



# Abordagem Híbrida-Evolutiva para Detecção e Localização de Perdas Não Técnicas em um Sistema de Distribuição de Energia Elétrica em Transição

**Tema:** Recuperação de energia - Perdas não-técnicas

**Autores:** Nathan Fernando de Oliveira Fiorini, Juliano Andrade Silva

**Co-Autores:** Juan M. Home-Ortiz, Vinicius C. Cunha, Tailan R. Garcia, Felipe Bayma, Ricardo Torquato, Fernanda C. L. Trindade, Walimir Freitas

**Empresa:** Companhia Paulista de Força e Luz

---

## Resumo

Este artigo apresenta um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento ANEEL que proporá metodologias para integrar informações como topologia e parâmetros de equipamentos (engenharia), histórico de consumo e de inspeções (comercial) e histórico de reconfigurações e operações de chaves (operativa), além de diferentes tipos de dados de medição para a detecção e localização de perdas não técnicas (PNT) em redes de distribuição de energia elétrica. Serão considerados tanto dados de medição na rede de média tensão (entrada de alimentador, religadores, reguladores de tensão, consumidores de média tensão), quanto na rede de baixa tensão (medidores inteligentes nos transformadores e consumidores). A integração desses dados, hoje estão desvinculados, permitirá o desenvolvimento de metodologias inovadoras e mais assertivas para o combate às PNT. Neste sentido, se as metodologias desenvolvidas no projeto proporcionarem uma redução de 1% das PNT do grupo CPFL Energia, estima-se que os custos do investimento sejam pagos em cerca de 9 anos. Estes resultados também podem ser utilizados para a atualização da regulamentação vigente e dos benchmarks estabelecidos pela ANEEL. Este trabalho é fruto do projeto de P&D ANEEL PD-0063-3092/2024, desenvolvido em conjunto pelo grupo CPFL Energia, UNICAMP e a empresa Energy Research and Analytics (ERA).

## 1. Introdução

As perdas de energia nas redes de distribuição de energia elétrica podem ser divididas entre perdas técnicas (PT), associadas aos processos físicos dos equipamentos, e perdas não técnicas (PNT), relacionadas à parte comercial e de gestão das concessionárias, envolvendo aspectos como furto de energia (conexão irregular na rede, fraude de medidores), erros de cadastro, erros de medição, unidades consumidoras sem equipamento de medição. As PNT são parcialmente repassadas aos consumidores na fatura de energia, sendo calculadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) com base no modelo regulatório vigente no Brasil e durante o Ciclo de Revisão Tarifária Periódica (CRTP) de cada empresa. Elas representam um impacto financeiro considerável para o setor, sendo que, em 2023 resultaram em custo aproximado de R\$ 6,9 bilhões. Por outro lado, no Brasil, as perdas técnicas das distribuidoras estão próximas de 7,4%, e as PNT em torno de 6,70% (ANEEL, 2024a). Apenas uma parte das PNT regulatórias é remunerada e o restante representa prejuízo financeiro para a empresa. Em termos gerais, os custos relacionados

às PNT não reconhecidas podem atingir R\$ 870 milhões por distribuidora (ANEEL, 2024b, 2024c). Além dessas perdas, as PNT provenientes de consumo irregular estão entre as principais causas de acidentes envolvendo eletricidade.

O prejuízo financeiro e o risco associado a conexões irregulares na rede elétrica demonstram ser fundamental que a distribuidora desenvolva técnicas eficientes para identificar e combater estas PNT. De fato, as empresas do grupo CPFL Energia já empregam diversas técnicas com este propósito de combater as PNT. Entretanto, no âmbito da detecção e localização destas perdas, a integração das áreas comercial, operação e de engenharia pode permitir um ganho efetivo no processo atual. A eficácia deste processo pode se beneficiar com a troca de informações entre essas áreas, e com o crescente nível de medição e monitoramento dos sistemas de distribuição de energia elétrica.

### 1.1 Revisão bibliográfica

Na literatura, há diversos métodos que objetivam a detecção e localização de PNT em sistemas de distribuição de energia baseados na baixa disponibilidade de medição. Por exemplo, Coelho *et al.* (2023), consideram a disponibilidade das informações de consumo mensal de energia, classe do consumidor, grupo tarifário, informações de contrato e histórico de inspeção para realizar a aplicação de métodos de inteligência artificial na classificação da unidade consumidora como infratora ou não. As técnicas aplicadas neste trabalho são árvore de decisão, floresta aleatória, e XGBoost. Para a decisão final de classificação, são combinadas as respostas dos 3 métodos de classificação. A metodologia proposta possibilitou a melhoria da acurácia na detecção de PNT e permitiu alcançar até 76% de assertividade em um conjunto de inspeções realizadas. Com o propósito semelhante de classificação do consumidor a partir das características presentes nos dados de consumo mensal, os autores em Esmael *et al.* (2021) propõem o uso de redes neurais convolucionais para extração dos padrões de consumo com PNT. Para realizar o processo de treinamento, são necessários dados de históricos de inspeção e consumo mensal das unidades. Apesar dos resultados apresentados indicarem acurácia na identificação de unidades infradoras, o trabalho utiliza um histórico de 2 anos de medição e não é avaliado alternâncias no status do consumidor (i.e., inativo ou ativo). Na mesma abordagem, os autores de García *et al.* (2020) propõem a caracterização e classificação do perfil de consumo como normal ou infrator. Portanto, o perfil dos dados de consumo mensal disponíveis é organizado em clusters e novas classificações são realizadas de acordo com o treinamento realizado usando cadeia de Markov. Também com a intenção de classificação dos consumidores a partir do perfil de consumo de energia, nagi *et al.*, (2008), propõem a aplicação da técnica de Support Vector Machine (SVM), o consumo de energia das unidades é avaliado e verificam-se padrões fora do esperado. Entretanto, é necessário parametrizar os hiperparâmetros da SVM de forma adequada para um resultado satisfatório. Focado na aplicação em consumidores de média tensão, Monedero *et al.*, (2012) apresenta uma metodologia que combina a análise da correlação de Pearson entre janelas de consumo, de redes Bayesianas e de árvores de decisão para selecionar o conjunto de unidades consumidoras a serem inspecionadas. São utilizados dados de consumo mensal de energia, de potência ativa e reativa, e de informações contratuais para detectar o comportamento de unidades infradoras. Dados da empresa espanhola Endesa são utilizados para realizar os estudos que passou de ter uma assertividade nas inspeções de 10% para 38%. Apesar da melhoria na assertividade das inspeções, a metodologia requer do usuário familiaridade com perfil de consumo de cada categoria de empresa em avaliação.

