



# FERRAMENTA DE LOCALIZAÇÃO DE FALTAS TEMPORÁRIAS PARA APOIO AO PLANEJAMENTO DA MANUTENÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO.

**Tema:** Gestão Ativos e Manutenção

**Autores:** 1. Luiz Henrique Leite RosaEnerq/USPLuizhenrique.rosa@alumni.usp.br | 8. Fabricio Expedito VianaEDP Brasilfabricio.viana@edp.com

**Co-Autores:** 2. Carlos Frederico M. AlmeidaEnerq/USPcfmalmeida@usp.br 3. Nelson KaganEnerq/USPnelson.kagan@usp.br 4. Renan Correa de MouraEnerq/USPr.correademoura@gmail.com 5. Renato Spalding Enerq/USPrenatospalding@gmail.com 6. Thiago Saúde MedeirosEnerq/USPthiago.saude@alumni.usp.br 7. Clarissa RaimundoEDP Brasilclarissa.raimundo@edp.com 9. Fernando Vargas BaldottoEDP Brasilfernandobaldotto@edp.com 10. Gabriel BatistaEDP Brasilgabriel.batista@edp.com 11. Marcos Morita OtukaEDP Brasilmarcos.otuka@edp.com 12. Willamy Siqueira CondeEDP Brasilwillamy.conde@edp.com

**Empresa:** EDP São Paulo Distribuição de Energia S.A

---

## Resumo

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e aplicação da ferramenta de Localização de Falhas Temporárias e sua plataforma de BI para apoio ao planejamento da manutenção contemplando os módulos de Localização de Falhas, Estimação de Estados e Front-End de comunicação da plataforma ADA\_USP, bem como dashboards elaborados no Microsoft Power BI da área de planejamento da manutenção. O projeto foi desenvolvido no âmbito do P&D ANEEL, tendo as empresas EDP SP e EDP ES como proponentes. A plataforma permite a identificação automática de falhas permanentes ou temporárias na rede e localização dos possíveis locais de defeito, armazenamento dos resultados em Data Lake, bem como análise detalhada dos resultados em dashboards desenvolvidos na plataforma de Power Bi da área de manutenção da empresa, contendo diversos gráficos para acompanhamento dos indicadores em conjunto com informações dos sistemas de notas da manutenção. Os resultados apresentados comprovam a efetividade dos blocos funcionais descritos e sua aplicação no apoio ao planejamento da manutenção das redes de distribuição, sendo executados em tempo real e de forma integrada com os principais sistemas das empresas como OMS, SCADA, GIS, Power BI e Sistema de notas de manutenção.

## 1. Introdução

operador que contemplam, dentre outras ações, agilidade e precisão na localização do defeito que gerou a falta, para que possa ser isolado e corrigido, minimizando a quantidade e o tempo de clientes sem energia com vistas a atender os indicadores de qualidade do fornecimento.

Além disso, a identificação de áreas com maior índice de falhas temporárias possibilita o direcionamento de ações preventivas na rede de distribuição na medida que permite análises sobre sua vulnerabilidade e correlação com indicadores da manutenção da rede (MORAIS, 2020)

Diversas pesquisas apresentam metodologias de localização de falhas, sejam utilizando medições de diversos equipamentos da rede, incluindo medidores inteligentes (TRINDADE, FREITAS e VIEIRA, 2014) ou

trabalhos que consideram redes neurais treinadas a partir de dados históricos de ocorrências conforme apresentado em (DASHTDAR, DASHTI e SHAKER, 2018)]. Entretanto, a baixa penetração de medidores inteligentes nos sistemas de distribuição do Brasil, dificulta a aplicação dessas metodologias.

O sensoriamento da rede, realizado por meio de dispositivos de proteção, como os religadores (KONDO, DANIELA VINCI, 2014), desempenha um papel crucial na localização de defeitos e na melhoria dos indicadores de continuidade da rede elétrica. Esses dispositivos integram o portfólio de estratégias de manutenção amplamente adotadas por diversas distribuidoras de energia, contribuindo para a eficiência operacional e a resiliência do sistema.

Este trabalho tem por objetivo apresentar o desenvolvimento e aplicação da ferramenta de Localização de Falhas Temporárias e sua plataforma de BI para apoio ao planejamento da manutenção contemplando os módulos de Localização de Falhas, Estimação de Estados e Front-End de comunicação para integração aos sistemas de informação do Centro de Operação da Distribuição, bem como dashboards elaborados no Microsoft Power BI da área de planejamento da manutenção. O módulo de localização de defeitos tem por objetivo identificar automaticamente uma falta permanente ou temporária na rede por meio de alarmes provenientes do sistema SCADA, fazer a localização dos possíveis locais de defeito e enviar as informações georreferenciadas para o sistema OMS utilizado na gestão de ocorrências em tempo real no COD e para o DataLake, um banco de dados histórico que permite agilidade na consulta de dados pelo Power BI da área de manutenção. No Microsoft Power BI da área de manutenção da empresa foram desenvolvidos dashboards com diversos gráficos para acompanhamento dos indicadores baseados nas localizações das faltas temporárias em conjunto com informações do sistema COFFEE que abriga as notas da manutenção da rede de energia.

