

Aplicação de Analytics no Planejamento da Manutenção e Inspeção em Redes de Distribuição de Energia

Renan Franco de Moraes*, Luiz H. L. Rosa*, Carlos F. M. Almeida*, Márcio R. Cruz*, José A. C. A. Júnior*, Danilo S. Pereira*, Nelson Kagan*, José Antônio S. Brito**, Gustavo Travassos**

*Universidade de São Paulo (e-mail: renanfranco@usp.br)

**Grupo Neoenergia (e-mail: gtravassos@neoenergia.com)

Abstract: The maintenance and inspection planning areas of power distribution utilities play a important role in pursuing the achievement of rigorous indexes related to quality of service, quality of product and commercial service offered to the consumers as well as improving non-technical losses (NTL) reduction in concession area. These areas require analysis of a large amount of data and commonly use Analytics tools to achieve their goals. This paper presents an approach based on the application of ETL (Extract, Transform and Load) tools and Analytics to support combating of non-technical losses (NTL) and to orientate the predictive maintenances actions in the power grid. The proposed solution, including the Power System simulator systems and ETL functionalities, allowed the creation of important indicators and more relevant reports to support decision making and definition of maintenance and inspection plans.

Resumo: As áreas de planejamento da manutenção e inspeção das distribuidoras de energia têm papel fundamental na busca pelo atendimento de rigorosos índices de qualidade do serviço, qualidade do produto e atendimento comercial oferecido aos consumidores, bem como na busca pela redução das Perdas Não-Técnicas (PNT) em sua área de concessão. Essas áreas demandam análises de uma grande quantidade de dados e comumente fazem uso de ferramentas de Analytics para alcançar seus objetivos. Este trabalho apresenta uma abordagem baseada na aplicação de ferramentas ETL (*Extract, Transform, Load*) e *Analytics* no apoio ao combate às perdas não-técnicas (PNT) e direcionamento de ações preditivas de manutenção na rede elétrica. A solução proposta, contemplando a integração de sistemas de análise de rede e funcionalidades do ETL, permitiu a criação de importantes indicadores e relatórios mais relevantes para apoiar a tomada de decisão e definição de planos de manutenção e inspeção.

Keywords: Predictive maintenance; Non-technical losses; Fault location; ETL; Business intelligence; Analytics.

Palavras-chaves: Manutenção Preditiva; Perdas Não-Técnicas; Localização de Falhas; ETL; Inteligência de Negócios; Analytics.

1. INTRODUÇÃO

Uma Rede Elétrica Inteligente (REI) é uma rede que integra o comportamento e as ações de todos que estão conectados a ela (geradores, consumidores e aqueles que fazem ambos) de forma a garantir um sistema elétrico economicamente eficiente e sustentável com baixas perdas e altos níveis de qualidade e segurança no suprimento (EU Commission Task Force for Smart Grids, 2010).

Uma diferença entre as redes de energia elétrica convencionais e as REIs recai na capacidade dos equipamentos inteligentes em monitorar e comunicar-se de forma mais eficiente e efetiva, gerando uma grande quantidade de dados. As REIs aproveitam as novas características de equipamentos ou produtos e serviços inovadores junto com a monitoração inteligente, análise, controle remoto, comunicação e capacidade de reconfiguração da rede de forma integrada, a fim de tornar-se mais dinâmicas do ponto de vista econômico e operacional. (KAGAN et al. 2013).

Os dados que podem ser extraídos das REIs contêm informações valiosas que podem expor oportunidades de utilização mais eficiente dos recursos existentes. Segundo Marlen, A., *et al.* (2019), o processo de coleta de dados de medidores inteligentes, seguido de análise técnica dos dados pode ser chamado de *Energy Analytics* e permite a obtenção de importantes informações, correlações, tendências e padrões.

As tecnologias de *Data Mining* e *Analytics* são utilizadas para o processamento de um enorme volume de dados provenientes de diversas infraestruturas presentes nas REIs, como Infraestrutura de Medição Avançada (AMI), abordada por Alahakoon, D., Yu, X. (2013) e Wang, Y. *et al.* (2019), e Automação (Fan, Z. *et al.* 2012).

O emprego dessas tecnologias é possível em diversas áreas da distribuição de energia, como: otimização da operação, integração de fontes renováveis distribuídas, soluções de armazenamento de energia, aplicações para consumidores, arquiteturas de comunicação, eficiência de equipes de campo

(Liu, W.H.E., 2010) e cyber-segurança (Choucri, N., Agarwal, G., 2017).

Segundo Munshi, A.A. (2018), ainda que os avanços nas REIs estejam permitindo que uma grande quantidade de dados seja agregada e analisada para várias aplicações, os sistemas tradicionais de gerenciamento de dados não dispõem dos recursos de armazenamento e processamento atualmente necessários.