Também com o objetivo de realizar a classificação dos consumidores quanto a presença de PNT, em Silva, (2013) é proposto um modelo que utiliza lógica Fuzzy para realizar a análise dos dados disponíveis e identificar a ocorrência de alguma infração. Este é baseado no método de Mamdani, o qual fornece um índice final que viabiliza interpretar o quanto a unidade consumidora avaliada é irregular ou não. Os dados utilizados são segregados em diferentes quesitos, como cidade, classe do consumidor, tipo de ligação, estado da ligação e consumidores residenciais. Desta forma, variações no consumo mensal, consumidores

localizados em regiões com alta incidência de PNT e condições socioeconômicas são avaliadas para esta classificação. O modelo proposto é validado através da comparação com os resultados obtidos por técnicas tradicionais de redes neurais e CHAID (CHI-squared Automatic Interaction Detection), apresentando melhorias na assertividade em relação a detecção de consumidores infratores. Entretanto, o modelo proposto requer que seja definido o limiar para o valor do índice obtido de forma a determinar se o consumidor é infrator ou não.

Expandindo a análise dos consumidores para o uso de informações georreferenciadas, em (FARIA; MELO; PADILHA-FELTRIN, 2016) e (VENTURA et al., 2023) são empregados os dados da posição geográfica dos consumidores em conjunto com os dados socioeconômicos da região a qual essas unidades pertencem e o histórico de inspeção para realizar uma predição de provável presença de PNT. Através da análise georreferenciada do histórico de inspeções, as metodologias propõem a criação de regiões com probabilidade de haver PNT. Portanto, são utilizados modelos aditivos generalizados para a criação das subáreas de acordo com as informações disponíveis. A cadeia de Markov é criada para a análise de possíveis futuras infrações. A metodologia não se limita às características geográficas para a definição das regiões, mas sim avalia as informações dos consumidores e da rede elétrica.

Metodologias que não são diretamente dedicadas a detecção e localização de PNT podem potencialmente auxiliar o combate às infrações de furto de energia. Como Silva *et al.*, (2020) que propõe a criação de um índice que avalia a propensão do consumidor em pagar espontaneamente as faturas atrasadas. Desta forma, objetiva-se otimizar o processo de cobrança destes consumidores inadimplentes. A metodologia proposta faz uso de dados como log de inadimplência, data de pagamento e cobranças dos consumidores para realizar a construção do modelo. Tal avaliação pode auxiliar na identificação de áreas com propensão de presença de PNT. Com o intuito de expandir as informações utilizadas para a identificação de fraudes, em (CPFL PAULISTA, 2018) propõe-se agregar possíveis informações não capturadas no processo clássico estabelecido pela empresa usando dados não estruturados e técnicas de inteligência artificial, como análise de redes de relacionamento, de imagens e de diálogos telefônicos com speech analytics. Com a mesma lógica de reunir mais dados para a avaliação da detecção de PNT, em (CPFL PAULISTA, 2020) uma plataforma computacional capaz de processar imagens de satélite, dados de monitoramento climático e geográfico, variáveis geológicas e dados cadastrais é desenvolvida para auxiliar na detecção de PNT em áreas de irrigação. Objetivando melhorar o engajamento dos colaboradores da CPFL Energia na recuperação de energia, em (CPFL PAULISTA, 2021) propõe-se a criação de um aplicativo que utiliza técnicas de gamificação e sistema preditivo inteligente. Esta iniciativa visa melhorar a experiência do colaborador no processo de recuperação de energia através de bonificações.

O uso de medidores inteligentes pode auxiliar no desenvolvimento de novos métodos detecção e localização de PNT Sau *et al.*, (2024). Estes dispositivos coletam e enviam diversas informações que podem ser utilizadas para desenvolver métodos de detecção de fraudes baseados em análise de dados e orientados a modelos. Por exemplo, (FERREIRA & TRINDADE & VIEIRA, 2020), as medições de potência ativa dos consumidores são comparadas com a potência ativa calculada ao resolver um fluxo de potência considerando as barras de carga como barras de tensão e potência reativa constantes (barras  $(V, Q)$ ). Nesta abordagem, as barras com maiores divergências entre a potência ativa estimada e a potência ativa medida são consideradas como possíveis PNT. Raggi et al., (2020), desenvolvem uma técnica de análise de dados derivada de um estimador de estado trifásico para a detecção e localização de PNT em redes com alta presença de medidores inteligentes. O método proposto usa os desvios de potência e tensão medidos e estimados para determinar com precisão um ranking de potenciais consumidores com PNT, tanto em média como em baixa tensão.