## **2. Desenvolvimento**

Para alcançar o objetivo de apoiar as áreas de operação e manutenção da distribuição, com fornecimento de informações sobre os locais de defeitos, determinados de forma automática e baseados na configuração real da rede no momento do defeito, a metodologia proposta de desenvolvimento do ADA\_USP contemplou uma plataforma de módulos computacionais integrados aos sistemas de informação das empresas por meio de um Front-END de comunicação, o que permitiu o funcionamento dos módulos sem necessidade de intervenções dos usuários, obtendo dados necessários de diversos sistemas e levando, de forma automática, os resultados diretamente para o DataLake da empresa. Os detalhamentos das integrações e das funcionalidades dos módulos de Localização de faltas e Estimação de Estados, bem como dos Dashboards do Power BI, são apresentados nos itens a seguir.

### *3.1 Integração*

A integração dos módulos de localização de faltas e simulador de manobras com os sistemas legados da empresa, mais especificamente com o SCADA, GIS e OMS, se dá pelo módulo Front-End através de interfaces específicas para com os respectivos sistemas, conforme ilustrado na figura 1 a seguir.

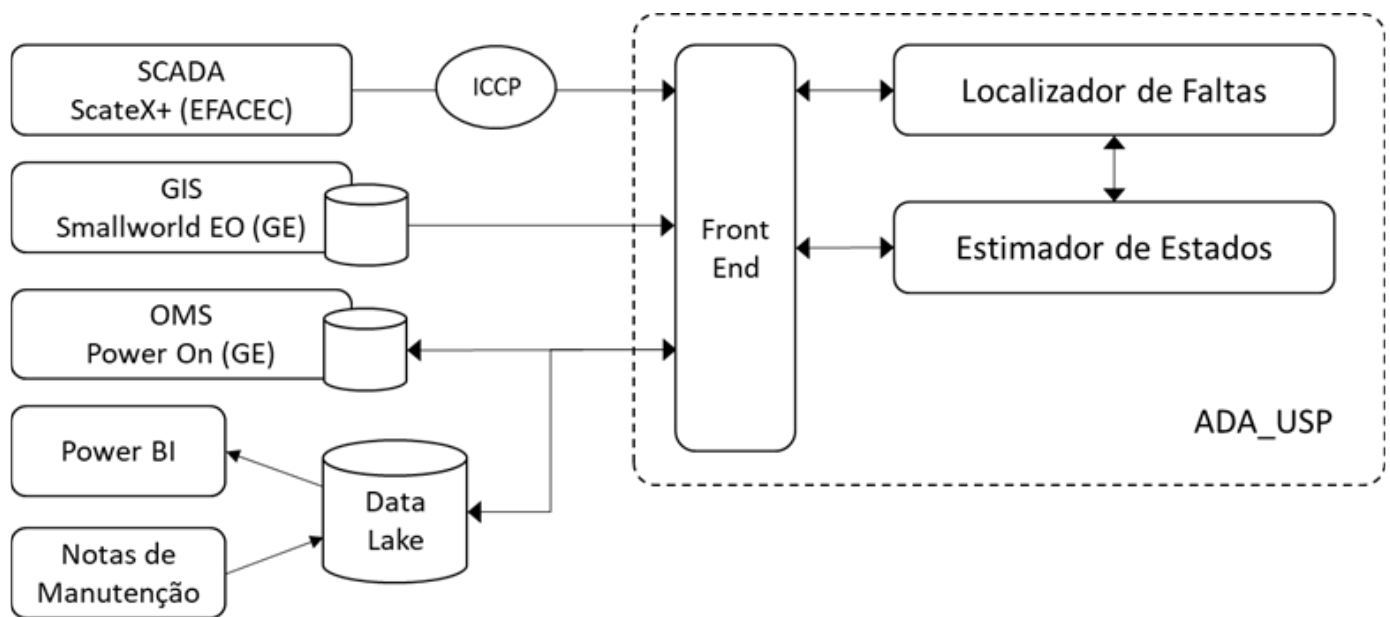


Figura 1 – Integração da plataforma ADA\_USP contendo os módulos Localizador de Faltas, Estimador de Estados com os sistemas legados e Data Lake da EDP através do módulo Front End.

A comunicação com o ScateX acontece via protocolo ICCP, um protocolo de alto nível para integração de sistemas supervisórios com troca de dados em tempo real como dados de tensões, correntes e alarmes em todos os disjuntores e religadores supervisionados por este sistema SCADA.

Os dados georreferenciados de rede são obtidos do sistema GIS chamado Smallworld EO por meio de Views criadas em seu banco de dados Oracle e acessadas diariamente, desta forma todas as informações de topologia de rede e características dos circuitos e equipamentos estão sempre disponíveis e atualizadas para os processos seguintes.

Os estados de todos os equipamentos de campo, disponíveis no OMS chamado PowerOn, são levados para o Estimador de Estados antes de cada localização de faltas, garantindo que cada localização seja baseada na real configuração da rede no instante da falta.

Os dados de localização de faltas temporárias são enviados para um Data Lake que abriga também informações das notas de manutenção, permitindo que os dados das localizações de falta e notas de manutenção sejam analisados de forma conjunta no Power BI.

### 3.2 Módulo de estimação de estados

A funcionalidade de estimação de estados é responsável por atualizar o modelo da rede elétrica, de forma que este fique o mais próximo possível das condições reais da rede, a partir dos dados de rede cadastrados originalmente no GIS, dos dados do SCADA e das informações e manobras (estados anormais) inseridas pelos operadores no OMS.

A estimação de estados para localização de faltas e simulação de manobras utiliza a rede em seu estado real, ou seja, a rede modelada na etapa de preparação da rede com dados do GIS é atualizada de acordo com os dados de estados anormais dos equipamentos (aberto, fechado), tags de bloqueio e outras informações provenientes do OMS.