Neste trabalho, foi desenvolvida uma aplicação totalmente integrada, desde a aquisição de dados oriundos dos sistemas legados. A aplicação também é responsável pela execução de algoritmos para localização de defeitos e determinação de perdas não-técnicas, os quais são realizados com apoio de software específico para a análise de redes elétricas. Por fim, os resultados são integrados através de uma ferramenta ETL, responsável pela extração, transformação e carregamento de dados em um *Data Warehouse* (DW), formando uma solução capaz de gerar indicadores de desempenho para posterior análise através de *dashboards* desenvolvidos com base em software de *Analytics*. A aplicação desenvolvida tem como principais enfoques o suporte ao planejamento de inspeções e Manutenção das Distribuidoras, através da análise de dados de perdas e de identificação de defeitos temporários. O uso dessas metodologias possibilita às distribuidoras de energia elétrica uma melhor estimativa de perdas técnicas (PT) e não-técnicas (PNT), contribuindo no direcionamento de ações, determinando as áreas com maiores índices de fraude e furto de energia elétrica, e otimizando o Planejamento de Inspeções. Além disso, a aplicação possibilita uma nova abordagem na avaliação de regiões mais vulneráveis das redes de distribuição por meio da análise dos indicadores voltados para ocorrência e frequência de determinados defeitos permanentes e temporários na rede, auxiliando no Planejamento da Manutenção.

A seção 2 apresenta uma gama de aplicações com base em ferramentas de *Data Mining* e *Analytics* para processamento de *Big Data* e apoio a processos relacionados à distribuição de energia elétrica. A seção 3 apresenta a metodologia e o desenvolvimento da solução proposta. Os resultados alcançados através da aplicação proposta são apresentados na seção 4 através um estudo de caso que utiliza dados reais de uma distribuidora brasileira.

2. APLICAÇÕES DE ANALYTICS

A utilização de tecnologias de *Analytics* no setor elétrico se encontra em constante evolução. De acordo com Marlen, A., *et al.* (2019), essa relação pode ser denominada de *Energy Analytics*, que consiste na coleta de dados de sensores, dispositivos inteligentes e medidores inteligentes em tempo real e aplicação de algum tipo de técnica de análise de dados para obter informações sobre correlações, tendências e padrões importantes. Esse trabalho realizou um estudo utilizando dados de consumo de 5.567 unidades consumidoras de Londres, utilizando os perfis de carga obtidos para análises posteriores.

Juntamente com as vantagens da medição inteligente na implementação das REI surgem também os desafios, como,

por exemplo, o gerenciamento de grandes quantidades dos dados de medição coletados. Segundo Alahakoon, D., Yu, X. (2013), a AMI resultou na geração de um volume de dados sem precedentes, que podem ser classificados como *Big Data* devido ao volume, velocidade, variação e complexidade. Sendo assim, os autores propõem que os dados da AMI sejam categorizados como dados de consumo e eventos pois, atualmente, a maioria das análises é realizada nos dados de consumo.

Continuando com o enfoque nos dados providos pela AMI, Wang, Y. *et al.* (2019) dividiram a utilização dos dados coletados em três áreas de aplicação: análise de carga, previsão de carga, e gerenciamento de carga. Os autores também discutem a aplicação de tecnologia de análise de dados, como *Big Data*, *machine learning*, novos modelos de negócios, a transição de sistemas de energia e privacidade e segurança de dados. Por fim, os autores ainda destacam a detecção de dados incorretos, pois a identificação dessas anomalias é muito importante para modelos de previsão ou *clustering* de dados oriundos de medidores inteligentes, evitando falhas na estimativa de parâmetros. Além disso, dados confiáveis de medidores inteligentes são importantes para o faturamento e planejamento de inspeções.

Com o número cada vez maior de dispositivos inteligentes na rede, o conceito de *Machine-to-Machine* (M2M) está cada vez mais presente. No trabalho apresentado por Fan, Z. *et al.* (2012), os autores abordam uma visão geral do M2M e suas aplicações nas REI, como monitoramento e controle de áreas amplas, diagnóstico de falhas do sistema, melhoria da confiabilidade, resposta a demanda, gerenciamento do consumo de energia em resposta às condições de fornecimento, etc. Utilizando-se de dados obtidos do sistema AMI, também estudaram os dados providos pelos medidores inteligentes, realizando uma análise detalhada para identificação de fases.

Liu, W.H.E. (2010) abordou as integrações necessárias nas REI. Segundo o autor, as integrações de análises e informações podem ser divididas em seis domínios: controle e otimização do sistema, integração de fontes renováveis, soluções de armazenamento de energia, aplicativos para uso do consumidor, arquitetura de comunicação e, por fim, eficiência da equipe de trabalho. Sendo assim, concluíram que são necessários aplicativos de integração de informações e análises para resolver os problemas gerados por cada domínio.

Com o foco em segurança da informação (cyber-segurança), Choucri, N., Agarwal, G. (2017) apresentou uma estratégia para garantir a segurança dos dados gerados pelas REI, utilizando-se dos relatórios do *National Institute of Standards and Technology* (NIST) dos EUA sobre segurança cibernética nas REIs, identificando os dados críticos que definem os elementos de um modelo de referência.

Os ambientes de *Big Data* não geram valor por si só, ou seja, não garantem que seja possível criar compreensão e gerar resultados tangíveis para a empresa distribuidora. Sendo assim, surge-se o conceito de *Data Lake*, um repositório que armazena um grande e variado volume de dados, de forma

estruturada ou não, onde os mesmos são acessados e armazenados em sua forma original e de onde se pode diretamente buscar correlações e informações que subsidiem a criação do DW. Munshi, A.A. (2018) apresentou uma estrutura de *Data Lake* para armazenar dados diversos obtidos do sistema de AMI. Os autores apresentaram um sistema de coleta e armazenamento de dados na nuvem, permitindo coletar vários tipos de dados das REIs, incluindo dados de medidores inteligentes e dados de imagem e vídeo, viabilizando a realização de processos de mineração de dados através de softwares de processamento.

