



Inspeção Digital: A Estratégia da ENERGISA para Garantir Eficiência e Qualidade no Sistema Elétrico

Tema: Tecnologias Emergentes

Autores: Silas Langsdorff Santana

Co-Autores: -

Empresa: Energisa Paraíba - Distribuidora De Energia S.A

Resumo

A inspeção de ativos em sistemas elétricos, tradicionalmente realizada em campo por técnicos especializados, consiste no monitoramento visual de anomalias utilizando binóculos e câmeras, em deslocamentos a pé ou com veículos. Essa abordagem convencional exige equipes altamente qualificadas para operar nos diferentes níveis de tensão (Alta Tensão – AT, Média Tensão – MT, Baixa Tensão - BT) e lidar com a diversidade de serviços demandados. No entanto, trata-se de um processo caracterizado por elevados custos operacionais e significativo consumo de tempo, devido ao volume expressivo de ativos e à sua dispersão geográfica.

Como alternativa para modernizar essa operação, propõe-se a implementação de um modelo de inspeção digital modular. Nesse modelo, a coleta de imagens será realizada de maneira padronizada em campo por Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS) ou Drones, popularmente chamados, enquanto a análise para identificação de anomalias será centralizada em escritórios, utilizando uma plataforma digital suportada por tecnologias de Inteligência Artificial (IA). A IA desempenhará um papel crucial ao atuar como filtro, selecionando imagens com maior probabilidade de conter anomalias, as quais serão posteriormente validadas por analistas especializados.

Essa reorganização permitirá que as equipes de campo concentrem seus esforços exclusivamente na coleta de imagens, promovendo avanços significativos em termos de produtividade, qualidade e segurança. O sucesso dessa iniciativa será respaldado pelo desenvolvimento contínuo dos seguintes elementos:

- Elaboração de instruções técnicas e procedimentos operacionais padronizados;
- Formação e capacitação de líderes, instrutores e pilotos;
- Ampliação, adequação e gestão eficiente da frota de drones;
- Gestão operacional baseada em indicadores de desempenho e no ciclo PDCA;
- Automação no processo de transferência e armazenamento de imagens;
- Desenvolvimento de uma plataforma digital com diagnósticos assistidos por IA;
- Integração plena com os sistemas corporativos da ENERGISA.

Essa abordagem inovadora apresenta potencial para reduzir significativamente o risco de falhas no sistema elétrico, melhorar a qualidade do serviço prestado e contribuir para a elevação dos índices de continuidade, resultando em maior satisfação dos clientes e consolidando a eficiência operacional no gerenciamento do parque elétrico da empresa.

1. Introdução

O uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS) e Inteligência Artificial (IA) representa avanços tecnológicos significativos, com grande aplicabilidade em diversas atividades da sociedade. Essas tecnologias são amplamente utilizadas em áreas como inspeção de linhas de transmissão e distribuição de energia elétrica, geração de energia e aerolevantamentos, destacando-se pela praticidade, precisão e custos operacionais reduzidos. A combinação dessas ferramentas tem transformado processos, aumentando a eficiência e promovendo soluções inovadoras.

No contexto da Energisa, que gerencia um sistema elétrico com mais de 700 mil quilômetros de redes e 19 milhões de estruturas, a inspeção de ativos é essencial para prevenir falhas e garantir a continuidade e confiabilidade dos serviços de energia, considerando as variáveis como condições climáticas, características topográficas e especificidades construtivas.

Quanto as formas de inspeção, os métodos convencionais envolvem elevados custos operacionais, demandam um tempo considerável e sofrem com os desafios logísticos. Frequentemente as equipes técnicas são requisitadas a transitar por longas distâncias, adentrar áreas de vegetação densa, lidar com condições climáticas adversas, superar barreiras geográficas e hidrográficas, além de realizar atividades de escalada em estruturas e atuar em proximidade com redes energizadas, visando maximizar o número de ativos inspecionados diariamente.

No grupo Energisa, até meados de 2016, as inspeções eram realizadas majoritariamente em campo por técnicos qualificados, que percorriam trechos do sistema elétrico para analisar os ativos de forma visual, utilizando binóculos e câmeras. Essa operação, conduzida a pé ou com o auxílio de veículos, exigia a mobilização de equipes de inspeção altamente qualificadas, com especialização nos diferentes níveis de tensão (AT/MT) quanto nos diversos tipos de serviços de inspeção. Nessa dinâmica, os inspetores utilizam sua expertise técnica e experiência acumulada para identificar e diagnosticar, de maneira tácita, eventuais falhas na rede elétrica.

Com a evolução tecnológica percebeu-se a viabilidade de se inspecionar extensas áreas de redes elétricas com maior rapidez e segurança, minimizando a necessidade de deslocamentos manuais e mitigando os riscos associados às inspeções convencionais. Adicionalmente, a inteligência artificial possibilitaria o processamento automatizado das imagens capturadas, promovendo a detecção precoce de falhas e diagnósticos mais precisos e assertivos.

Este trabalho tem como objetivo apresentar e detalhar como o uso de drones e a inspeção digital têm contribuído para aumentar a resiliência das redes da ENERGISA, aprimorar a segurança dos colaboradores em campo e elevar a produtividade das atividades de inspeção, consolidando a empresa como referência em inovação no setor elétrico.