Na sequência, a demanda das cargas da rede é atualizada com os resultados da execução do algoritmo iterativo Load Allocation do OpenDSS, onde a potência inicial das cargas é definida com base nas curvas típicas de demanda, provenientes do GIS, e as medições de referência para ajuste da demanda do algoritmo são definidas com base nas medições de corrente de equipamentos telecomandos provenientes do SCADA.

### 3.3 Módulo de Localização de Faltas

O algoritmo inteligente do módulo de localização de faltas faz a interpretação e seleção dos alarmes de interesse, dentre a avalanche de dados recebidos via ICCP do SCADA, e os resultados das localizações georreferenciadas são enviados para o OMS e para o Power BI.

Os alarmes de interesse selecionados pelo módulo para caracterizar uma falta contemplam informações sobre o horário do alarme, código do equipamento, tipo de alarme (proteção atuada, corrente de curto-circuito, autobloqueio, abertura e fechamento de chaves) os quais são agrupados e tratados em um mesmo processo.

Com as informações dos equipamentos sobre as correntes de falta trifásica, bifásica ou curto franco fase-terra, o algoritmo faz a comparação com os módulos das correntes de falta simulados em todos os nós da rede, através de um motor de cálculos de curto-circuito baseado na função FaultStudy do simulador OpenDSS (DUGAN e MCDERMOTT, 2011), sendo consideradas soluções os casos em que o módulo da diferença entre as correntes obtidas do SCADA e as simuladas estejam dentro de uma tolerância especificada.

Ao final deste processo, a falta é classificada em temporária, se dispositivo permaneceu fechado após os religamentos, ou permanente, se após os religamentos o dispositivo ficou aberto e entrou em autobloqueio. Na sequência, a lista de possíveis locais de defeito daquela falta é ranqueada segundo os seguintes critérios:

- i. Localizações na zona de proteção do dispositivo atuado, priorizando as localizações com corrente de curto mais próxima da corrente de trip;
- ii. Localizações fora da zona de proteção do dispositivo atuado, mas em área protegida por fusível e existência de curva rápida parametrizada no dispositivo atuado à montante, priorizando os fusíveis com maior elo;
- iii. Localizações fora da zona de proteção do dispositivo atuado, mas em área protegida por fusível e ausência de curva rápida parametrizada no dispositivo atuado à montante, priorizando os fusíveis com maior elo;
- iv. Demais localizações fora da zona de proteção do dispositivo atuado, priorizando as localizações com corrente de curto mais próxima da corrente de trip;

Além do ranqueamento, visando criar um indicador para ser apresentado no BI, é atribuída uma nota para cada um dos defeitos localizados para aquela falta, sendo que a soma das notas de cada defeito, independentemente da quantidade de possíveis locais de defeitos encontrados, deverá ser 1,0, facilitando as métricas e comparações no BI.

Por fim os resultados são enviados para o sistema o OMS e para o Data Lake, um banco de dados que abriga também informações das notas de manutenção, permitindo que os dados das localizações de falta e notas de manutenção sejam analisados de forma conjunta no Microsoft Power BI.

### 3.4 Resultados

O produto do projeto constitui da ferramenta de Localização de Faltas Temporárias e uma plataforma BI de análise das localizações das faltas com intuito de fornecer uma quantidade maior de insumos para os estudos do planejamento da manutenção de redes de distribuição.

Durante o período de junho a novembro de 2024 foram localizadas automaticamente um total de aproximadamente 17,9 mil localizações de faltas temporárias nas redes da EDP SP e EDP ES, considerando toda a área de concessão das empresas com mais de 160 subestações. Vale ressaltar que o módulo também permite a simulação de localizações de defeito a partir da entrada manual de correntes de curto-circuito na interface do PowerOn.

Todos os resultados das localizações de faltas foram enviados para o Data Lake da empresa, o que facilitou o armazenamento do histórico de informações e sua apresentação no Power BI onde os dash-

boards permitem a visualização georreferenciada das informações e integração com os dados das notas de manutenção, orientando a tomada de decisão sobre as áreas de rede mais vulneráveis e prioritárias para receberem inspeção no local.

A apresentação no Power BI é composta por quatro abas, sendo possível selecionar a exibição entre as duas empresas do grupo. A primeira aba apresenta uma visão geral dos resultados utilizando mapa de calor e agregações ao nível de subestação. Na segunda aba é incorporada a apresentação as notas de manutenção registradas no sistema Coffee, além de aprofundar as agregações ao nível de equipamento de atuação e de referência. Na terceira aba foi implementada a funcionalidade de cruzamento através de busca por distância entre as notas de manutenção e a agregação das soluções ao nível de poste. E por último, são apresentadas estatísticas de MTBF (do inglês, Mean Time Between Failures) estimado com base nos prováveis defeitos localizados a nível de equipamento de atuação e agregado a subestação, região e a nível de empresa.

A figura 2 apresenta o dashboard no Power BI com os resultados gerais do localizador de faltas, sendo apresentadas em formato de tabela, por agregações e mapa de calor. As três agregações em gráfico circular apresentam estatísticas por regionais da empresa, por tipo de falta entre permanente e temporária e por último pela solução de localização ser ou não no tronco do alimentador. A agregação por subestação é apresentada em barras horizontais ordenadas de modo decrescente quanto ao número de ocorrências de localização de faltas. O mapa de calor fornece uma visão georreferenciada de modo a identificar locais de maiores recorrências, sendo considerada para tanto a variável nota que é atribuída a cada solução do módulo.