Em todas as aplicações de *Analytics* mencionadas, a preocupação com o volume de dados, com o desempenho das aplicações e custos computacionais com armazenamento e processamento dos dados estava sempre presente.

3. DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

3.1 Mapeamento de objetivos e dados provenientes dos sistemas legados das Distribuidoras

A aplicação desenvolvida tem como objetivos principais:

- ✓ Auxiliar na identificação de áreas com maior índice de PNT;
- ✓ Direcionamento de equipes de inspeção para áreas com maior índice de PNT;
- ✓ Redução dos índices de PT e PNT para cumprimento das metas estabelecidas pela ANEEL;
- ✓ Mapeamento de áreas mais vulneráveis, ou seja, trechos de rede e equipamentos com maior incidência de defeitos;
- ✓ Análise detalhada das causas e tipos de defeitos.

Para cumprir tais objetivos, a metodologia foi estruturada em três blocos:

1. Mapeamento de dados provenientes dos sistemas legados da Distribuidora;
2. Coleta e transformação de dados para geração de indicadores;
3. Relatórios para análises dos resultados gerados pela aplicação.

As etapas da aplicação e seus respectivos blocos são ilustradas pela Figura 1.

Para a correta geração dos indicadores e posterior análise, foram realizados levantamentos dos seguintes dados dos sistemas legados da Distribuidora:

- ✓ Parâmetros georreferenciados de equipamentos de rede elétrica como barras, trechos e equipamentos;
- ✓ Dados de medições de sensores instalados ao longo da rede;
- ✓ Medições nas saídas dos alimentadores;
- ✓ Medições de disjuntores e religadores durante o curto-circuito – fasores de corrente e de tensão;

- ✓ Registros de ocorrências de interrupção do fornecimento de energia elétrica.

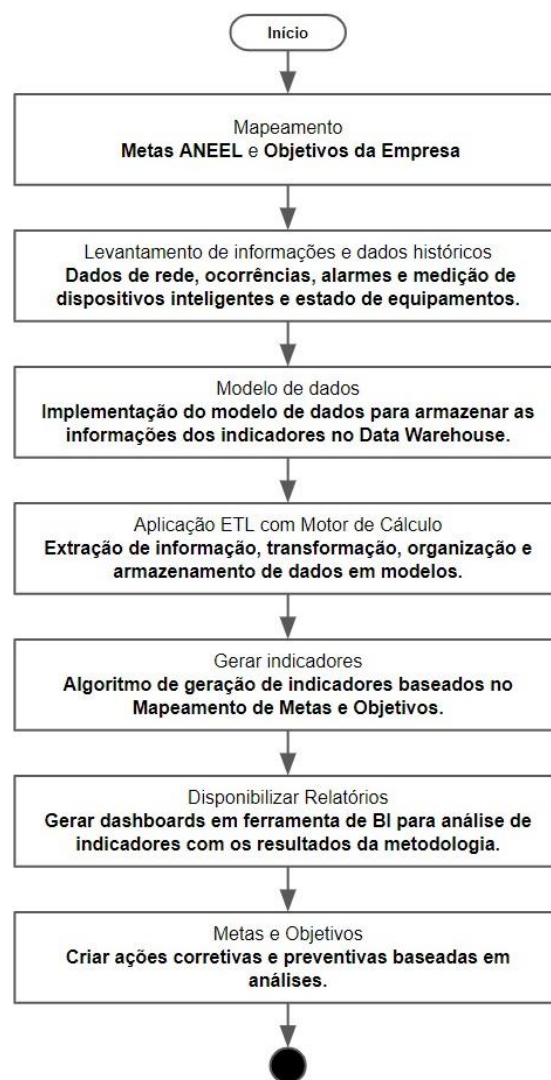


Fig 1. Metodologia

3.2 Aplicação de coleta e transformação de dados e geração de indicadores

Foi modelado um *Data Warehouse* (DW) para o armazenamento de dados e indicadores gerados pela aplicação proposta neste artigo. As aquisições dos dados listados foram realizadas através de uma ferramenta ETL, que possui as funções de extrair dados de diversas fontes, analisar e transformar esses dados, e, posteriormente, armazená-los em um banco de dados. Porém, além de consultar um barramento de interoperabilidade, o qual permite acesso aos dados dos sistemas legados da distribuidora, a presente aplicação também possui um motor de cálculo integrado, que por sua vez utiliza os dados extraídos e calcula os indicadores utilizados na avaliação de desempenho da rede de distribuição. Esses indicadores são persistidos no DW para que posteriormente sejam utilizados nos *dashboards* presentes no *software* de BI.

Na Figura 2, para o melhor entendimento da aplicação desenvolvida, podemos visualizar a arquitetura da solução.