2. Desenvolvimento

Contexto

Até 2016, as inspeções preventivas em áreas rurais sob concessão do grupo ENERGISA eram realizadas por meio de duas metodologias principais:

1. Diagnósticos visuais terrestres: A atividade era conduzida por eletricitistas, com ou sem o auxílio de lentes de ampliação, que inspecionavam visualmente a rede elétrica e registravam o diagnóstico das condições dos ativos diretamente em campo, utilizando aplicativos de gestão de ativos.
- 2.

Inspeção por helicóptero: Nesse método, fotografias da rede elétrica eram capturadas durante sobrevoos de helicópteros. Posteriormente, a análise das imagens era realizada manualmente por equipes alocadas em escritórios, a fim de avaliar a integridade e a saúde dos ativos.

A ENERGISA começou a usar drones em 2016 para inspeções de ativos elétricos, inicialmente de forma esporádica e sem registro de imagens, como apoio na identificação de falhas. Essa inovação marcou o início de uma transformação nas práticas preventivas, trazendo maior eficiência e precisão.

Posteriormente, a empresa avançou para a digitalização das inspeções, com análise automatizada de imagens capturadas por drones. Essa abordagem otimizou processos, reduziu custos, aumentou a segurança e melhorou a qualidade das operações, destacando o alto potencial de automação nas atividades de manutenção. Os principais benefícios da inspeção digital incluem:

- Aumento da segurança: Reduzindo a exposição dos técnicos a riscos em campo;
- Melhoria na qualidade: Proporcionando diagnósticos mais precisos e padronizados;
- Ganho de produtividade: Aumentando a velocidade das inspeções e diagnósticos, otimizando recursos;
- Sustentabilidade: Diminuindo deslocamentos desnecessários e contribuindo para a redução de emissões de gás carbônico.

Implementação de tecnologia disruptiva para inspeções de ativos

Durante a fase inicial, foram identificados deficiências e desafios em todos os pilares analisados. A avaliação, ancorada em teorias e legislações aplicáveis, proporcionou uma base sólida para o planejamento estratégico e a execução das etapas subsequentes.

Com base nesse diagnóstico, foi estruturado o Projeto de Digitalização da Inspeção, visando profissionalizar e ampliar o uso de drones nas inspeções de redes e linhas de distribuição. O projeto foca na identificação de pontos críticos para manutenção, utilizando análise de imagens para garantir maior agilidade, segurança e qualidade, além de prevenir falhas e reduzir interrupções na distribuição de energia elétrica.

O projeto foi delineado com base em três pilares fundamentais:

1. Adequação do processo de inspeção: abrange a padronização das atividades e a capacitação de equipes, incluindo treinamentos direcionados a líderes engenheiros, instrutores e pilotos de drones.
2. Ampliação do uso de drones: envolve a expansão e modernização da frota, além da implementação de métricas para avaliação de desempenho.
3. Digitalização do processo de inspeção: contempla o desenvolvimento de uma plataforma digital com suporte à inteligência artificial (IA). Nessa solução, a IA atua como um filtro avançado para identificar anomalias, gerenciar o sistema energético e correlacionar dados georreferenciados.

A proposta visa à implementação de um processo de inspeção modular e especializado, no qual a tecnologia desempenha papel central em cada etapa. Nesse modelo, a identificação de anomalias será realizada em ambiente controlado (escritório), permitindo que as atividades de campo sejam direcionadas exclusivamente à coleta de imagens. Essa abordagem promove ganhos significativos de produtividade e eficiência operacional, consolidando o uso de drones como ferramenta estratégica na gestão de ativos do setor elétrico.

Com base nas conclusões, as etapas seguintes foram planejadas para aumentar a eficiência das inspeções, estruturando o projeto segundo o modelo da pirâmide de inteligência. Essa abordagem sistemática e hierarquizada busca promover a melhoria contínua dos processos.



Figura 1 - Pirâmide de Inteligência

Regulamentação

O principal pilar abordado no processo de implementação foi a conformidade com a legislação vigente para o uso de drones. Dada a necessidade de adequação às normas legais e à integração dos drones aos sistemas de monitoramento e controle aéreo, foi realizado um trabalho abrangente que incluiu a regularização de todos os drones e o treinamento dos pilotos.

De acordo com Fernandez e Avanzi (2023), o governo, ao regulamentar o uso de drones, busca desburocratizar o acesso a esses serviços regulados pelo Governo Federal, incentivando uma maior autorregulação do mercado. Essa abordagem é fundamentada no princípio liberal do "laissez-faire" (deixe fazer), permitindo que cada setor do mercado atue como autorregulador, seguindo as normas para evitar penalidades. Nesse contexto, o governo assume uma postura responsiva, reagindo ao ambiente regulado e incentivando os cidadãos a cumprirem as normas de maneira voluntária e correta.

Ainda segundo Fernandez e Avanzi (2023), "a regulação apoiada em estratégias de comando e controle é definida, de modo geral, como sendo aquela na qual a autoridade exerce seu poder regulatório essencialmente por meio da aplicação de sanções punitivas, sendo identificada a adoção e a ameaça sancionatória como instrumentos privilegiados de conformação dos comportamentos regulados".