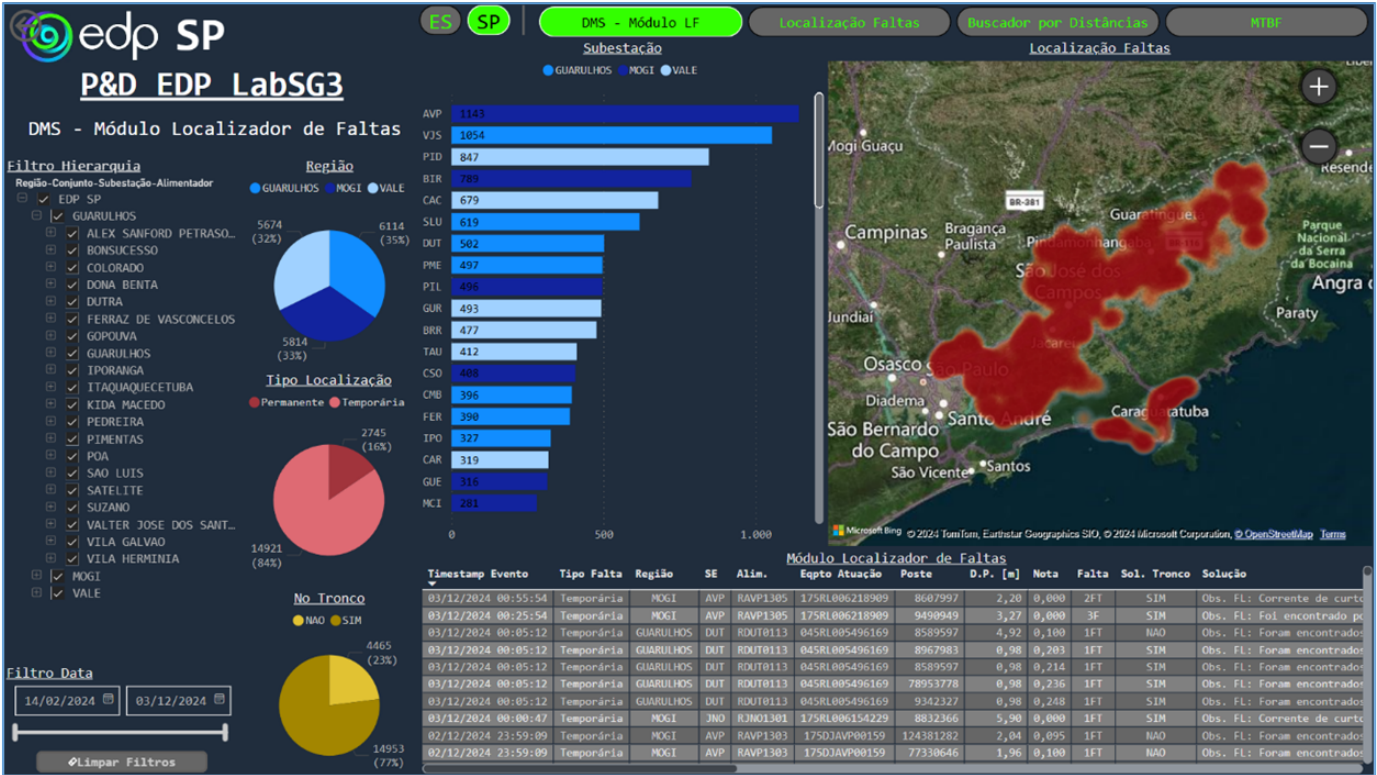


Figura 2 – Ferramenta de navegação e visualização dos resultados obtidos do Localizador de Faltas Temporárias.

A apresentação dos resultados em plataforma de BI permite uma melhor navegação e visualização por meio da aplicação de filtros dinâmicos e estáticos. Ao selecionar um segmento dos gráficos de agregação o dashboard atualizará as estatísticas relativas à seleção, bem como o mapa de calor e os resultados



em formato de lista. É possível também realizar filtragem da exibição por faixa de datas de interesse e por seleção dentro da hierarquia, sendo esta composta por região, conjunto ANEEL, subestação e alimentador. A figura 3 representa a aplicação do filtro para uma região da empresa apenas. É apresentada também a potencialidade de análise de uma área geográfica através da navegação pelo mapa de calor, no exemplo, sendo focalizado o entorno no aeroporto de Guarulhos.