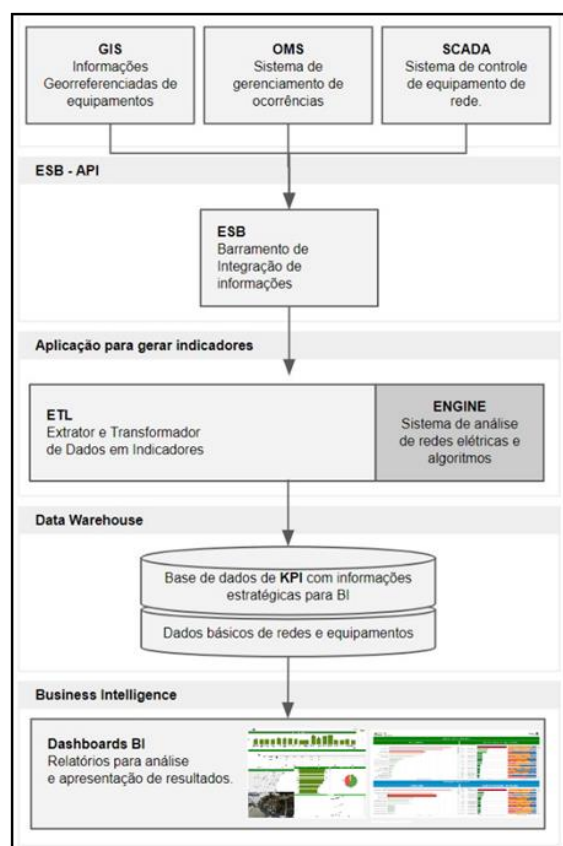


Fig 2. Arquitetura da Solução

Foram desenvolvidos dois módulos – Módulo de Cálculo de Perdas (MCP) e Módulo de Localização de Falhas (MLF) – para permitir a geração de indicadores pertinentes para cada fim. Esses módulos se baseiam em uma plataforma de análise de redes elétricas, que representa a rede e seus equipamentos de forma georreferenciada, calcula fluxo de potência e simula curtos-circuitos.

3.2.1 Módulo de Cálculo de Perdas

Tratando-se de perdas não-técnicas (PNT), as distribuidoras com valor acima da meta estabelecida pela ANEEL estão sujeitas a um plano de redução de PNT e serão remuneradas de acordo com o cumprimento desse plano (ANEEL, PRODIST, Módulo 8, Rev. 7, 2016). Qualquer valor superior à meta de PNT determinado pelo órgão regulador configura um prejuízo direto à empresa de distribuição de energia elétrica. Por isso, as distribuidoras possuem interesse em localização e mitigação a esse tipo de problema, uma vez que o mesmo afeta a saúde financeira da empresa.

Dessa forma, o MCP foi desenvolvido para o auxílio no planejamento da inspeção. Basicamente, ele realiza uma comparação entre a medição de energia feita através de sensores inteligentes instalados ao longo da rede de média tensão da distribuidora e a energia faturada, de modo a

possibilitar o cálculo de uma estimativa para perdas totais do sistema. Além do auxílio no diagnóstico de perdas, os sensores inteligentes também possibilitam monitorar outros aspectos, como qualidade de energia e localização de faltas.

Em seguida, o MCP diferencia as perdas técnicas e não-técnicas na rede em análise. Esses sensores inteligentes presentes na rede possibilitam o monitoramento da corrente por fase em alimentadores, permitindo maior precisão e agilidade na identificação de áreas com fraudes e furtos de energia.

A seguir, são listados os dados de entrada necessários para o correto funcionamento do MCP e geração dos indicadores pelo mesmo:

1. Dados georreferenciados de redes;
2. Dados de medição na saída dos alimentadores e de energia injetada no circuito em avaliação;
3. Dados de medições de sensores instalados na rede;
4. Dados de faturamento de energia;
5. Dados de iluminação pública (IP).

A tela do MCP é apresentada na Figura 3.

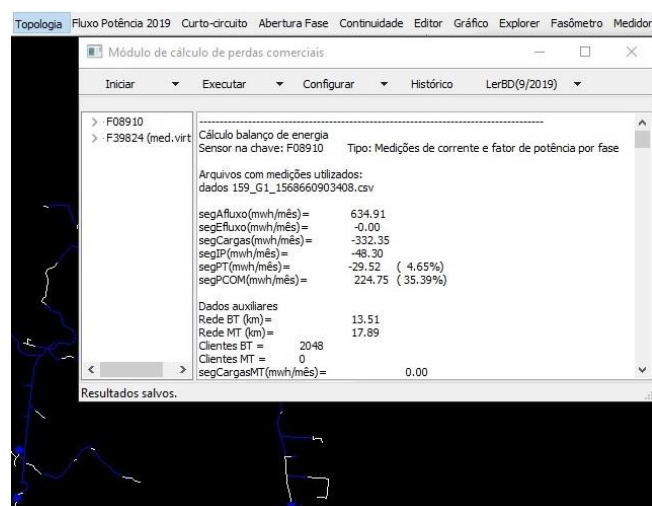


Fig 3. Módulo de Cálculo de Perdas (MCP)

Com o objetivo de melhor compreender os indicadores calculados, torna-se necessário definir uma região de controle onde são realizados os cálculos do balanço de energia. Essa região é determinada para cada ponto de medição (tipicamente, corresponde a um sensor inteligente), considerando entre o próprio ponto de medição como referência e delimitada pelos pontos de medição limítrofes a jusante (os quais podem corresponder a outros sensores inteligentes ou até mesmo pontos de consumo de energia), conforme ilustrado na Figura 4, onde também são apresentados fluxos de potência utilizados para o cálculo do balanço de energia.