Essa abordagem mista, combinando autorregulação e estratégias de comando e controle, é essencial para garantir a conformidade das operações com drones, especialmente em setores críticos como o de energia, onde o uso dessas tecnologias deve estar alinhado tanto às normas legais quanto aos padrões operacionais estabelecidos.

As operações com drones realizadas pela ENERGISA exigiram adequação às normas estabelecidas por diferentes órgãos reguladores no Brasil, garantindo a legalidade e a segurança das atividades. Entre as principais instituições às quais foi necessário atender estão:

1. Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC): Responsável pela regulamentação da aviação civil no país, exigiu a homologação dos drones e seu cadastramento no Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (SISANT). Este processo visa assegurar que as aeronaves não tripuladas estejam devidamente certificadas e registradas, conforme as normas de segurança operacional.
2. Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL): Competente para regular o uso do espectro eletromagnético, a ANATEL requisitou a homologação dos equipamentos utilizados nas operações, garantindo que os sistemas de comunicação das aeronaves estejam em conformidade com os padrões técnicos e legais, evitando interferências e promovendo a eficiência nas comunicações.
- 3.

Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA): Órgão subordinado à estrutura da Aeronáutica, responsável pelo gerenciamento do espaço aéreo brasileiro, demandou a solicitação de autorizações de voo por meio do Sistema de Solicitação de Acesso ao Espaço Aéreo (SARPAS NG). Este sistema assegura que as operações sejam realizadas de forma coordenada, respeitando as diretrizes de segurança e a integridade do tráfego aéreo.

Gestão da Operação

No pilar de gestão, constatou-se a necessidade de uma gestão adequada da frota e dos pilotos, ausência de medição de performance da frota, baixa gestão do conhecimento, sem acompanhamento de voos com autorização do DECEA e equipamentos sem documentação adequada.

Para o gerenciamento eficiente das operações com drones, foi desenvolvida atribuições funcionais que organiza as responsabilidades de acordo com as necessidades operacionais. As principais atribuições, distribuídas são descritas a seguir:

1. Gestão Estratégica

1. Planejamento e Desenvolvimento de Capacidades: Definição de estratégias de longo prazo, incluindo o acompanhamento de tendências tecnológicas no setor de drones.
2. Monitoramento de Indicadores de Desempenho (KPIs): Estabelecimento e controle de metas relacionadas ao desempenho operacional, segurança e eficiência.
3. Conformidade Legal: Supervisão da aderência às legislações aplicáveis, incluindo normas do DECEA, ANAC e DECEA
4. Controle de Documentação: Organização e atualização de registros técnicos, incluindo manuais e certificados;

• Coordenação Operacional

1. Gestão de Treinamentos: Planejamento e execução de programas de capacitação para pilotos e instrutores, assegurando que estejam aptos a realizar operações com segurança e precisão.
2. Acompanhamento de Profissionais: Monitoramento periódico do desempenho de pilotos e instrutores, identificando oportunidades de melhoria e promovendo feedback contínuo.
3. Reuniões Quinzenais e Ciclos PDCA: Realização de encontros regulares para avaliação de processos, análise de resultados e implementação de melhorias contínuas.

• Supervisão Técnica

1. Manutenção de Aeronaves e Equipamentos: Coordenação da inspeção e manutenção regular de drones, peças e acessórios, garantindo sua disponibilidade e funcionalidade.
2. Gestão de Incidentes: Registro, análise e tratamento de ocorrências, com foco na mitigação de riscos e na prevenção de futuros problemas.

O Grupo ENERGISA, todas suas concessões, identificou a necessidade de estabelecer uma hierarquização estruturada das funções relacionadas às operações com drones, visando maior eficiência e integração organizacional. Nesse sentido, foi instituída a figura de um gestor geral da operação no âmbito do grupo, responsável pela supervisão estratégica e pelo alinhamento das atividades entre as concessões.

Em cada concessão, foi designado um gestor local, cuja responsabilidade inclui a coordenação direta das operações de drones, sendo apoiado por equipes técnicas especializadas que fornecem suporte para a tomada de decisões estratégicas e operacionais.

Os pilotos, localizados na base operacional, desempenham um papel crucial no cumprimento das demandas programadas. Suas funções incluem a execução das operações em campo, a coleta de dados e o fornecimento de informações relevantes, que subsidiam a gestão contínua e eficiente das atividades.

Tabela 1 - Organograma operacional de inspeção com Drones

Papel	Atribuição básica
Gestor da Operação no Grupo Drone Líder Grupo	Responsável por gerenciar a operação de drones do grupo e garantir a melhoria contínua
Gestor da Operação Local Drone Líder Local	Responsável por gerenciar a operação de drones na concepção do grupo e garantir a melhoria contínua
Suporte Técnico Drone Apoio	Responsável por apoiar o Drone Líder no setor.
Inspetor Piloto	Realiza inspeção ou atividades diversas com o drone segundo orientações, armazenando e transferindo todos os dados necessários.

Pilotos

No âmbito das operações com drones, foram identificados diversos problemas relacionados às pessoas e à capacitação técnica. Constatou-se a ausência de instrutores devidamente treinados, número insuficiente de pilotos qualificados e a inexistência de treinamento padronizado.