Considerando a revisão bibliográfica apresentada, é possível observar que as principais linhas de investigação exploradas por pesquisas anteriores são de empregar técnicas de inteligência artificial para análise

de dados técnicos e comerciais da rede, ou empregar técnicas de análise de circuitos (fluxo de potência, estimação de estados). No entanto, não desenvolvem metodologias capazes de integrar análise de dados e análise de circuitos, e não incorporam informações operativas do circuito, o que pode resultar em valores não realistas, por exemplo, caso deixe de considerar uma reconfiguração no alimentador analisado, na janela de tempo estudada. Assim, o foco deste trabalho é integrar informações elétricas e topológicas (relativas a manobras na rede no período analisado, suas perdas técnicas, características elétricas dos consumidores) e informações de medição com maior resolução espacial (medições ao longo da rede primária, tais como em religadores e consumidores do grupo A, em que telemedição está disponível, e da rede secundária, tais como em transformadores e consumidores do grupo B) e temporal (medições com resolução de horas ou minutos). Cabe destacar que, neste trabalho serão consideradas PNT decorrentes de furto de energia (conexão irregular na rede e determinados casos de fraude de medidores) e decorrentes, por exemplo, do funcionamento inadequado dos medidores.

### *1.2 Cenário atual de detecção e localização de PNT*

A infraestrutura atualmente empregada na área comercial de recuperação de energia (RCRE) da CPFL Energia para detecção e localização de PNT considera informações de consumidores tais como seus dados de cadastro, posição geográfica, histórico de consumo e faturamento, histórico de inspeções e histórico de inadimplência. Estes dados são analisados usando um conjunto de algoritmos baseados em inteligência artificial, desenvolvidos na ferramenta de programação por blocos IBM SPSS Modeler, que é um software com programação em blocos e que inclui em seu repositório diversos métodos de análise de dados, e scripts em python, para a caracterização das unidades consumidoras como regulares e irregulares. Este cenário é ilustrado na Figura 1. Devido à grande quantidade de informações, a análise é limitada por períodos e regiões reduzindo o esforço computacional e melhorando a acurácia do algoritmo.

Complementando as informações utilizadas para a avaliação dos consumidores, uma análise georreferenciada é realizada usando o algoritmo GeoHash, que divide um território geográfico em regiões, chamadas de células, e converte a latitude e a longitude do centro de cada célula em um código que a identifica exclusivamente, como exemplificado na Figura 2. O tamanho de cada célula é determinado pelo valor de profundidade, que é especificado pelo usuário (D'SILVA, [s.d.]). O software IBM SPSS Modeler possui um bloco que executa o algoritmo de GeoHash, desta forma podem ser criadas camadas de GeoHash de diversos tamanhos.

Utilizando a informação da posição geográfica de cada consumidor, GEOHASH calcula a porcentagem de irregularidades observadas para cada região e para cada consumidor. Esta informação também é utilizada pelos métodos de classificação para determinar os possíveis pontos com infração.

No total, nove algoritmos de classificação podem ser considerados para treinamento e classificação na ferramenta desenvolvida usando IBM SPSS Modeler, eles são: Rede Bayesiana, Árvore de Classificação e Regressão, C-5.0, Árvores Aleatórias, Chi-squared Automatic Interaction Detection, Quick, Unbiased, Efficient Statistical Tree, Árvore-AS, Previsor categórico automático e Rede Neural. O treinamento destes algoritmos é realizado por áreas, de forma a determinar um padrão de consumo por área avaliada, usando os dados de consumo médio mensal dos últimos 12 meses e o histórico de inspeção dos consumidores.



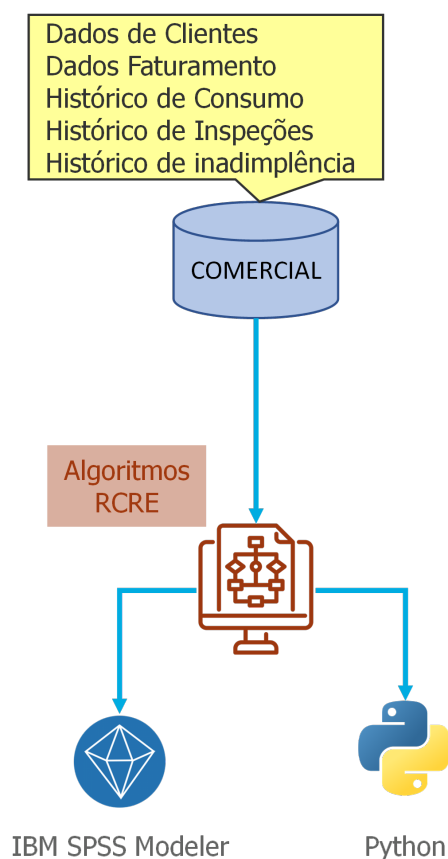


Figura 1 - Estrutura atualmente empregada pela RCRE para combate às perdas não técnicas