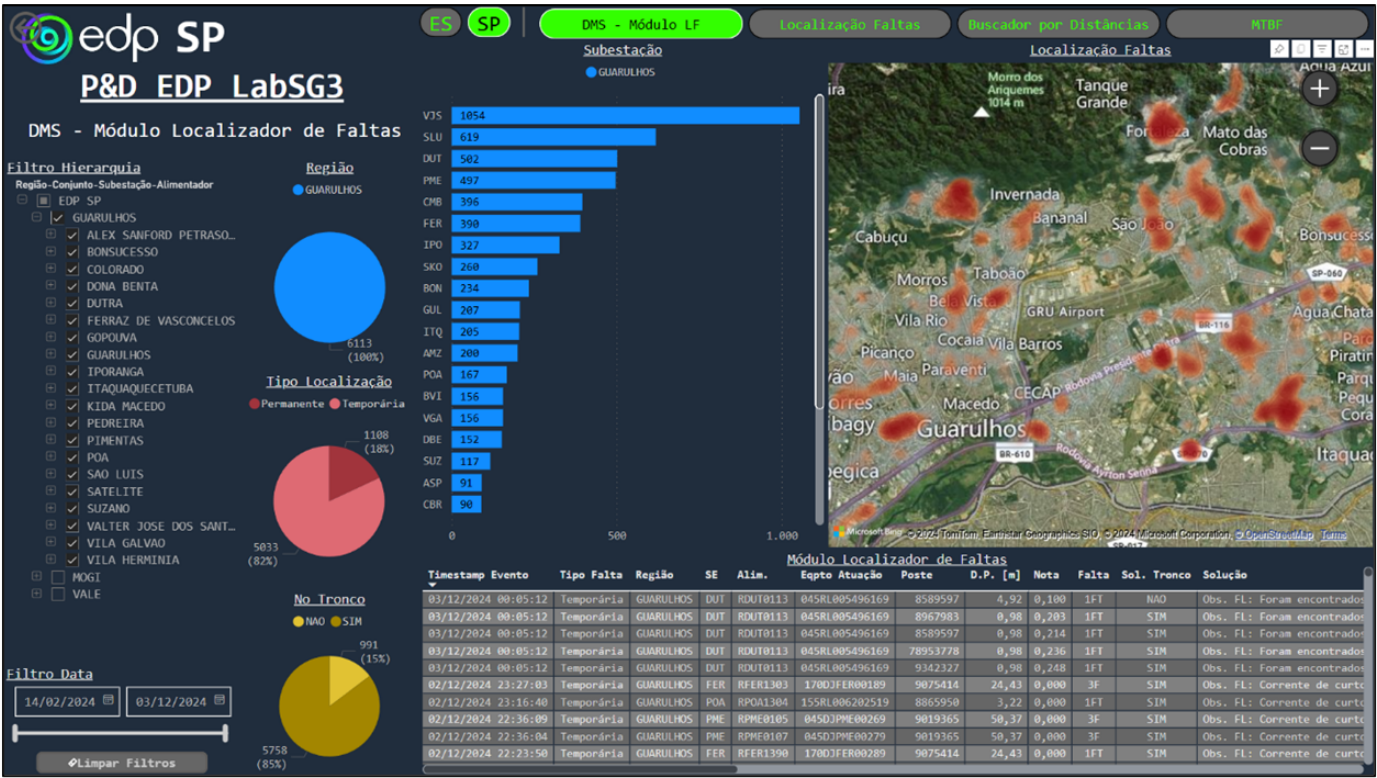


Figura 3 – Apresentação dos resultados com aplicação de filtros e navegação pelo mapa de calor. A figura 4 apresenta a aba de localização de faltas temporárias com a incorporação da exibição das notas de manutenção registradas no sistema COFFEE. As agregações de resultados agora são exibidas também em nível de equipamento de atuação e de equipamento de referência, sendo este o equipamento mais próximo eletricamente da localização do módulo. Os resultados são apresentados em mapa georreferenciado, bem como as notas de manutenção. Além disso, é apresentado o gráfico estatístico de MTBF para os equipamentos de atuação, sendo este mais detalhado na quarta aba específica para o tema.