Os pilotos, por falta de diretrizes estabelecidas, realizavam os voos conforme julgavam ser a melhor abordagem. Essa prática aumentava significativamente o risco operacional, resultando em imagens capturadas sem padronização e na ausência de cobertura completa dos ângulos necessários para a inspeção das estruturas, o que deixava áreas críticas não monitoradas (pontos escuros). Essa deficiência elevava os riscos de interrupções no fornecimento de energia.

Além disso, a execução de voos sem diretrizes padronizadas acarretava em aumento no risco de incidentes e acidentes envolvendo aeronaves remotamente pilotadas. Esses riscos incluíam colisões com outras aeronaves tripuladas, danos a propriedades civis, choques com a rede elétrica e quedas sobre pessoas anuentes às operações.

Para mitigar essas questões, foi implementado o programa "Voar Seguro", cujo objetivo é garantir a segurança e a padronização das operações com drones. O programa instituiu normas e regras de voo, promoveu capacitações online, treinamentos específicos para formação de instrutores, reciclagens periódicas e o acompanhamento sistemático das operações por meio de sistemas de telemetria de voo.

Atualmente a ENERGISA possui 32 instrutores formados que formaram 162 pilotos para diferentes operações dentro do grupo ENERGISA.

Frotas de Drones

Os RPAS (Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas), comumente conhecidos como drones, são veículos aéreos não tripulados que têm como principal função a captura de imagens, funcionando como uma “câmera com asas”. Estes dispositivos estão em um processo contínuo de evolução tecnológica. Conforme afirmam Fernandes e Avanzi (2023), a concepção inicial dos drones esteve vinculada a objetivos militares, sendo que o primeiro registro operacional significativo ocorreu em 22 de agosto de 1849, durante um ataque do Exército Austríaco à cidade de Veneza, no qual balões carregados de explosivos foram lançados a partir de navios.

Desde esse marco histórico, a evolução dos drones tem sido, em sua maioria, direcionada para o contexto militar. Contudo, a empresa DJI (Da-Jiang *Innovations*) iniciou a produção de drones civis de baixo custo em 2006, após sua fundação por Frank Wang em Shenzhen, na China. O primeiro modelo comercial relevante lançado pela DJI foi o DJI Phantom, em janeiro de 2013. Este modelo representou um ponto de inflexão na indústria de drones, pois ofereceu uma solução pronta para voar (RTF - *Ready to Fly*), fácil de operar e acessível, tanto para entusiastas quanto para profissionais iniciantes.

No contexto da ENERGISA, a identificação da viabilidade do uso de drones para inspeções de postes e torres de distribuição e transmissão levou à aquisição desses dispositivos de maneira pontual e desordenada, com o intuito de aumentar a produtividade e melhorar a qualidade das inspeções. Contudo, os equipamentos adquiridos apresentavam limitações, como a escassez de baterias, a ausência de um plano de manutenção estruturado e o uso inadequado em diversas situações.

À medida que a frota de drones crescia, tornou-se evidente a necessidade de estabelecer padronização dos modelos utilizados. Dessa forma, foram definidos dois grupos principais de drones: os modelos menores, versáteis e de baixo custo, voltados para redes de distribuição, e os modelos de maior valor e com sensores mais avançados, destinados a operações de alta tensão. O aumento da frota também impôs a necessidade de um gerenciamento mais eficiente dos recursos, resultando no desenvolvimento do sistema SISDRONES. Este sistema é uma plataforma de gerenciamento de frota, que possibilita o acompanhamento das documentações, manutenções, acessórios, números de série e incidentes dos drones. A implementação deste sistema trouxe maior robustez às operações, facilitando a tomada de decisões relativas à aquisição de novos equipamentos.

Paralelamente, foi estabelecida frente de melhoria contínua, voltada para a avaliação da obsolescência dos equipamentos e a implementação de atualizações periódicas na frota.

Atualmente, a ENERGISA conta com uma frota de 158 drones, 84 para Média e Baixa Tensão (RDMT), 36 para Operações Emergenciais (DEOP), 26 para de Sub transmissão (LDAT, d 138Kv) e 12 para Transmissão (LT, > 138KV), que são utilizados em inspeções programadas, emergenciais, lançamentos de cabos, inspeções de usinas fotovoltaicas e inspeções civis, conforme figura 2:

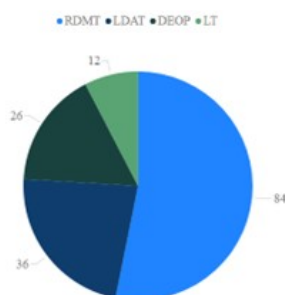


Figura 2 - Frota de Drones

Operação em Campo

A análise dos processos revelou problemas críticos relacionados à operação dos drones. Entre os principais, destacam-se a subutilização dos equipamentos, o elevado número de incidentes, a perda de rastreabilidade nos registros de voo, a ausência de um sistema estruturado para armazenamento das imagens capturadas e a falta de processamento das imagens digitais em ambiente de escritório.

Os drones eram inicialmente utilizados de forma rudimentar, funcionando como simples "binóculos alados", sem seguir protocolos padronizados, e com a avaliação dos ativos sendo realizada diretamente no campo. O registro das falhas era feito manualmente ou em dispositivos como tablets, e a captura de imagens era irregular, com falhas no armazenamento adequado, resultando na perda de dados e no aumento do tempo de avaliação.