Após a execução do MCP, os seguintes dados são disponibilizados:

- ✓ Afluxo de energia na região do sensor (vide Figura 4);
- ✓ Efluxo de energia por sensores a jusante (vide Figura 4);
- ✓ Consumo das cargas presentes na região do sensor;
- ✓ Consumo de IP na região do sensor;
- ✓ Perdas técnicas e não-técnicas na região do sensor;
- ✓ Extensão da rede de Baixa Tensão (BT) e Média Tensão (MT) em km, na região do sensor;
- ✓ Número de clientes de Baixa Tensão (BT) e Média Tensão (MT), na região do sensor;
- ✓ Perdas no cabo em toda a rede;
- ✓ Perdas no cabo a jusante da chave selecionada;
- ✓ Perdas no transformador;

- ✓ Perdas no cobre e no ferro do transformador;
- ✓ Perdas no ramal;
- ✓ Perdas no sensor;
- ✓ Perdas em outros segmentos;
- ✓ Perdas obtidas a partir do cálculo do fluxo de potência;
- ✓ Perda técnica total;
- ✓ Perdas incorporadas fora do cálculo de fluxo de potência.

Essas informações são armazenadas no DW para que sejam consultadas nas análises realizadas no *software* de BI.

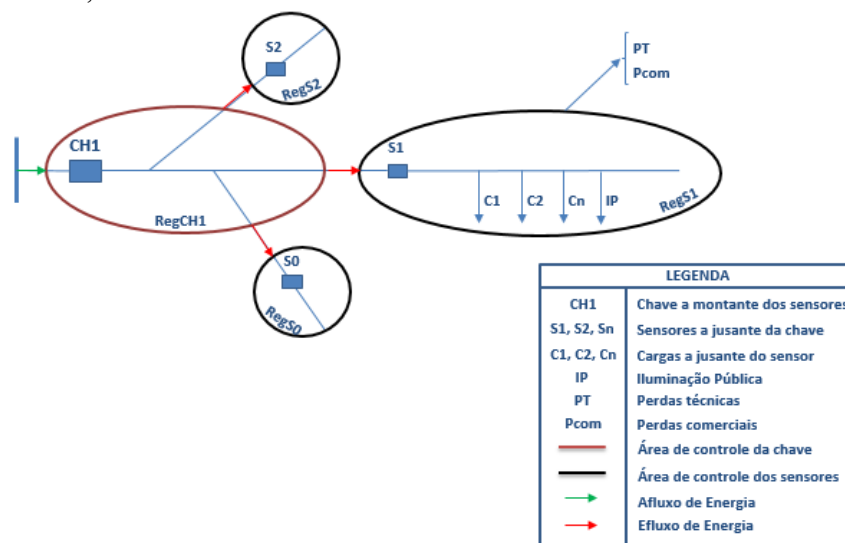


Fig 4. Demonstrativo de regiões de controle e variáveis

3.2.2 Módulo de Localização de Falhas

O MLF considera os seguintes dados de entrada:

- ✓ Modelo georreferenciado da rede – conectividade dos equipamentos, lista de consumidores, impedâncias dos cabos, potências de curto-circuito do suprimento, dentre outros parâmetros;
- ✓ Fasores de tensões durante o curto-circuito, medidos em chave de proteção telesupervisionada (disjuntor ou religador);
- ✓ Fasores de correntes durante o curto-circuito, medidas em chave de proteção telesupervisionada (disjuntor ou religador).

Na Figura 5, detalha-se funcionamento do módulo desenvolvido. Para um determinado evento de curto-circuito, o MLF processa as medições segundo algumas etapas: determinação da área de busca da falta, classificação da falta, e localização da falta.

➤ Determinação da área de busca da falta

Nessa etapa do processo, identifica-se os equipamentos de campo responsáveis pelas medições durante a falta. O

cadastro de equipamentos de campo permite determinar o alimentador afetado pela falta.

A análise das posições dos dispositivos de proteção sensibilizados pela falta permite definir o dispositivo de proteção mais distante em relação à subestação, denominado Dispositivo de Referência da Falta (DRF). A área de busca da falta consiste em todos os trechos de rede, chaves e barras a jusante do DRF.

➤ Classificação da falta

Em função dos módulos das correntes de fase relativas ao instante da falta, medidas pelo DRF, calcula-se um valor médio de corrente e seus respectivos desvios em relação ao valor médio. Com base nesses desvios dos módulos de correntes, classifica-se a falta em: trifásica (3F), dupla-fase (2F), dupla-fase-terra (2FT) ou fase-terra (FT). (Pereira, D.S., 2019)

