

Inovação na distribuição e novas tecnologias de suporte: inteligência artificial, realidade virtual e blockchain

Ao longo do ano, este fascículo reunirá uma coletânea dos melhores artigos apresentados durante o Congresso de Inovação na Distribuição de Energia - CIDE, realizado pelo Grupo O Setor Elétrico, em Parceria com a Abradee, no Transamerica Expo Center, em São Paulo, entre os dias 5 e 6 de junho de 2024.

Capítulo 1

Sistema de Predição e Detecção de Falhas por Imagens nas Redes de Energia Elétrica, incorporando Termovisão, Análise de Iluminação Pública, Imagens UV, Redes Neurais e Inteligência Artificial, conectado em nuvem

Por Francisco Fambrini, Diogo Gará Caetano, Rafael Reis, José Angel Ivan R. S., Bismark Cotrim e Ana Marina Santos.

1 - INTRODUÇÃO

Este artigo descreve o desenvolvimento de uma ferramenta aplicada ao processo de inspeção de redes aéreas de distribuição de energia tendo como principal diferencial o uso de técnicas de inteligência artificial para o reconhecimento de padrões de elementos elétricos. A solução utiliza veículos terrestres e drones equipados com GPS, Pan-Tilts eletromecânicos e múltiplas câmeras ópticas e térmicas buscando o aumento de eficiência, padronização e redução de custos no processo de inspeção das redes de energia (Fambrini F, Iano Y. et al, 2017). O desenvolvimento da ferramenta incluiu as etapas de pesquisa, especificação de equipamentos, planejamento de processos, escolha e contratação de equipe, projetos elétricos e mecânicos, execução e montagem de estruturas metálicas, desenvolvimento de software e hardware, integração de peças, adaptação veicular e diversos testes de campo para validação e avaliação da metodologia proposta. Os métodos convencionais, por outro lado, utilizam um operador humano para as câmeras, o qual é acomodado dentro do veículo em uma posição em geral ergonomicamente incorreta e consegue manipular a câmera através de um joystick, ou apenas uma câmera nas mãos, obtendo fotos dos elementos e analisando-as uma a uma visualmente. Neste projeto é usada uma combinação dos seguintes subsistemas de controle: processamento e reconhecimento de padrões de imagens através da técnica de redes neurais e aprendizado profundo (Deep Learning), filtragem e descarte de imagens indesejadas, escolha das melhores imagens, matching de imagens ópticas e térmicas, extração de temperatura em imagens térmicas, cálculos de coordenadas de elementos observados, filtragem de medidas, controle de metadados de imagens e combinação com dados de GPS, compensação da posição do Pan-Tilt mediante a posição de postes, interfaces de controle,

interfaces de monitoramento, controle automático e manual, sistemas de conversão de tensão para alimentação elétrica dos circuitos e sistemas embarcados.

2 - OBJETIVO

Este projeto tem como objetivos a redução do tempo e do custo do processo de inspeção de linhas aéreas de distribuição de energia através da utilização das mais recentes técnicas de Inteligência Artificial e Visão Computacional. Desta forma, aumenta-se a capacidade das concessionárias em inspecionar a totalidade de suas redes em menor tempo, garantindo assim uma maior confiabilidade e qualidade na prestação dos serviços de distribuição de energia elétrica.

3 - DIAGNÓSTICO: PROBLEMA ENFRENTADO

Atualmente a exigência pelo fornecimento de energia elétrica contínua e de boa qualidade revela um mercado consumidor em crescimento e com cargas cada vez mais sofisticadas. O crescimento das cargas e evolução dos sistemas de distribuição, fez com que as concessionárias de energia elétrica adequassem suas estruturas para manter seu desempenho compatível com as necessidades crescentes dos consumidores, ultrapassando os padrões estabelecidos pelas portarias da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a qual regulamenta o fornecimento de energia elétrica (Fambrini, F.; Caetano, D.G. et al, 2018). As exigências citadas refletem dessa forma na melhoria de técnicas que venham a detectar, com antecedência, um provável ponto de falha em redes de distribuição, evitando desligamentos no sistema. A ANEEL normatiza índices mínimos de confiabilidade, baseados em valores individuais de cada consumidor. São eles: a DIC (Duração de Interrupção por unidade Consumidora), FIC (Frequência de Interrupção

por unidade Consumidora) e DMIC (Duração Máxima de Interrupção Contínua por unidade consumidora). Para atender estes requisitos, a inspeção automatizada das redes se torna prioritária. A inspeção é dividida em estrutural e termográfica, sendo a primeira destinada a todos os objetos técnicos da concessão e o segundo somente aos troncos de alimentadores. Neste esquepe, o uso de tecnologias como a Termografia Infravermelha e a Detecção de Corona por Ultravioleta podem ampliar o espectro de visão, auxiliando na detecção de falhas invisíveis. A Detecção do Efeito Corona por UV foi implantada, até este momento, apenas nos veículos em uso no Equador e ainda não nos carros brasileiros. As demais tecnologias são abordadas no presente artigo.