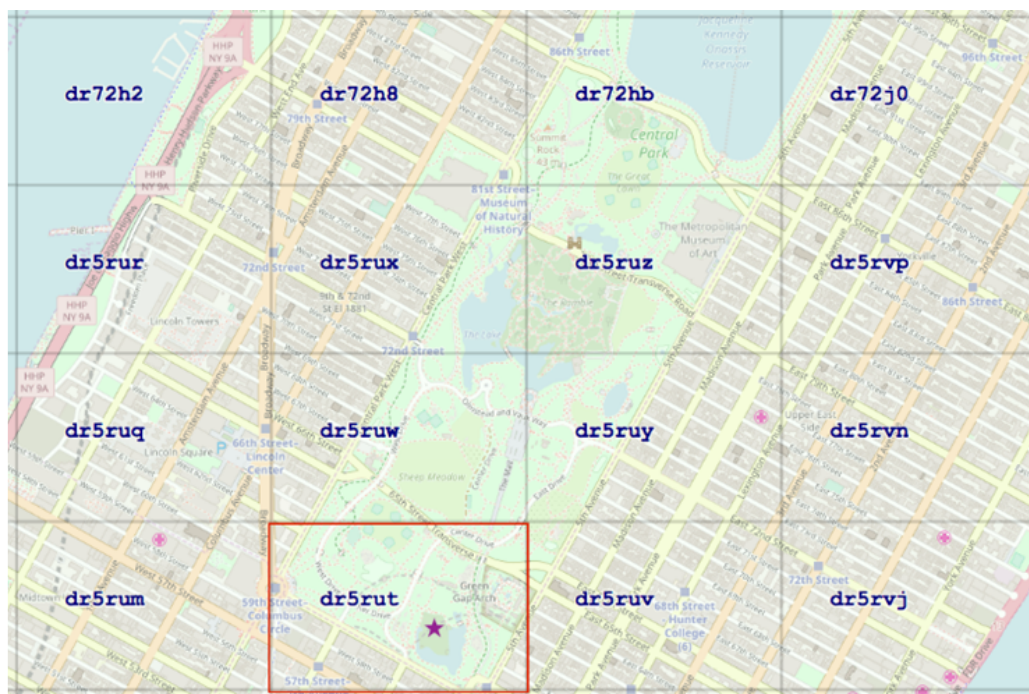


Figura 2 - Exemplo do funcionamento do algoritmo GeoHash (D'SILVA, [s.d.])

A classificação dos consumidores pode ser feita de forma independente e combinada. A forma independente corresponde ao resultado direto de cada algoritmo de classificação. A forma combinada utiliza os resultados de todos os algoritmos de classificação para obter uma única resposta. Assim, para cada forma

de classificação é definido um escore, que representa o grau de confiabilidade na classificação em regular e irregular de cada unidade. Após o processo de treinamento dos algoritmos de classificação, as unidades consumidoras disponíveis na base de dados podem ser avaliadas pelo método proposto para a indicação de possíveis alvos de inspeção.

Além do algoritmo baseado em inteligência artificial descrito, nos casos em que telemedição está disponível (consumidores do grupo A), avaliações utilizando as grandezas elétricas podem ser realizadas nos consumidores. Por exemplo, métodos determinísticos que verificam desde a falta de medições das grandezas elétricas até o desequilíbrio de corrente e ângulo entre as tensões. Tais verificações são possíveis devido a resolução da tele medição. De forma análoga, o perfil de consumo pode apresentar informações importantes para a avaliação do consumidor quanto a presença de perdas comerciais. A queda de consumo não relacionada à sazonalidade da atividade industrial do consumidor pode ser um indício de irregularidade no consumo. Para reforçar esta análise, a comparação entre a demanda utilizada e a contratada pode ser feita. Geralmente, os clientes que realizam o contrato anual de demanda fazem uma análise do histórico de consumo no passado recente para a definição do valor. Em caso de exceder este valor contratado de demanda durante o período do contrato, multas são aplicadas. Porém, apresentar demanda muito abaixo da contratada por períodos prolongados pode ser um indício de fraude. Para unidades consumidoras do grupo A, verifica-se a respectiva tarifa, se é cliente livre, se tem geração distribuída (seja micro e minigeração ou se é autoprodutor). Também é interessante diferenciar entre horário de ponta, fora de ponta e período com algum subsídio (e.g., rural com incentivo para irrigação em determinado horário).

Nota-se que o cenário atual foca em informações comerciais dos consumidores, sem uma integração sistemática e contínua com outras bases de dados da empresa (de engenharia, operação e de medições série-temporais) capazes de agregar as características elétricas, topológicas e operativas das redes de distribuição. Assim, o principal objetivo deste trabalho é criar esta integração de novos tipos de dados aos algoritmos de combate às PNT da empresa.

## 2. Desenvolvimento

Este artigo tem como objetivo apresentar o projeto de P&D ANEEL que objetiva desenvolver metodologias baseadas em técnicas de Data Science para detecção e localização mais eficiente de PNT nas redes de distribuição, especificamente de furto de energia via consumo irregular, fraude de medidores etc. As metodologias serão desenvolvidas em três *evoluções*, considerando integração de diferentes fontes de dados (técnica, comercial, operativa) provenientes de sistemas de distribuição com disponibilidade baixa, média e alta de dados de medição, respectivamente.

