuros, destacam-se o uso de sensores de detecção e medição de distâncias por luz (*Light Detection and Ranging* – LiDAR), a integração com sistemas de manutenção preditiva e a expansão da solução para outras infraestruturas, além do desenvolvimento de módulos de treinamento e gestão de ativos e de uma versão web.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), como instituição coordenadora do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Agradecem também à AXIA Energia pelo apoio ao projeto “Uso de Realidade Virtual e Aumentada aplicada às fases de Engenharia, Manutenção e Controle do Sistema HVDC da AXIA Energia Norte” (Código ANEEL: PD-00372-9983/2023), que forneceu a base técnica e institucional desta pesquisa.

Referências

- Cyrino, G. F., Neto, J. O. P., Lima, D. A. C. D., Cardoso, A., Lamounier, E. A., Lima, G. F. M. D., Campos, D. P., and Queiroz, L. F. (2023). Optimizing HVDC Maintenance and Training through Virtual and Augmented Reality: A Methodology Proposal. In *2023 18th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, pages 1–4. ISSN: 2166-0727.
- Júnior, M. J. A., Lima, D. A. C. D., Silva, A. C., Cardoso, A., Junior, E. A. L., Campos, D. P., Queiroz, L. F., and Alves, C. J. (2023). Recognition Strategy of a 3D printed model for an Augmented Reality system in the Maintenance of Electric Power Substations. In *2023 18th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, pages 1–6. ISSN: 2166-0727.
- Liu, K., Tang, J. K., Wang, Z., Guo, J. B., Yang, G. y., Liang, N., and Zou, Y. S. (2019). The Application of a Novel Infrared Temperature Measurement System in HVDC Converter Valve Equipment Connector Overheat Failure Prevention. *Procedia Computer Science*, 154:267–273.
- Mihai, S., Yaqoob, M., Hung, D. V., Davis, W., Towakel, P., Raza, M., Karamanoglu, M., Barn, B., Shetve, D., Prasad, R. V., Venkataraman, H., Trestian, R., and Nguyen, H. X. (2022). Digital Twins: A Survey on Enabling Technologies, Challenges, Trends and Future Prospects. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 24(4):2255–2291.