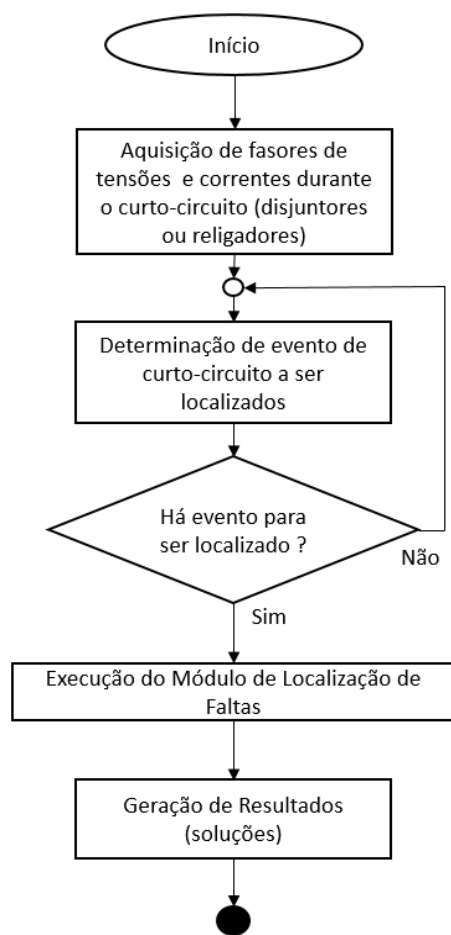


Fig 5. Módulo de Localização de Faltas

➤ Localização da falta

Na terceira etapa, executa-se a localização da falta efetivamente. Com os fasores das tensões e das correntes medidos pelo DRF, calcula-se a reatância total de falta X_{falta} : a soma das reatâncias dos trechos desde o DRF até o local da falta.

Uma vez que o modelo elétrico da rede contém as características elétricas dos cabos, determina-se as reatâncias acumuladas de todos os trechos da área de busca, em relação ao DRF. Para um determinado trecho, caso sua reatância acumulada desde o DRF (X_{trecho}) for próxima de X_{falta} , dada uma tolerância percentual configurável, considera-se que a extremidade desse trecho é uma solução candidata de localização da falta.

Por fim, os curtos-circuitos das soluções candidatas são simulados e as tensões e as correntes durante a simulação são comparadas com as respectivas grandezas medidas pelo DRF, gerando um Índice de Probabilidade de Localização (IPL).

Após executar a localização de faltas para todos os eventos de curtos-circuitos registrados, o MLF produz um arquivo estruturado (formatação XML) com todas as possíveis soluções, ordenadas da mais provável (maior IPL) para a

menos provável (menor IPL). Os resultados gerados pelo MLF são transferidos pela ferramenta ETL ao DW para que sejam consultadas nas análises realizadas no software de BI, as quais serão apresentadas a seguir.

3.3 Relatórios para análise dos resultados gerados pela aplicação

Para demonstração da aplicação da solução desenvolvida apresenta-se o estudo de caso realizado para uma empresa do grupo NEOENERGIA, contemplando extração de dados reais dos sistemas legados da empresa e geração de novos indicadores e *dashboards* para auxílio no planejamento da manutenção e inspeção.

A aplicação da ferramenta gerou como resultados as seguintes análises:

- ✓ Evolução mensal de perdas técnicas e não-técnicas;
- ✓ Análise de áreas com maiores índices de perdas técnicas e não-técnicas;
- ✓ Distribuição da energia injetada em perdas não-técnicas, perdas técnicas e energia faturada;
- ✓ Visão georreferenciada de dados de perdas na rede de distribuição;
- ✓ Subestações, alimentadores e dispositivos de proteção com maior incidência de defeitos;
- ✓ Atribuição de pontuação (SCORE) para cada dispositivo de proteção, de acordo com a incidência de defeitos;
- ✓ Tipos de defeitos com maiores incidências em cada área da rede;
- ✓ Análise detalhada de tipos de defeitos e causas apresentando a porcentagem por tipo de falta (Monofásica, Bifásica ou Trifásica).

Utilizando-se dos dados gerados pelo MCP, foi desenvolvido na plataforma de BI (Tableau, 2019) e disponibilizado aos usuários o painel apresentado na Figura 6.

Nessa visualização, é possível que o usuário analise cinco diferentes indicadores de perdas, sendo eles:

- ✓ Perdas não-técnicas (%);
- ✓ Perdas não-técnicas (MWh);
- ✓ Perdas não-técnicas/cliente (kWh);
- ✓ Perdas técnicas (%);
- ✓ Perdas técnicas (MWh).

O *dashboard* de barras alocado na parte superior do painel principal tem como objetivo apresentar a evolução mensal de qualquer um dos cinco indicadores de Perdas da área monitorada pela Distribuidora. A aplicação permite ao usuário escolher qual dos cinco indicadores listados acima irá visualizar.