### 2.1 Evolução 1

Esta evolução consiste em desenvolver uma metodologia e uma ferramenta para processamento e integração de dados visando combater as PNT em redes com baixa disponibilidade de medição. Serão desenvolvidas técnicas de processamento e integração de novos tipos de dados (operacionais, comerciais, de engenharia e de geolocalização) às ferramentas e algoritmos atualmente utilizados na área comercial da CPFL com intuito de detectar e restringir eletricamente regiões, locais, consumidores (com ou sem contrato) com PNT. Estas novas técnicas de processamento serão implementadas em um script computacional para integrar os novos dados ao processo existente da área comercial. Esta metodologia e ferramenta consideram integração de informações de engenharia como topologia da rede e parâmetros de equipamentos, informações comerciais como o histórico de consumo e finalmente informações operativas referentes ao histórico de reconfigurações da rede, sendo que estas informações atualmente não são tratadas de forma

integrada na distribuidora. Os resultados desta evolução podem, por exemplo, ser utilizados para incluir a informação do montante de energia retirado de/adicionado a determinado alimentador no balanço de energia, investigar locais prioritários para a realização a inspeção integrando informações individuais (e.g., histórico de consumo) e regionais (e.g., balanço de energia e características da vizinhança). A estrutura de dados proposta nesta evolução é apresentada na Figura 3.

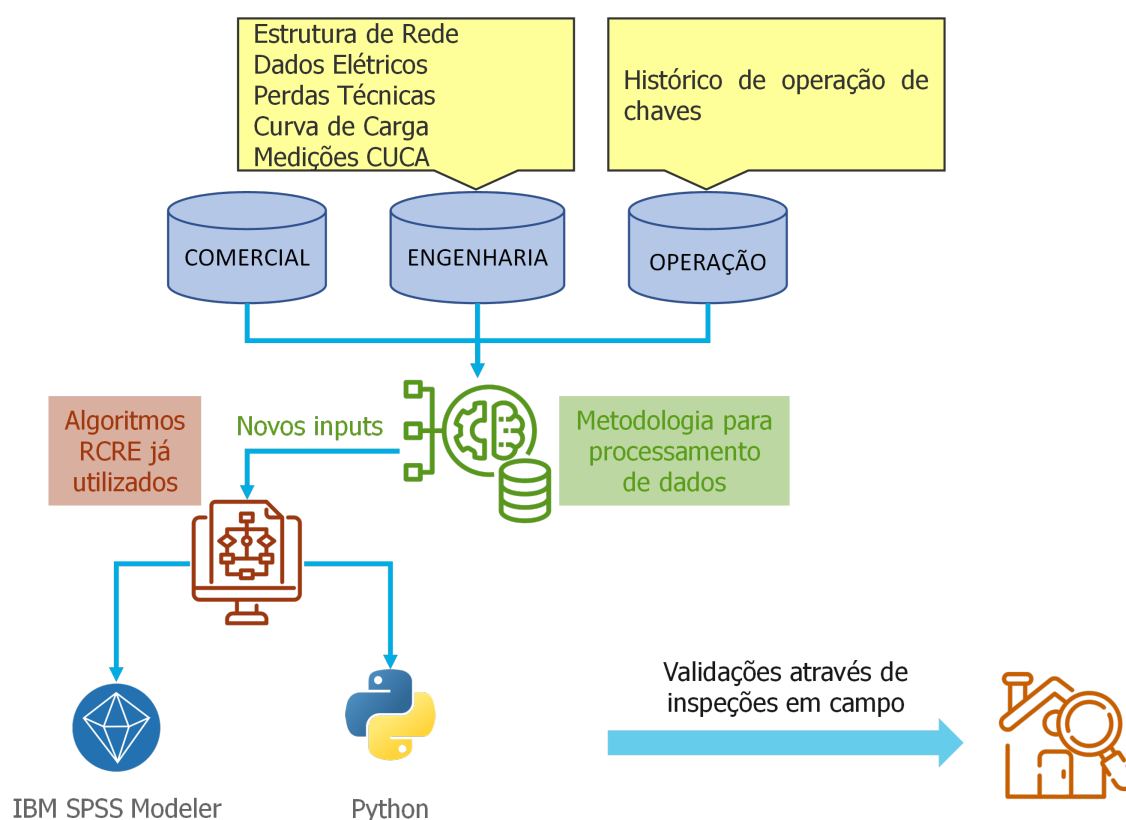


Figura 3 - Estrutura proposta na *Evolução 1* para combate às perdas não técnicas

## 2.2 Evolução 2

Esta evolução consiste em desenvolver uma metodologia e uma ferramenta para processamento e integração de dados visando combater as PNT em redes com média disponibilidade de medição. Serão empregados dados de medição série-temporal esparsos nos alimentadores (medições na entrada do alimentador, em consumidores do grupo A, em religadores etc.) com resolução temporal da ordem de minutos ou horas. Trata-se de um aperfeiçoamento das metodologias empregadas na *Evolução 1* devido à integração de informações com maior resolução temporal e espacial, permitindo subdivisão de alimentadores. Nesta evolução, será desenvolvida uma ferramenta computacional em nuvem para ler e processar automaticamente os dados disponíveis realizando, por exemplo, balanços de energia considerando subdivisão espacial (considerar trechos de alimentadores) e temporal (considerar períodos específicos) de redes. A estrutura de dados proposta nesta evolução é apresentada na Figura 4.