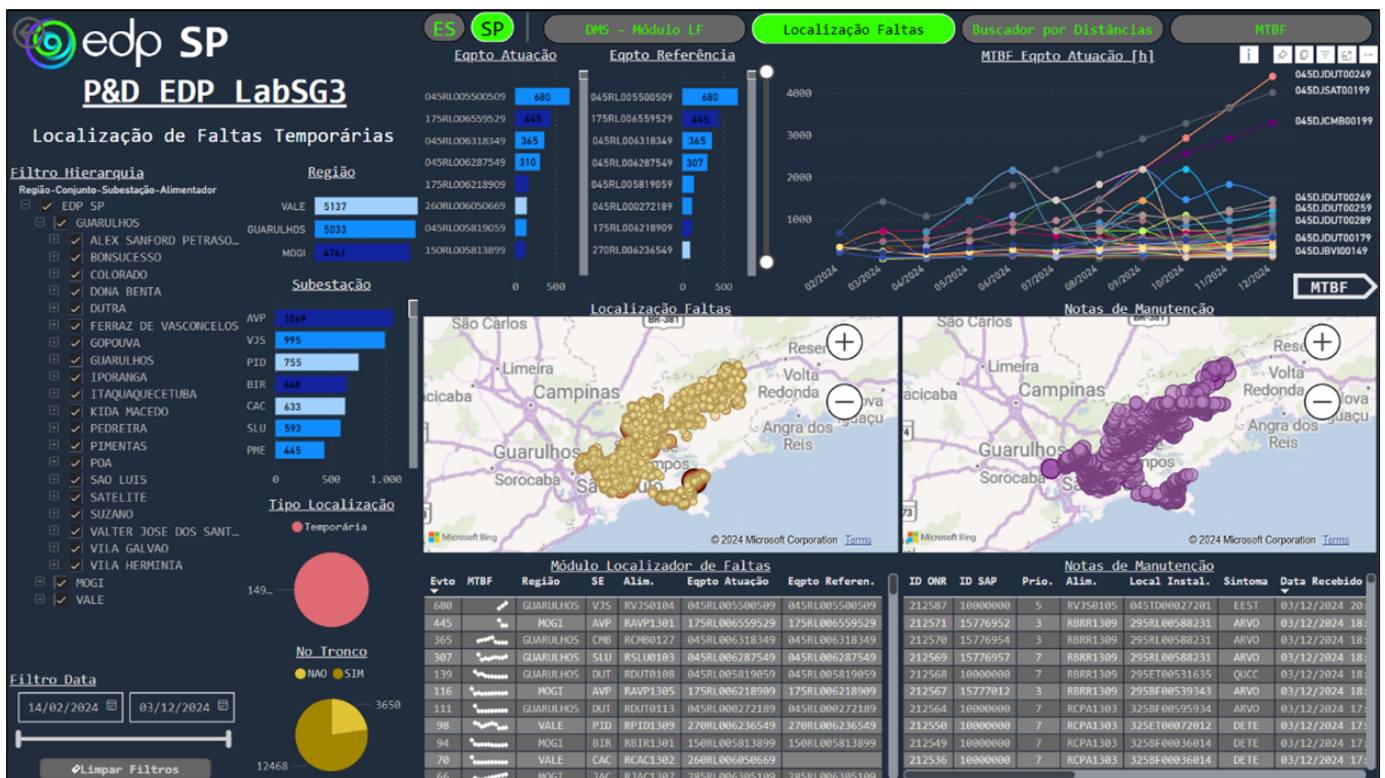


Figura 4 – Interface de análise dos resultados com segmentações menores e incorporação das notas de manutenção.

A funcionalidade de filtro apresentada na primeira aba é novamente utilizada possibilitando uma melhor navegação e focalização nos pontos críticos ou de interesse do planejador da manutenção. A figura 5 apresenta a mesma filtragem e navegação utilizadas na figura 3.



Figura 5 – Aplicação de filtros e navegação pelos dados do módulo e notas de manutenção.



A terceira aba, apresentada na figura 6, contém o buscador por distancias das notas de manutenção com relação a agregação em postes das localizações de faltas. Este foi implementada com objetivo de correlacionar locais já observados em campo e registrados com a necessidade de manutenção, compostas pelas notas de manutenção, e os locais onde efetivamente ocorreram interrupções temporárias e que o módulo localizador de faltas calculou como provável ponto de defeito. Além dos filtros já existentes, é fornecido dois novos filtros para busca por equipamento de referência e para seleção da distância em metros entre o poste alvo e as notas de manutenção.

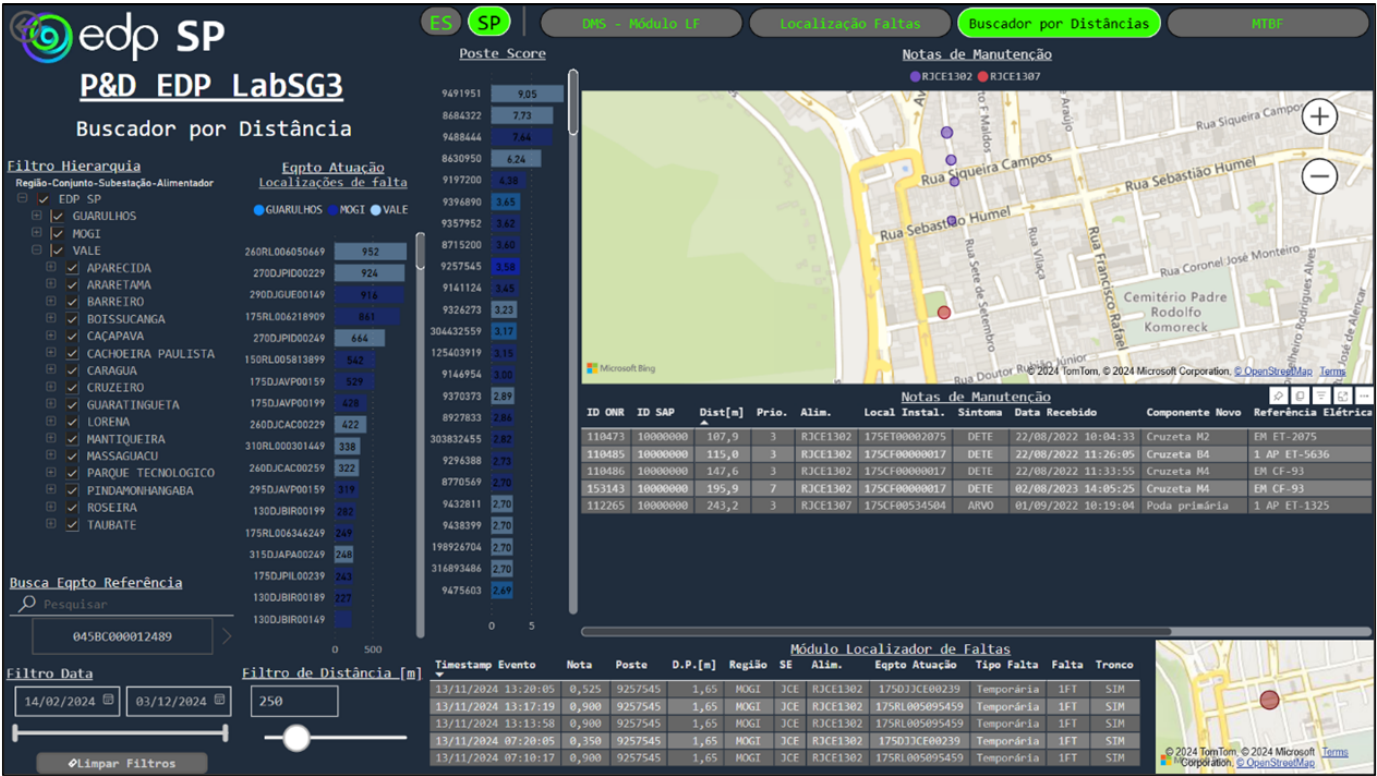


Figura 6 – Buscador dos distância entre localização de faltas e notas de manutenção pendentes.