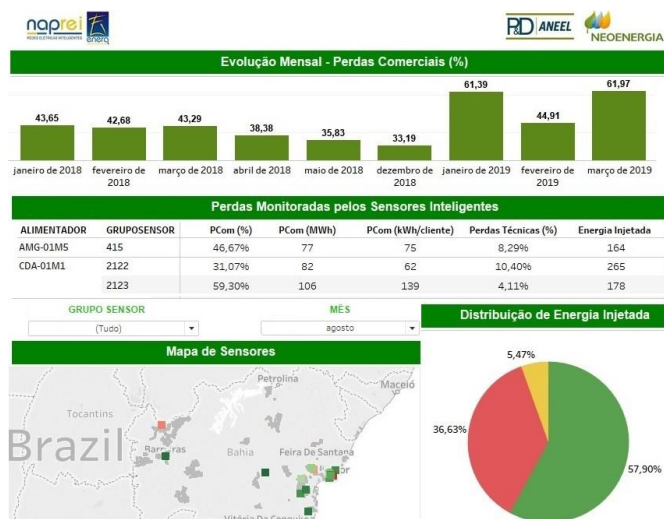


Fig 6. Painel de Análise de Perdas

Visando auxiliar na identificação de áreas com maiores índices de perdas, foi disponibilizada uma visão georreferenciada contendo a rede e os sensores inteligentes instalados, permitindo assim a análise dos dados de perdas e, consequentemente, a identificação das regiões críticas. Ao selecionar uma área da rede, a mesma pode ser visualizada *in loco* utilizando-se do Google Street View®.

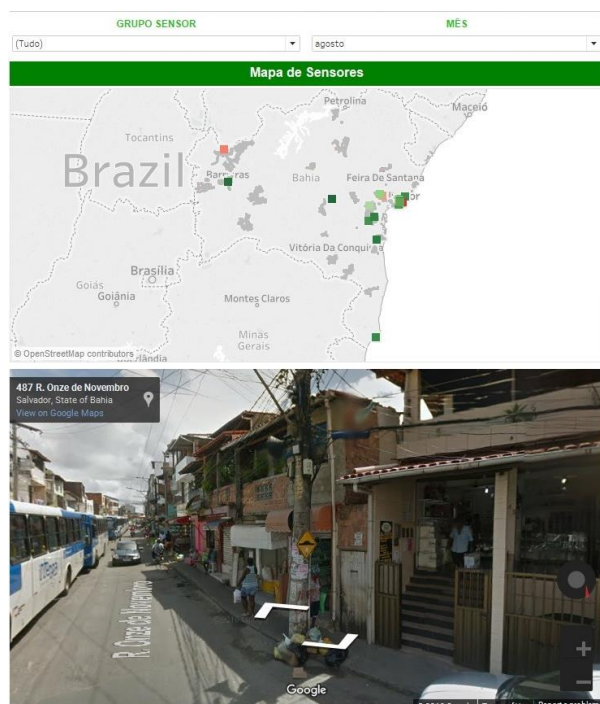


Fig 7. Visão Georreferenciada e “in loco”

Com base nos dados gerados pela aplicação de MLF, foram desenvolvidos e disponibilizados aos usuários os *dashboards* para análise de defeitos e análise por tipo de defeito, esses os quais são apresentados na Figura 9. Para a identificação dos dispositivos de proteção cujas regiões possuem maior índice de faltas, um indicador denominado *SCORE* foi criado, este o qual é obtido conforme expresso nas Equações (1)-(3).

$$\text{Peso Unitário} = 1 / \sum \text{Soluções por Localização} \quad (1)$$

$$\text{Score Eventos Chave X} = \text{Pesos Unitários} * \text{Qtde. Soluções} \quad (2)$$

$$\text{Score} = \sum \text{Score Eventos} \quad (3)$$

Cada solução gerada pelo MLF recebe um peso unitário. O *SCORE* equivale à somatória dos pesos os quais possuem a mesma chave à montante do defeito, ou seja, para encontrar o *SCORE* de uma qualquer, “Chave X”, deve-se somar todos os *SCOREs* dos eventos em que a “Chave X” foi apontada nas soluções como a chave de referência localizada a montante do defeito.

As visualizações disponibilizadas permitem identificar a classificação das chaves em ordem decrescente de acordo com os índices de defeitos (*SCORE*). A coloração das barras varia de vermelho (maior *SCORE*) até verde claro (menor *SCORE*). Sendo assim, pode-se concluir que a chave crítica estará no topo do gráfico e sua barra correspondente na coloração vermelha.

Na Figura 8, os resultados são reapresentados em uma visão georreferenciada, onde seguem o mesmo padrão de cores para identificação das chaves mais críticas e a variação do tamanho também varia de acordo com o *SCORE*, visando auxiliar na identificação de áreas com maior incidência de defeitos.



Fig 8. Análise Georreferenciada de Chaves por SCORE

Visando prover informações para auxílio no direcionamento de ações preventivas e corretivas de manutenção na rede, foi realizada uma associação entre os resultados do MLF com a base de dados de ocorrências de interrupções da distribuidora, comparando a chave presente nas soluções, com o Ponto de Defeito (PDF) registrado na ocorrência.

Com isso, tornou-se possível apresentar uma estimativa das principais causas e tipos de defeitos ocorridos nesse ponto da rede. A aplicação no *software* de BI permite que, ao selecionar um tipo de defeito, o usuário analise as chaves com maiores índices de defeitos de um determinado tipo, de acordo com a base de dados de ocorrências, identificando

assim a porção de rede mais vulnerável a determinados tipos de defeitos. Adicionalmente, é disponibilizada a porcentagem

de tipos de faltas, podendo ser: monofásica, bifásica ou trifásica.