4 - METODOLOGIA/MÉTODO PROPOSTO

Ao longo dos últimos anos a tecnologia termográfica vem ganhando escala industrial e consequentemente havendo redução do valor dos seus componentes (Fambrini F., Rangel A.et al, 2020). A visão termográfica bastante utilizada pelo setor militar, agora também está sendo adotada pelas áreas de segurança, indústria e energia. As câmeras térmicas conseguem captar imagens a longas distâncias e ainda apresentam imunidade a neblinas, nevoeiros, fumaça e falta de iluminação. A tecnologia de inspeção por imagens térmicas utiliza os raios infravermelhos para medir temperaturas ou observar padrões diferenciais de distribuição de temperatura, de forma a caracterizar a condição operacional de um equipamento. Algumas falhas que ocorrem nos circuitos aéreos de distribuição possuem características básicas de elevação anormal de temperatura de trabalho provocada pelo aumento da resistência de contato (Caetano, D.G, Fambrini, Fet al, 2020). Normalmente, o carregamento de pico causa o efeito de aquecimento e posterior resfriamento de pontos de conexão, estressando os elementos da rede. O estresse, causado pela variação das temperaturas ao longo do tempo, irá causar o aumentoda resistência de contato. Esse fenômeno possibilita a inspeção através de câmeras termográficas, que realizam com precisão o apontamento dos pontos sobreaquecidos, quantificando esse aumento irregular de temperatura. Esse mau contato elétrico produz um aquecimento através do efeito Joule, que pode ser rápido ou lento, mas sempre progressivo, até a degradação total do componente ou rompimento da conexão, ocasionando a interrupção de fornecimento. A manutenção preditiva é um dos métodos mais inovadores da gestão da manutenção, pois possibilita fazer o monitoramento e o acompanhamento de desempenho do equipamento através de instrumentos que fornecem dados quantitativos dos componentes. As inspeções para detecção de pontos quentes podem ter caráter tanto corretivo quanto à qualidade de energia fornecida, como preventivo quanto à continuidade de fornecimento, visto poderem acusar, antecipadamente, possíveis pontos de falhas do sistema. O método desenvolvido se refere ao processo de identificação dos tipos de elementos elétricos com e sem sobreaquecimento ao longo das linhas de distribuição de energia aérea. A identificação dos elementos é realizada durante o deslocamento de um veículo terrestre equipado com um arranjo GPS, estação meteorológica, câmeras ópticas e termográficas, as quais são controladas por um robô. O sistema possui uma série de algoritmos, entre eles: software de reconhecimento de padrões através de redes

neurais (Deep Learning), software de identificação de postes e elementos elétricos conectados a ele, software para combinação de imagens de elementos capturados por diferentes câmeras, software para controle de disparo e controle das câmeras por computador e software para controle de apontamento das câmeras (PanTilt). A solução conta ainda com um sistema de amortecimento específico para compensação das vibrações do veículo ao se mover pelas ruas e estradas. A Figura 1 a seguir mostra, à esquerda, os diversos componentes eletrônicos, de hardware e software, que compõe o veículo de inspeção. À direita, na mesma figura, estão ilustrados esquematicamente os servidores de Inteligência Artificial e os servidores que produzem os relatórios. Além dos sistemas mostrados, foi instalado também em alguns veículos um espectrofotômetro fornecido por OceanView (Caetano, D.G, Iano, Y.et al; 2021) que permite analisar as assinaturas dos espectros das lâmpadas da iluminação pública e também estimar a potência consumida pela lâmpada, através da intensidade da luz captada e do reconhecimento do modelo da lâmpada, que se dá pela IA embarcada no veículo.

5 - RESULTADOS/PRODUTOS OBTIDOS

Para a avaliação dos resultados, realizou-se testes comparativos entre o atual modo de inspeção de linhas de energia de distribuição aérea, o qual se refere ao uso de câmeras manuais termográficas e o método atualmente desenvolvido, o qual realiza a tomada de imagens e processamento de forma automatizada. Além do teste comparativo, as experiência de usabilidade foram avaliadas por 7 diferentes usuários, os quais percorreram diferentes trechos nas cidades de Campinas, Jaguariúna, Paulínia, Sorocaba, Indaiatuba, Jundiá (todas no interior de São Paulo) e em toda área de concessão das 4 distribuidoras: RGE, CPFL Paulista, CPFL Piratininga, CPFL Santa Cruz e também na empresa Elétrica de Quito (CNEL- Companhia Nacional de Energia Elétrica do Equador).