A última aba apresenta uma análise evolutiva no tempo do MTBF, que é o tempo médio entre falhas. O MTBF é calculado pela razão entre o número de faltas e a janela de tempo, de modo que valores menores representam condição pior uma vez que indica que o intervalo entre ocorrências de interrupção é menor. Os gráficos apresentam a evolução destes valores nos meses fornecendo ao planejador indicadores de necessidade de intervenção de manutenção em função da diminuição do valor do MTBF, bem como feedback positivo no caso de aumento do MTBF em locais onde foram realizadas manutenções preventivas. A figura 7 apresenta esta aba, com as análises apresentadas para as agregações ao nível da empresa, região e subestação, bem como para os equipamentos de proteção que realizaram atuações.





Figura 7 – Análise contínua do tempo médio entre falhas, MTBF.

Os resultados obtidos pela plataforma foram confrontados com verificações em campo para validar a precisão dos apontamentos. A metodologia consistiu na seleção aleatória de 45 dispositivos de proteção (religadores e/ou disjuntores) que apresentaram mais de uma atuação por falta temporária e estavam incluídos no roteiro de inspeção anual. Desses, 20 pertenciam à distribuidora EDP ES e 25 à EDP SP. Para cada caso, foi elaborada uma lista contendo três colunas: a primeira indicava o dispositivo de proteção que atuou devido à falta temporária; a segunda, o ID do poste calculado pela plataforma como provável ponto de origem do defeito; e a terceira, as coordenadas geográficas desse poste.

Essa lista foi encaminhada a 13 inspetores de rede especializados em identificação de defeitos, que foram direcionados às coordenadas indicadas para verificar a existência de irregularidades. Na figura 8 abaixo, observa-se um exemplo em que o inspetor identificou galhos de árvores em contato com a rede elétrica, com evidências de queimaduras ocasionadas por curtos-circuitos. A imagem também apresenta dados da plataforma, como o dispositivo de proteção acionado e o tipo de falta registrado. Para cada inspeção, os inspetores documentaram suas constatações de campo.

## Como exemplo...

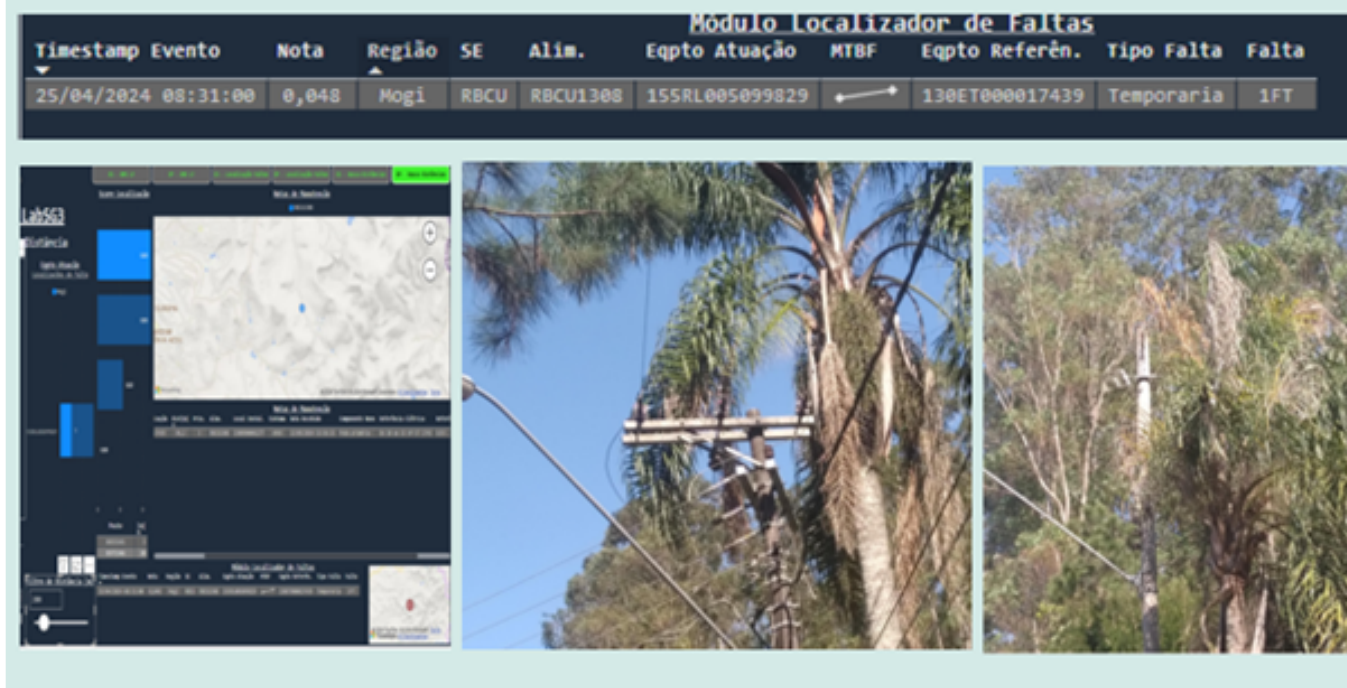


Figura 8 – Exemplo de verificação em campo.