A partir desse diagnóstico, foram tomadas ações estratégicas, como workshops, sessões de brainstorming e alinhamentos com supervisores e equipes de campo, além da contratação de uma consultoria externa especializada. O foco foi transferir conhecimento técnico em operações de voo e captura de imagens, adaptando-o ao contexto local.

Como resultado, em 2021, foi elaborada a Instrução Técnica, que estabeleceu diretrizes para garantir a segurança das operações, padronizar as técnicas de voo e otimizar a captura de imagens. A implementação dessa instrução representou um marco na profissionalização das práticas operacionais com drones.

Além disso, foi identificado a necessidade de mensurar e avaliar sistematicamente o processo operacional, o que levou à implementação de um sistema de telemetria de voo para toda a frota de drones. Essa solução permite a análise detalhada das operações, a detecção de defeitos nos equipamentos e a identificação de infrações às normas de segurança.

Além disso, a telemetria foi integrada aos sistemas da ENERGISA para monitorar o desempenho do uso dos drones, permitindo um acompanhamento contínuo da eficiência operacional. Nesse contexto, foram desenvolvidos seis indicadores de performance, e um indicador ponderado, projetados para fornecer uma análise abrangente das atividades realizadas, essa estrutura de indicadores fornece uma visão abrangente e quantitativa para o monitoramento e a otimização do desempenho nas operações com drones, que são:

1. Fator de Frota Ativa (FA): Mede a eficiência na utilização da frota, representando a proporção de drones operacionais em relação ao total disponível.
2. Fator de Uso (FU): Avalia a frequência de utilização dos drones, calculado pela razão entre os dias de operação e a demanda de inspeção rural.
3. Fator de Produção (FP): Indica a eficiência produtiva, expressa pela relação entre a produtividade diária efetiva e a meta operacional estabelecida.
4. Fator de Envio de Imagens (FI): Mensura a qualidade e a padronização na captura e envio de dados, permitindo a aplicação de ciclos PDCA para melhoria contínua.
5. Fator de Volumetria (FV): Avalia a quantidade de estruturas inspecionadas com o uso de drones, refletindo a capacidade de cobertura da operação.
6. Fator de Aderência às Instruções Técnicas (FIT): Verifica, por meio de telemetria, o cumprimento das normas de segurança pelos pilotos durante os voos.
7. Índice de Produtividade Global (IPG): Indicador composto que avalia a eficiência global das operações de drones. É calculado pela multiplicação ponderada dos fatores FA, FU, FP, FI, FV e FIT, considerando a relevância de cada fator no contexto dos KPIs.

Dados de Inspeção

A captura de dados de inspeção representa a etapa mais crítica em um processo de inspeção digital, considerando a diversidade de estruturas associadas aos diferentes níveis de tensão e construções do Sistema Interligado Nacional (SIN). consumidores finais.

Observa-se uma ampla variedade de tipos de construção de linhas e redes de transmissão, sub transmissão e distribuição, bem como distintos modelos de equipamentos aplicados a essas infraestruturas. Essa diversidade apresenta um desafio significativo para o desenvolvimento de instruções técnicas de captura de imagens e modelos digitais voltados à identificação de defeitos. A heterogeneidade dos componentes e das configurações das redes exige a adoção de abordagens sofisticadas que considerem as características específicas de cada elemento, conforme ilustrado nas Figuras 3.

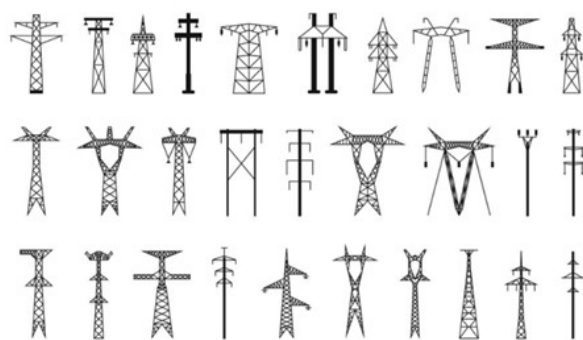


Figura 3 - Tipos de Estruturas Elétrica - Fonte: iStock

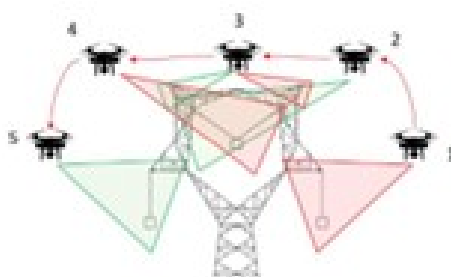


Figura 4 - IT para LT Tipo 1 Fonte: ENERGISA

A captura de imagens padronizadas é fundamental para garantir dados consistentes e confiáveis em inspeções digitais. No entanto, a qualidade das imagens pode ser comprometida por fatores como iluminação inadequada, foco impreciso e sujeira na lente, dificultando a análise e identificação de anomalias.