Figura 1 – Representação dos elementos que compõe o sistema de inspeção veicular

A Figura 2 a seguir mostra um exemplo de relatório de inspeção termográfica, o qual foi gerado automaticamente pela Inteligência Artificial embarcada no computador do veículo de inspeção. Do lado esquerdo desta figura estão as fotos termográfica e óptica do elemento inspecionado, com os alarmes de temperatura para manutenção; do lado direito é mostrada uma relação dos elementos identificados na foto pela IA e também um QRCode, gerado pelo sistema, que ao ser lido, permite ver a localização do poste, ruas e casas no entorno, através do software Google StreetView. Com relação à inspeção do Sistema de Iluminação Pública, o sistema é capaz de identificar (por meio de um espectrofotômetro

instalado no veículo) através da análise da assinatura espectral da luz emitida pelo poste, qual é o tipo da lâmpada instalada (vapor de sódio, vapor de mercúrio, vapor metálico, mista ou LED) e estimar a potência da respectiva lâmpada instalada, em watts, com boa precisão (Fambrini F., Rodriguez Duenas A. et al, 2022). O aspecto do relatório gerado é mostrado na Figura 3. Estas informações são particularmente importantes porque a anutenção das lâmpadas corre por conta das Prefeituras e não das concessionárias, sendo que as primeiras pagam uma tarifa estimada para a concessionária. Desta forma, o conhecimento da carga de iluminação instalada, bem como seu tipo, é muito importante de modo a tornar justa esta tarifa pública.

6 - CONCLUSÕES

Em relação ao sistema de inspeção termográfica, foram obtidos os seguintes resultados após 6067 quilômetros de linha inspecionada por dois veículos. Ao todo 605 anomalias foram identificadas, sendo 259 de manutenção imediata e 346 de manutenção programada. O tempo total de inspeção foi de 409 horas (durante 2 meses) com a inspeção automatizada, enquanto o tempo estimado seria de 11 meses com a inspeção manual convencional. A tabela 1 mostra os resultados comparativos entre o sistema de inspeção veicular manual e o automatizado, escopo deste artigo.



Figura 2 - Exemplo de relatório de termovisão com alarme para manutenção imediata.À esquerda, fotos termográfica e óptica; À direita, relação dos elementos detectados nas imagens, suas temperaturas e um QRcode que ao ser lido, permite localizar o endereço onde as imagens foram feitas, através do Google StreetView

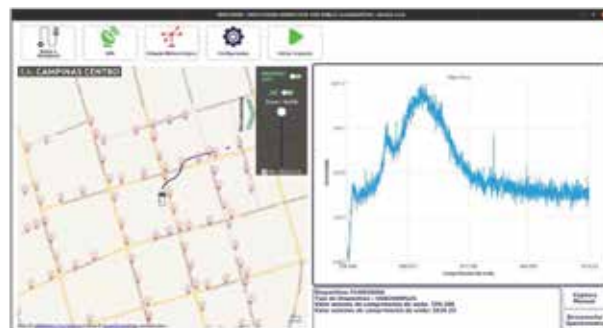


Figura 3 - Exemplo de visão de relatório de Iluminação Pública: à esquerda localização do veículo e posições dos postes, obtida pelo GPS; À direita, espectro da luz do poste, analisada pela IA do veículo

Com os resultados dos testes, conclui-se que houve ganho significativo no uso da nova solução, tanto financeiro quanto na redução do tempo. Além disso, outros ganhos secundários podem

ser citados como: maior segurança do operador, maior velocidade para inspecionar áreas de risco, padronização do processo, maior qualidade e menor tempo para a disponibilidade do relatório para as equipes de manutenção. A presente solução teve seu pedido de patente registrado no INPI. O número do Processo é BR 10 20018 0116614 (Termografia) e Número do Pedido: BR102023017379-9 (para o Projeto de Reconhecimento de Iluminação Pública).