Os resultados da amostragem indicaram que a plataforma apresentou uma taxa de acerto de 69% na localização do defeito e identificação do tipo de falta conforme figura 9.

## RESULTADOS YTD DOS 45 AMOSTRAS INSPECIONADAS:

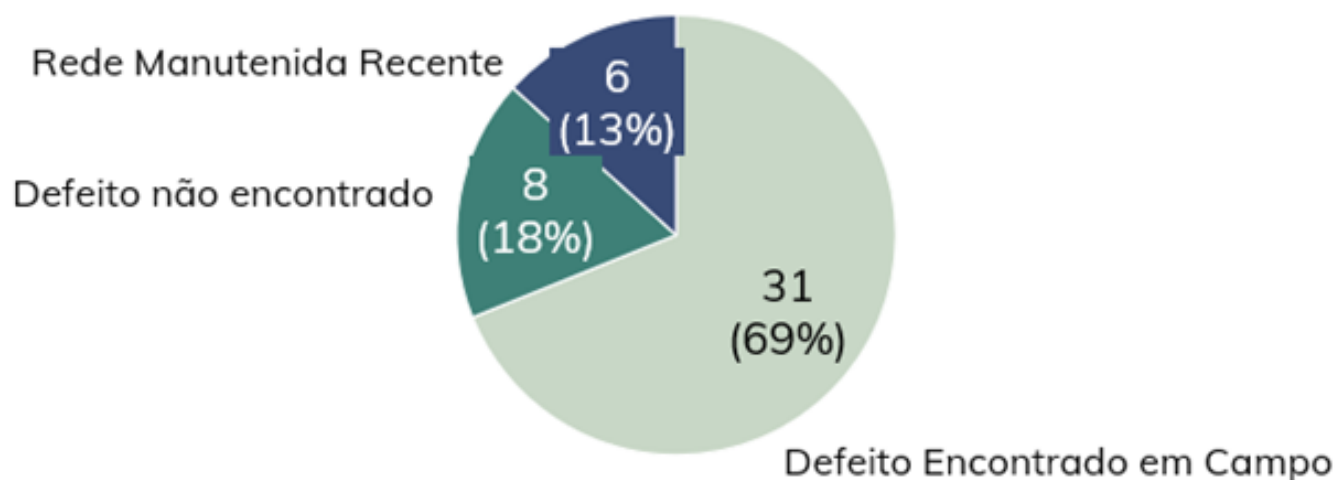


Figura 9 – Resultado amostra de Campo

Ao analisar os 31% de divergências, verificou-se que:

1. Em 18% dos casos, não havia nenhum defeito detectado no local.
2. Em 13% dos casos, as redes haviam sido recentemente modificadas por manutenção, como substituição de cruzetas ou podas de árvores realizadas recentemente.

Esses resultados demonstram que a plataforma possui um nível significativo de acuracidade, sendo uma ferramenta eficaz para correlacionar falhas detectadas com notas pendentes de manutenção. Dessa forma, pode contribuir para a priorização estratégica das execuções de manutenção na rede elétrica.

### **3. Conclusão**

Em sistemas de distribuição de energia, um defeito na rede requer ações rápidas do operador que contemplam, dentre outras ações, agilidade e precisão na localização do defeito que gerou a falta, para que possa ser isolado e corrigido, minimizando a quantidade e o tempo de clientes sem energia com vistas a atender os indicadores de qualidade do fornecimento.

Este trabalho apresentou o desenvolvimento e implantação da ferramenta de Localização de Falhas Temporárias para apoio ao planejamento da manutenção e na melhoria da qualidade do fornecimento de energia, dos indicadores de continuidade e diminuição dos gastos das distribuidoras com compensações aos consumidores. Na descrição das principais funções desempenhadas pelos módulos procurou-se apresentar as contribuições e inovações para obtenção de uma ferramenta com real potencial para utilização pelas áreas de manutenção e operação das distribuidoras.

Destaca-se a efetividade da aplicação da solução a possibilidade de utilizar essas faltas temporárias para correlacionar com as notas de manutenção pendente de execução para poder priorizar as manutenções preventivas, antes mesmo dessas faltas temporárias se tornarem permanentes.

Por fim, a aplicação em ambiente de produção durante o ano de 2024 resultou em cerca de 24,3 mil Localizações de faltas automáticas (somando permanentes e temporárias) e 770 simulações de manobra considerando toda a área de concessão do grupo EDP.

### **4. Referências bibliográficas**

MORAIS, R. F. Metodologia para planejamento da distribuição de energia elétrica através da aplicação de técnicas de análise de dados e inteligência de negócios. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 100. 2020.

KONDO, Daniela Vinci. Alocação de religadores automatizados em sistemas de distribuição. 2014. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-29122015-160636/>. Acesso em: 09 dez. 2024.

TRINDADE, F. C. L.; FREITAS, W.; VIEIRA, J. C. M.; "Fault Location in Distribution Systems Based on Smart Feeder Meters," in *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 29, no. 1, pp. 251-260, Feb. 2014.

DASHTDAR, M.; DASHTI AND, R.; SHAKER, H. R. "Distribution network fault section identification and fault location using artificial neural network," 2018 5th International Conference on Electrical and Electronic Engineering (ICEEE), Istanbul, Turkey, 2018, pp. 273-278

DUGAN, R. C.; MCDERMOTT, T. E. "An open source platform for collaborating on smart grid research," 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting, Detroit, MI, USA, 2011, pp. 1-7