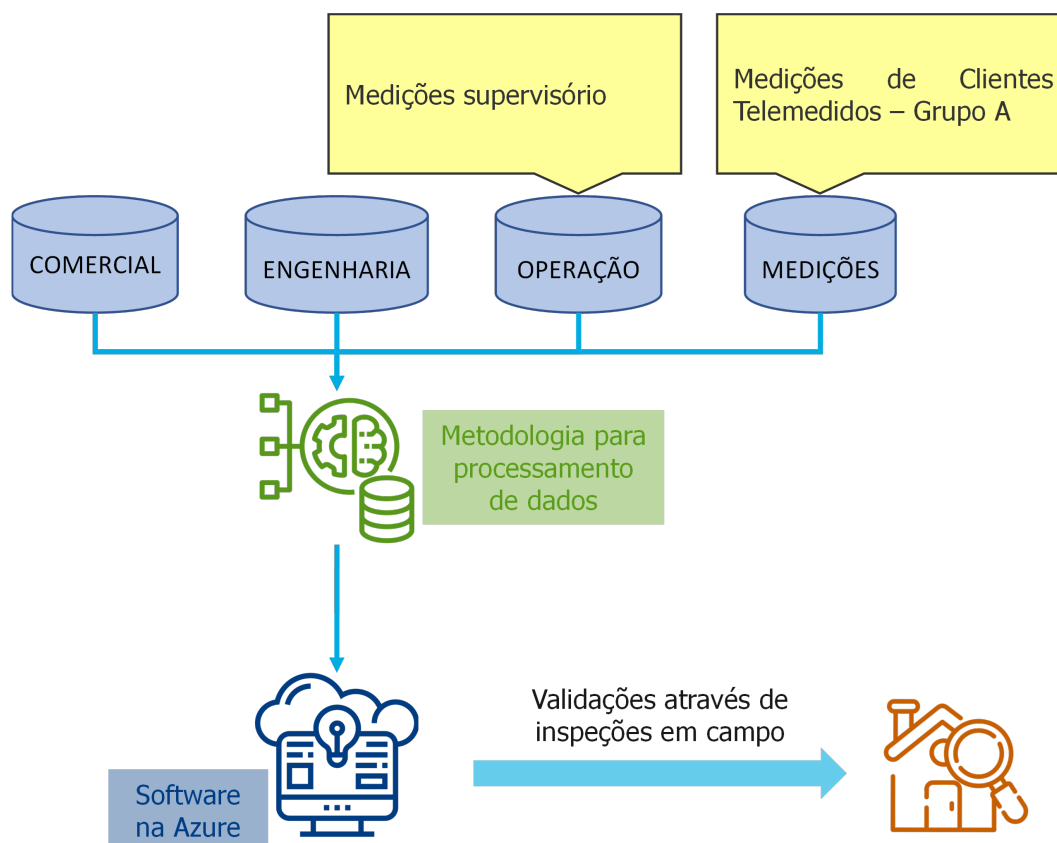


Figura 4 - Estrutura proposta na *Evolução 2* para combate às perdas não técnicas.

### 2.3 Evolução 3

Esta evolução consiste em desenvolver uma metodologia e uma ferramenta para processamento e integração de dados visando combater as PNT em redes com alta disponibilidade de medição. Serão empregados dados de medição dispersos (incluindo de medidores inteligentes instalados em unidades consumidoras de baixa tensão) com resolução temporal da ordem de minutos ou horas. Trata-se de um aperfeiçoamento da metodologia anterior devido à integração de medições, sobretudo, com alta dispersão espacial, permitindo análises de alta granularidade, por exemplo, individualizando redes de baixa tensão. Nesta evolução, será desenvolvido um módulo adicional da ferramenta computacional iniciada na *Evolução 2*, mas considerando maior cobertura espacial e temporal de medições devido à integração de dados de medições série-temporais em maior número de pontos da rede (e.g., clientes do grupo B telemedidos). Com isso, além do balanço de energia, a ferramenta será capaz de executar outros tipos de processamentos, como análises de correlações de tensão, cálculo de fluxo de potência e estimação de estados. A Figura 5 apresenta a estrutura da metodologia proposta nesta evolução do projeto.

### 2.4 Resultados esperados

O combate às PNT é um processo fundamental para todas as distribuidoras de energia elétrica. Os resultados deste projeto são diretamente aplicáveis para auxiliar esta tarefa, sendo que os insumos da primeira evolução (baixa disponibilidade de medição) podem ser aplicados em todos os alimentadores das distribuidoras, e os resultados das outras evoluções (disponibilidade média e alta de medição) podem ser aplicados em alimentadores ou regiões com maior disponibilidade de dados de medição. Cabe mencionar que as metodologias desenvolvidas no projeto não se aplicam na identificação de PNT provenientes de falhas de cobrança, erros de cadastro e erros de medição.