Tabela 1 – Resultados comparativos entre a solução convencional e automatizada

Item	Cenário Atual	Projeto com veículos automatizados
Quantidade de Mão de Obra	2 pessoas	Nenhum (se veículo autônomo), 1 ou 2 pessoas (se dirigível)
Tempo de Inspeção total de rede	129 mil horas	27 mil horas
Tempo médio de Inspeção (min/Km)	19,5	4,7
Quantidade de Veículos Necessários	22	4 a 6
Custo de Inspeção	R\$ 37,01 /Km	R\$ 9,98/Km
Capacidade de Inspeção	25,7 Km/dia (8 horas)	100 Km/dia (8 horas)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Fambrini, F.; Iano, Y.; Silva, N.L.M.; Caetano, D. G.; Ferrarezi, R.; Arthur, R.; Cabello, f.; Rodrigues, A. A.; Leon, J.; Mazoni, g (2018). Reconhecimento Automático de Elementos da Rede de Distribuição por Meio de Termografia. Revista Eletricidade Moderna, ano 46, N.527, Fevereiro 2018, pp. 22-29.
- Fambrini, F.; Caetano, D. G. Iano, Y.; Ferrarezi, R.; Arthur, R.; Cabello, F., Zuben V. J.; Rodrigues, A. A.; Mazoni, G. Carrara E.(2018). "Design and Implementation of IA Vehicle for Thermographic Inspections in Electric Distribution Network Using Deep Learning Based Software", Hong-Kong. Proceedings of the 3rd International Conference on Computational Intelligence and Applications ICCIA 2018, v. 1. p. 1-1, DOI:10.1109/ICCIA.2018.00034.
- Fambrini, F., Iano Y., Rodriguez Duenas A., Ambrosio R. R. A., Caetano D.G., and Rangel A.(2020)"Deep learning based system to electric distribution network inspection", Proc. SPIE 11519, Twelfth International Conference on Digital Image Processing-ICDIP, Hong Kong, 1151914;https://doi.org/10.1117/12.2573984.
- Caetano, D. G, Fambrini, F.; Iano, Y.; Duena, A.; Moya,C; Arthur, R.; Zuben V. J; Mazoni G., Carrara E. (2020). "An AI Solution for Thermographic and Optical Inspections in Electric Distribution Network Using Deep Learning Based Software".GTC Conference, USA.
- Caetano, D. G, Fambrini, F.; Iano, Y.; Duenas A.; Moya,C; Arthur, R.; Zuben V. J; Mazoni, G.C. (2021). "An AI Solution for Detecting Poles Coordinates and Thermographic and Optical Inspections in Electric Distribution Network Combining Deep Learning Based Software and Machine Learning", CIRED Geneva, Switzerland.
- Fambrini F., Iano Y., Rodriguez Duenas A., Caetano D.G., Rangel A. (2022). "An Innovative Lighting Recognition System Based on Color Rendering Index and Computational Neural Networking", ISIE Conference, Alaska, USA.DOI:10.3390/engproc2022021056.

Constar no final - *Gostaríamos de expressar nossa sincera gratidão à CPFL (Companhia Paulista de Força e Luz), à ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), à Kasco Pesquisa e Desenvolvimento e à Unicamp (Universidade Estadual de Campinas) pelo apoio essencial na viabilização do projeto MVI (Multi Vision Inspection).

INTERLIGAÇÃO GERADOR-REDE

RELÉS MULTIFUNÇÃO PARA A PROTEÇÃO DE SISTEMAS DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E CENTRALIZADA

URP 6000

DIRECIONAL

URP 6100

BIDIRECIONAL



Atendem
PRODIST
REN 1.076/23



SOFTWARE APLICATIVO



PARAMETRIZAÇÃO AMIGAVEL
PERFIL DE CARGA



04 SETs DE PROGRAMAÇÃO
OSCILOGRAFIA



MONITORAMENTO



MEMÓRIA DE MASSA E REGISTRO DE EVENTOS



URP 6000

Funções ANSI:
25 / 3 x 27 / 27-0 / 32P / 32Q / 37 / 47 /
50 / 50Q (46) / 50N / 50GS / 50V / 51 /
51Q (46) / 51N / 51GS / 51V / 2 x 59 /
59N (64G) / 62BF / 67 / 67N / 67V / 78 /
3 x 81U / 2 x 81O / 4 x 81dF/dt / 86 /
+ sistema LV/BM 4 tensões
(Copel NTC 905200 – jul/2023)
+ PRODIST Módulo 3 – REN 1.076/23

URP 6100

Funções ANSI:
25 / 3 x 27 / 27-0 / 2 x 32P / 37 / 47 /
50Q (46) / 50GS / 51Q (46) / 51GS /
2 x 51V / 2 x 50V / 2 x 67V / 2 x 59 /
59N (64G) / 62BF / 2 x 67 / 2 x 67N /
78 / 3 x 81U / 2 x 81O / 4 x 81dF/dt / 86
+ PRODIST Módulo 3 – REN 1.076/23



PEXTRON[®]

Av. Miruna, 502 – Moema – São Paulo – SP
vendas@pextron.com.br – www.pextron.com



VENDAS: +55 (11)
5094-3200