A familiarização com os sistemas de foco da câmera e o uso adequado de ajustes manuais, quando necessário, são medidas essenciais para melhorar a nitidez das imagens. Práticas preventivas, como assegurar a estabilidade do drone durante a captura e realizar limpezas regulares na lente, também são indispensáveis para obter dados precisos e de alta qualidade.

O sucesso da operação depende, sobretudo, da formação de pilotos qualificados e experientes. Esses profissionais devem ser capacitados para avaliar criticamente suas capturas e ajustar os ângulos de acordo com as características das estruturas inspecionadas, garantindo imagens adequadas para análise no ambiente de escritório.

Integrações e Sinergias

A segurança dos dados e a confiabilidade nos relatórios de inspeção são essenciais para o sucesso das soluções digitais da ENERGISA. A empresa adota uma abordagem baseada na análise de dados operacionais para promover eficiência e redução de custos.

No processo de digitalização das inspeções, a proteção dos dados contra acessos não autorizados é uma prioridade, em conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD). Essa conformidade garante privacidade, transparência e integridade das informações, fortalecendo a credibilidade e a segurança jurídica da empresa.

A integração dos dados aos sistemas legados foi viabilizada por meio de fluxos seguros e contínuos entre áreas estratégicas, como manutenção, construção e gestão de perdas, proporcionando suporte ágil e fundamentado à tomada de decisões.

Além disso, a digitalização exigiu o desenvolvimento de sistemas dedicados e a integração do sistema de avaliação de imagens com o de gestão de manutenção. Recursos avançados de tecnologia garantem a

transferência automatizada e segura de dados ao longo da cadeia operacional, preservando a integridade, confidencialidade e disponibilidade das informações.

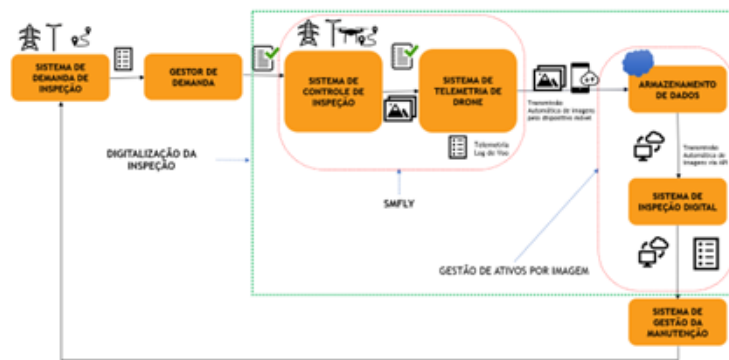


Figura 5 - Sistemas Legados ENERGISA

Dentre os sistemas desenvolvidos pela ENERGISA, destacam-se:

- SMFLY: Automatiza a transferência de imagens, associando-as às Ordens de Serviço (OS) e armazenando-as em nuvem, vinculadas às estruturas cadastradas no sistema de gerenciamento de manutenção.
- SISDRONES: Gerencia informações da frota de drones, incluindo fotografias, números de série, certificados, acessórios, baterias e apólices de seguro.
- Foram também implementadas integrações estratégicas, como:
- GIS: Atualiza as coordenadas das estruturas na base geográfica da ENERGISA, otimizando o uso de dados espaciais.
- SGM: Automatiza o recebimento de demandas de manutenção geradas pela inspeção digital, aumentando a eficiência do fluxo de trabalho.
- Armazenamento em nuvem: Garante integridade e disponibilidade dos dados de inspeção digital.
- Gerenciamento de demandas de inspeção com drones: Automatiza o despacho de documentos essenciais às OS, assegurando conformidade regulatória e eficiência.

Treinamentos de DNNs

O treinamento de Redes Neurais Profundas (DNNs) é essencial para a aplicação da Inteligência Artificial (IA), permitindo que as redes aprendam a executar tarefas complexas a partir de dados. Esse processo ajusta parâmetros internos, como pesos e vieses, visando minimizar erros e aprimorar o desempenho em tarefas específicas.

No contexto da avaliação de imagens de inspeção, as DNNs são treinadas com grandes volumes de dados heterogêneos, incluindo diferentes modelos de ativos, variações de cores, padrões de defeitos e cenários diversos. Essa diversidade é fundamental para capturar as nuances dos cenários reais e garantir resultados confiáveis. Redes excessivamente generalistas demonstram menor eficácia na identificação precisa de defeitos, reforçando a necessidade de personalizar os modelos para problemas específicos.

A arquitetura das DNNs, composta por múltiplas camadas, desempenha papel crucial no aprendizado. Camadas iniciais identificam características básicas, enquanto camadas mais profundas capturam padrões complexos. Essa estrutura hierárquica é indispensável para assegurar precisão e desempenho otimizado. Além disso, uma DNN bem treinada deve ser capaz de generalizar seu aprendizado, aplicando-o a novos dados em cenários reais, o que é essencial para a tomada de decisões precisas em aplicações críticas, como a inspeção de redes elétricas.

Para alcançar altos níveis de confiabilidade, a ENERGISA criou a GAPI (Gestão de Ativos por Imagem), uma plataforma centralizada baseada em IA. Atuando como um HUB, a GAPI integra diferentes aplicações e promove a digitalização de processos, permitindo a análise estruturada de imagens e otimizando a gestão de dados e atividades por meio de soluções tecnológicas avançadas.