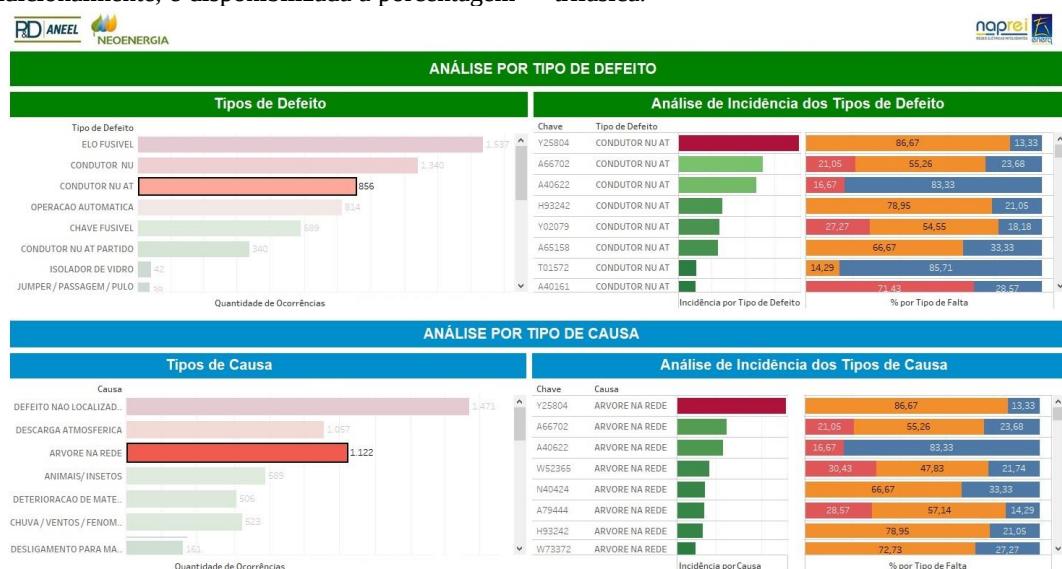


Fig 9. Painel de Análise de Localização de Defeitos

4. CONCLUSÕES

Esse trabalho apresentou uma nova abordagem para aplicação de ferramentas ETL e *Analytics* no apoio às tomadas de decisão no planejamento da manutenção e inspeção das distribuidoras, mais especificamente, no combate às PNT e auxílio no direcionamento de ações preventivas e corretivas de manutenção na rede elétrica.

A solução proposta contemplou a integração de sistema de análise de rede nas funcionalidades do ETL, permitindo a criação de importantes indicadores para tomada de decisão. A integração dos módulos de cálculo de perdas e localização de faltas à ferramenta de ETL permitiu grandes avanços nas etapas de extração, transformação e carregamento de dados quando comparados aos métodos de ETL tradicionais, uma vez que o grande volume de dados extraídos foi tratado diretamente nos módulos de cálculo, resultando em dados mais relevantes e em quantidade menor. Nesse processo, os dados de saída da ferramenta ETL já contemplavam indicadores, métricas e outras informações de grande relevância para análise e permitiram uma redução do custo computacional para armazenamento dos dados no DW e para processamento das análises na ferramenta de BI.

Conclui-se que a aplicação desenvolvida e as análises disponibilizadas no software de *Analytics* são de grande importância para auxiliar o usuário no direcionamento de ações estratégicas preventivas e corretivas, colaborando assim com o planejamento da inspeção e manutenção da distribuidora, possibilitando melhorias nos indicadores de qualidade do serviço, nos índices de perdas não-técnicas e, consequentemente, resultando em uma maior eficiência dos recursos de OPEX destinados às áreas de planejamento e operação de redes de distribuição.

5. REFERÊNCIAS

- Alahakoon, D., Yu, X., “Advanced analytics for harnessing the power of smart meter big data”. *IEEE IWIES*, Vienna, 2013.
- ANEEL, “PRODIST - Módulo 7”, Rev. 5, 2018.
- ANEEL, “PRODIST - Módulo 8”, Rev. 7, 2016.
- Choucri, N., Agarwal, G., “Analytics for Smart Grid Cybersecurity”. *IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST)*, 2017.
- EU Commission Task Force for Smart Grids. “Expert Group 1: Functionalities of smart grids and smart meters”. Final Deliverable, 2010.
- Fan, Z., et al. “The power of data: Data analytics for M2M and smart grid”. *3rd IEEE PES ISGT*, Berlin, 2012.
- Kagan, N., et al. “Redes Elétricas Inteligentes no Brasil”, Synergia, 2013.
- Liu, W.H.E., “Analytics and Information Integration for Smart Grid Applications”. *IEEE PES General Meeting*, Providence, 2010.
- Marlen, A., et al. “Application of Big Data in Smart Grids: Energy Analytics”. *21st ICACT*, PyeongChang, 2019.
- Munshi, A.A. “Data Lake Lambda Architecture for Smart Grids Big Data Analytics”. *IEEE Access*, vol. 6, pp. 40463, 2018.
- PEREIRA, Danilo de S. “Localização de faltas em redes de distribuição no contexto de redes elétricas inteligentes utilizando algoritmos evolutivos”. *E.P. USP*, 2019. doi:10.11606/D.3.2019.tde-12092019-145549.
- Tableau Online. Disponível em <https://www.tableau.com>. Acessado em 02.12.2019 às 08:57hs.
- Wang, Y., et al. “Review of Smart Meter Data Analytics: Applications, Methodologies and Challenges”. *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 10, pp. 3125, 2019.