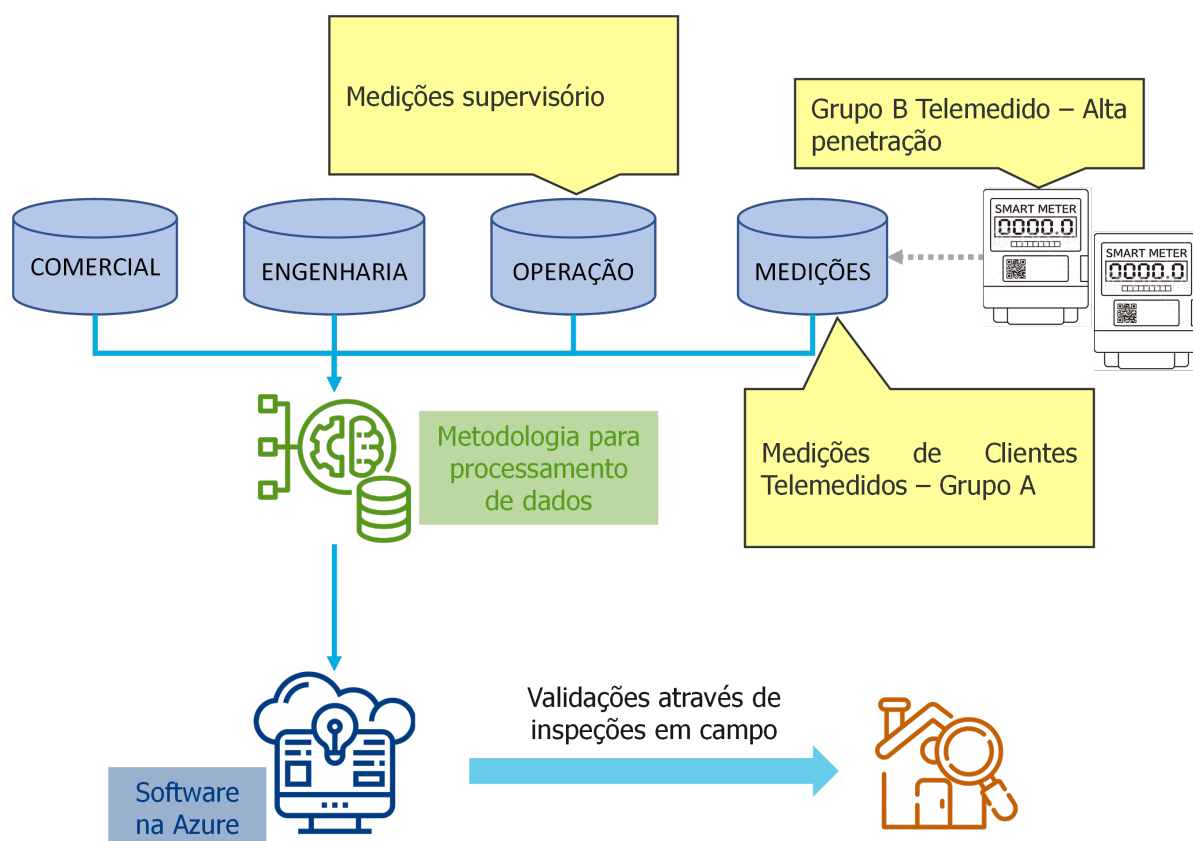


Figura 5 - Estrutura proposta na *Evolução 3* para combate às perdas não técnicas

As metodologias desenvolvidas neste trabalho visam tornar as inspeções mais assertivas, aumentando a receita recuperada. Além deste processo comercial, o melhor mapeamento das PNT também permite um cálculo mais assertivo de perdas técnicas. Atualmente, o cálculo de perdas técnicas considera que as PNT estão distribuídas de forma proporcional ao mercado de baixa tensão da empresa. Portanto, o produto principal deste trabalho também pode ser aplicado pelo setor de engenharia, para auxiliar na melhoria do cálculo de perdas técnicas da empresa. A eficácia e funcionalidade das metodologias serão mensuradas pela taxa de assertividade das inspeções em campo para identificação de conexões irregulares nos sistemas de distribuição. A taxa de assertividade de inspeções determinadas pelas metodologias atualmente empregadas na empresa será comparada com a taxa de assertividade de inspeções após implementação das metodologias propostas neste trabalho.

Por outro lado, visto que o nível de PNT afeta diretamente o cálculo da tarifa de energia (Submódulo 2.6 do PRORET (ANEEL, 2024d)), o potencial de aplicação das metodologias desenvolvidas neste projeto abrange todas as distribuidoras brasileiras e até mesmo o órgão regulador (ANEEL), ou seja, abrange de forma direta todos os consumidores. Os resultados deste trabalho permitirão enriquecer o debate acerca de possíveis atualizações no processo de cálculo de perdas técnicas e não técnicas, e estabelecer novos benchmarks no combate às PNT.

### 3. Conclusão

Entre outros processos, o grupo CPLF Energia possui ferramentas baseadas em inteligência artificial, desenvolvidas em software IBM®, que auxiliam no processo de classificação de consumidores irregulares usando informações de cadastro, posição geográfica, históricos de consumo, faturamento, inspeções e

inadimplência. Além disso, estratégias determinísticas baseadas nas grandezas elétricas obtidas de consumidores com telemedição são utilizadas na detecção de PNT. Porém há dificuldades em incluir informações topológicas da rede e históricos de manobras nas análises. De forma similar, nenhum trabalho presente na literatura especializada tratou de integrar processos dedicados à detecção e localização de PNT com informações técnicas da área de engenharia das distribuidoras, informações da área de operação, e dados de medição. A integração das bases de dados e informações que hoje estão desvinculadas permitirá o desenvolvimento de metodologias inéditas e mais assertivas, contribuindo para a tomada de decisão da empresa em relação a quando e onde realizar inspeções de campo em busca de PNT. Assim, este trabalho propõe o desenvolvimento de metodologias e ferramentas especializadas para a detecção e localização de PNT em sistemas de distribuição de média e baixa tensão com diferentes níveis de disponibilidade de dados. As metodologias propostas visam a integração das informações elétricas e topológicas da rede ao conhecimento adquirido pelo processamento de dados de medição em diversos pontos da rede, dados de faturamento e o histórico de inspeções aos consumidores. Potencialmente, as metodologias e os resultados deste trabalho fornecerão insumos e subsídios para debates sobre a necessidade de atualização da regulação e dos benchmarks estabelecidos no tema.