O GAPI foi implementado, desempenhando um papel fundamental no treinamento das Redes Neurais Profundas (DNNs) e na avaliação contínua de seus resultados. Sua atuação é voltada à redução de falsos positivos e ao aprimoramento da capacidade de detecção de anomalias pela Inteligência Artificial (IA). Além disso, o GAPI é essencial durante as fases de transição e sustentação da solução de IA garantindo a eficácia e a evolução do sistema, veja figura 06:

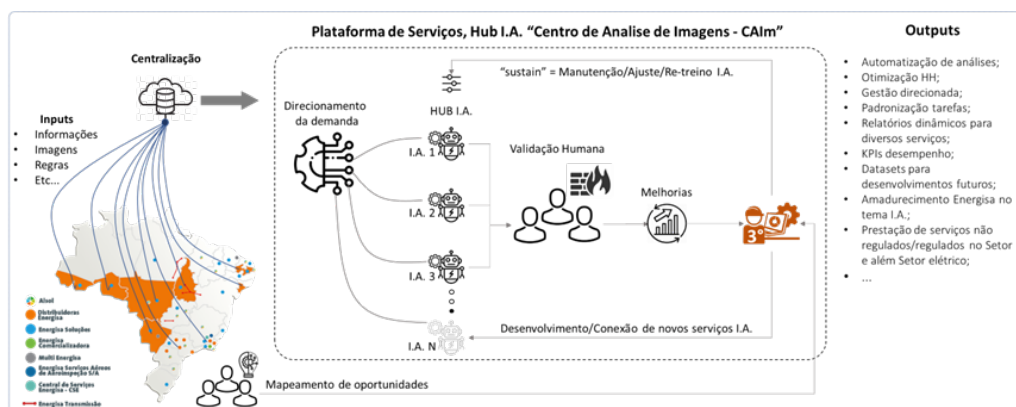


Figura 6 - Diagrama de Atuação do GAPI

O treinamento da Inteligência Artificial (IA) é estruturado em três fases, com o objetivo de otimizar decisões e melhorar continuamente a performance do modelo.

- **FASE 1 – Análise Manual:** A análise começa manualmente, com a criação de datasets para treinamento com base em critérios e regras de negócio. Esta etapa é fundamental para o treinamento inicial ou ajustes dos algoritmos, garantindo dados representativos e estruturados.
- **FASE 2 – Análise Semiautomática:** Com o avanço da eficiência dos algoritmos, eles começam a atuar como ferramentas de suporte, reduzindo a intervenção humana. O papel humano passa a ser corrigir ou complementar os resultados, promovendo a transferência gradual de conhecimento e melhorando a eficácia do modelo, além de diminuir a alocação de horas humanas.
- **FASE 3 – Análise Automática:** Quando os algoritmos atingem níveis adequados de eficiência, a análise se torna completamente automatizada. O ser humano passa a atuar apenas como validador dos resultados, e a fase continua evoluindo até que todas as atividades passíveis de automação sejam abrangidas, garantindo alta qualidade e desempenho.

Algoritmo de Identificação de Anomalias - Plataforma de Inspeção Digital

O Sistema de Inspeção Digital, fundamentado no Algoritmo de Identificação de Anomalias, depende do funcionamento eficaz dos oito pilares da pirâmide de inteligências, estabelecendo uma base sólida para sua operação integrada. Desenvolvida com tecnologia SaaS, a plataforma oferece uma solução abrangente para análise e monitoramento de ativos elétricos, integrando diversas funcionalidades essenciais.

A plataforma utiliza Redes Neurais Profundas (DNNs) para avaliações precisas de defeitos, apoiadas por ferramentas de rotulação e validação que garantem a qualidade dos dados e o aprimoramento contínuo do algoritmo. Um portal web dedicado permite o desenvolvimento e a automação das DNNs, assegurando atualizações constantes e escalabilidade. Painéis interativos proporcionam visualização clara e dinâmica dos dados, facilitando análises e decisões informadas.

As anomalias identificadas pela IA são automaticamente integradas ao Sistema de Gestão de Ativos da Energisa, promovendo alinhamento com as operações da empresa. A funcionalidade de visualização histórica permite análise comparativa detalhada, enquanto a revisão eficiente de imagens, com integração de mapas e navegação otimizada, aprimora o processo de inspeção.

A plataforma também oferece inspeção responsiva de imagens, ajustando automaticamente a resolução conforme o zoom, garantindo fluidez mesmo em conexões limitadas, além de permitir downloads em alta resolução para uso offline.

Adicionalmente, a detecção de componentes guiada por IA, combinando DNNs existentes e novas redes, melhora a precisão das inspeções. O sistema também inclui diagnóstico de falhas térmicas, essencial para identificar ativos sobreaquecidos, contribuindo para manutenção preventiva e maior segurança do sistema elétrico.

Essa solução se destaca como uma ferramenta robusta e inovadora, assegurando precisão, eficiência e segurança no monitoramento de ativos, alinhada às demandas operacionais e tecnológicas do setor elétrico.

Resultados

O projeto encontra-se atualmente na fase final de implantação, com foco no desenvolvimento e implementação da plataforma de inspeção digital. As etapas principais já concluídas são descritas a seguir:

1. Adequação do Processo de Inspeção:

- Elaboração de instruções técnicas específicas.
 - Treinamento de 38 instrutores e 162 pilotos.
 - Realização de testes para validação das instruções técnicas, incluindo medições e ajustes operacionais.
 - Conformidade com as normas e regulamentações brasileiras, incluindo as exigências do DECEA, ANAC e ANATEL.
 - Implementação de medições periódicas e sistemáticas no uso de drones, com incorporação de lições aprendidas e adoção de ciclos PDCA para treinamento contínuo.
- Expansão do Uso de Drones:
 - A ENERGISA atualmente possui uma frota de 158 drones distribuídos em 104 polos operacionais.
 - Desde 2020, mais de 600 mil estruturas foram inspecionadas (Figura 11), com uma meta anual de 827 mil estruturas a ser atingida até 2026.
 - Cada drone inspeciona, em média, 76 estruturas por dia, o que resultou até o momento em mais de 1,347 milhão de imagens capturadas.

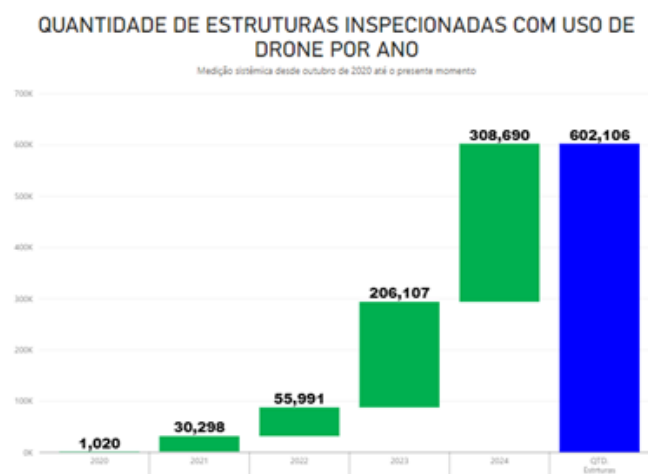


Figura 7 - Evolução da Inspeção com Drones

3. Digitalização do Processo de Inspeção:

A última fase do projeto, a digitalização do processo de inspeção, está sendo desenvolvida com uma plataforma digital apoiada por inteligência artificial (IA). Esta solução foi criada em parceria com a empresa sueca Arkion e visa os seguintes objetivos:

- Redução do risco de falhas nos ativos;
- Aumento da produtividade em campo;
- Melhoria no gerenciamento do parque energético.

O software da plataforma analisará imagens capturadas durante inspeções de alta e média tensão, utilizando visão computacional e IA para identificar anomalias em ativos elétricos, tanto de natureza orgânica quanto estrutural. O foco inicial do projeto está na identificação de 113 tipos de defeitos, sendo 49 para alta tensão e 64 para média tensão.

O projeto de IA já passou pelas fases de idealização e prova de conceito (PoC). Durante a PoC, foram realizadas as seguintes ações:

- Análise de mais de 31 mil imagens padronizadas de alta e média tensão.
- Avaliação de 22 tipos de defeitos, dos quais:
 - 19 apresentaram sucesso total.
 - 3 apresentaram sucesso parcial.

O uso de drones tem demonstrado resultados promissores, gerando ganhos significativos para as operações de inspeção. Até o momento, observou-se que esta tecnologia proporciona um aumento de 235,7% na identificação de anomalias graves e críticas, tornando o processo de inspeção mais eficiente e confiável. Além disso, os drones contribuem para um incremento de 57,9% na produtividade das equipes, enquanto reduzem em 45,3% a necessidade de deslocamentos para inspeções. Essa eficiência logística resulta em uma diminuição de 350 toneladas de emissões de CO₂, por ano, colaborando diretamente para a sustentabilidade.

O projeto está programado para ser concluído em agosto de 2026 e, embora ainda em desenvolvimento, já apresenta resultados significativos na coleta e análise de dados.

3. Conclusão

A transformação digital na inspeção de ativos elétricos promovida pelo Grupo ENERGISA reflete um avanço estratégico que combina inovação tecnológica com eficiência operacional. A integração de drones e inteligência artificial não apenas moderniza um processo historicamente manual e trabalhoso, mas também estabelece novos padrões de produtividade, segurança e precisão no setor elétrico.

Os resultados obtidos até o momento, incluindo a redução de riscos em campo, a padronização de diagnósticos e o aumento da velocidade nas operações, evidenciam o potencial dessa abordagem para superar os desafios de um sistema elétrico vasto e geograficamente disperso. Além disso, o desenvolvimento contínuo da plataforma de IA, com sua capacidade de análise automatizada e identificação de falhas, destaca o compromisso do grupo com a inovação e a excelência na gestão de ativos.

Embora desafios como resistência à mudança e necessidade de refinamento das tecnologias permaneçam, a implementação cuidadosa do projeto SiSDrones sinaliza uma evolução significativa na forma como redes elétricas são mantidas e monitoradas.

4. Referências bibliográficas

Operações de Drones, Carlos Marcelo Cardoso Fenandes e Dani Marcos Avanzi

Mãos a Obra: Aprendizado de Máquina com Scikit-Learn & TensorFlow, Aurélien Géron