## 4. Referências bibliográficas

- ANEEL. Perdas de Energia Elétrica na Distribuição 2024. 2024a. Disponível em: <[https://git.aneel.gov.br/publico/centralconteudo/-/raw/main/relatorioseindicadores/tarifaeconomico/Relatorio\\_Perdas](https://git.aneel.gov.br/publico/centralconteudo/-/raw/main/relatorioseindicadores/tarifaeconomico/Relatorio_Perdas)>. Acessado em: 07/2024>. Acesso em: 7 ago. 2024.
- ANEEL. Relatório de Perdas de Energia. 2024b. Disponível em: <<https://portalrelatorios.aneel.gov.br/luznatarifa/perdasenergias>>. Acesso em: 1 ago. 2024.
- ANEEL. Calendário e Resultado dos Processos Tarifários de Distribuição. 2024c. Disponível em: <<https://antigo.aneel.gov.br/web/guest/resultado-dos-processos-tarifarios-de-distribuicao>>. Acesso em: 6 ago. 2024.
- ANEEL. Procedimentos de Regulação Tarifária – Proret. 2024d. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/centrais-de-conteudos/procedimentos-regulatorios/proret>>. Acesso em: 10 ago. 2024.
- COELHO, F. J. S.; FEITOSA, A. R. S.; ALCÂNTARA, A. L. M.; LI, K.; LIMA, R. F.; SILVA, V. R.; DA SILVA-FILHO, A. G. HyMOTree: Automatic Hyperparameters Tuning for Non-Technical Loss Detection Based on Multi-Objective and Tree-Based Algorithms. *Energies*, [s. l.], v. 16, n. 13, p. 4971, jun. 2023.
- CPFL-PAULISTA. Ações digitais com inteligência artificial para identificação de fraudes, PD-00063-3039/2018. [s.l: s.n.].
- CPFL-PAULISTA. Sistema para detectar perdas não técnicas em áreas de irrigação empregando técnicas de inteligência artificial,” PD-00063-3065/2019. [s.l: s.n.].
- CPFL-PAULISTA. Recuperação de Energia por Aplicativo Crowdsourcing com Gamificação e Sistema Preditivo Inteligente,” PD-00063-3080/2021. [s.l: s.n.].
- D’SILVA, N. Common patterns for tracking moving objects in Streams, part 1. [s.d.]. Disponível em: <<https://community.ibm.com/community/user/dataops/viewdocument/common-patterns-for-tracking-moving?Community>>. Acesso em: 3 ago. 2024.
- ESMAEL, A. A.; DA SILVA, H. H.; JI, T.; DA SILVA TORRES, R. Non-Technical Loss Detection in Power Grid Using Information Retrieval Approaches: A Comparative Study. *IEEE Access*, [s. l.], v. 9, p. 40635–40648, 2021.

FARIA, L. T.; MELO, J. D.; PADILHA-FELTRIN, A. Spatial-Temporal Estimation for Nontechnical Losses. *IEEE Transactions on Power Delivery*, [s. l.], v. 31, n. 1, p. 362–369, fev. 2016.

FERREIRA, T. S. D.; TRINDADE, F. C. L.; VIEIRA, J. C. M. Load Flow-Based Method for Nontechnical Electrical Loss Detection and Location in Distribution Systems Using Smart Meters. *IEEE Transactions on Power Systems*, [s. l.], v. 35, n. 5, p. 3671–3681, set. 2020.

GARCÍA, J. E.; GONZÁLEZ-LÓPEZ, V. A.; DA SILVA, H. H.; SILVA, T. S. Risk of fraud classification. *4open*, [s. l.], v. 3, p. 9, ago. 2020.

MONEDERO, I.; BISCARRI, F.; LEÓN, C.; GUERRERO, J. I.; BISCARRI, J.; MILLÁN, R. Detection of frauds and other non-technical losses in a power utility using Pearson coefficient, Bayesian networks and decision trees. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, [s. l.], v. 34, n. 1, p. 90–98, jan. 2012.

NAGI, J.; MOHAMMAD, A. M.; YAP, K. S.; TIONG, S. K.; AHMED, S. K. Non-Technical Loss analysis for detection of electricity theft using support vector machines. In: 2008 IEEE 2ND INTERNATIONAL POWER AND ENERGY CONFERENCE 2008, Anais... : IEEE,dez. 2008. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/4762604/>>

RAGGI, L.; TRINDADE, F.; CARNELOSSI DA CUNHA, V.; FREITAS, W. Non-Technical Loss Identification by Using Data Analytics and Customer Smart Meters. *IEEE Transactions on Power Delivery*, [s. l.], v. 35, n. 6, p. 2700–2710, 2020.

SAU, R.; GARCIA, T.; TRINDADE, F.; DE ALMEIDA, M. C. Benefits and challenges of an advanced metering infrastructure to detect and locate energy theft. In: *Smart Metering*. [s.l.] : Elsevier, 2024. p. 119–145.

SILVA, D.; AKASSAKA, D.; GUSMÃO, L.; HELITO, H. Score de Pagamento Espontâneo para Direcionamento de Ações de Cobrança na CPFL Energia. In: ANAIS DO CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA 2020 2020, Anais... : sbabra,dez. 2020. Disponível em: <[https://www.sba.org.br/open\\_journal\\_systems/index.php/sba/article/view/1247](https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/sba/article/view/1247)>

SILVA, J. A. Método para a Detecção de Perdas Não Técnicas Usando Lógica Nebulosa como Principal Agente Pre-ditivo. 2013. Unicamp, [s. l.], 2013. Disponível em: <<https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/920898>>

VENTURA, L.; FELIX, G. E.; VARGAS, R.; FARIA, L. T.; MELO, J. D. Estimation of non-technical loss rates by regions. *Electric Power Systems Research*, [s. l.], v. 223, p. 109685, out. 2023.