

Uso do OpenDSS em Aplicações Reais para Distribuidoras de Energia

João Paulo Assunção de Souza * João Pedro Klock Ferreira *
Guilherme Esteves Mendes Campos *

* *Concert Technologies, MG*

Emails: joaopaulo.souza@concert.com.br, joao.ferreira@concert.com.br,
guilherme.campos@concert.com.br

Abstract: This paper presents some functionalities used in applications for utilities that have been implemented using the software OpenDSS (Open Distribution System Simulator), developed by EPRI (Electric Power Research Institute). The developed functionalities are the technical losses calculation in medium voltage and low voltage networks, fault location in medium voltage networks and real-time simulation of distribution systems with distributed energy resources. The strategies for the implementation of the functionalities and tests for their validation are presented.

Resumo: Este trabalho apresenta algumas funcionalidades utilizadas em aplicações para distribuidoras de energia que foram implementadas utilizando o *software* OpenDSS (*Open Distribution System Simulator*), desenvolvido pelo EPRI (*Electric Power Research Institute*). As funcionalidades desenvolvidas são o cálculo de perdas técnicas em redes de média e baixa tensão, cálculo de modelos reduzidos de alimentadores de média tensão, localização de faltas em redes de média tensão e simulação da operação de sistemas de distribuição com recursos energéticos distribuídos em tempo real. As estratégias para a implementação das funcionalidades e testes para a validação das mesmas são apresentados.

Keywords: OpenDSS, Fault Location, Technical Losses, Network Equivalent, Distributed Energy Resources.

Palavras-chaves: OpenDSS, Localização de Faltas, Perdas Técnicas, Equivalente de Rede, Recursos Energéticos Distribuídos.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, devido à crescente preocupação com as mudanças climáticas e a preservação do meio ambiente, a busca por fontes de energia limpas e renováveis se intensificou ao redor do globo, e neste cenário o uso de geração distribuída (GD), especialmente a de fonte solar fotovoltaica, se tornou bastante popular. No Brasil, desde 2012, quando entrou em vigor a resolução normativa da ANEEL 482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia e ter o valor da energia gerada abatida na fatura de energia elétrica. Com isso, houve um crescimento no número de conexões de geração distribuída no país ANEEL (2019). Segundo ANEEL (2020), em setembro de 2020 a potência instalada devido a geração distribuída é de cerca de 3,7 GW, sendo que a geração de origem fotovoltaica representa cerca de 3,53 GW. Com o aumento da presença de geração distribuída na rede, inúmeros desafios, como variação de tensão e fluxo de potência reverso, têm surgido e mudado a filosofia de operação da rede, que passa a exigir um controle mais ativo e também tem ocasionado o uso de sistemas de armazenamento com baterias (SAEBs) para integrar a GD no sistema de distribuição. Dentro deste contexto, simulações para prever o comportamento da rede diante da presença de GDs e SAEBS, se tornam fundamentais para o fornecimento de energia com qualidade.

Outro aspecto fundamental na distribuição de energia elétrica é a confiabilidade do sistema, que consiste em fornecer energia com a menor interrupção possível. Segundo Billinton and Allan (1994), a confiabilidade tem um impacto direto na sociedade, pois a interrupção de energia implica em custos de ordem financeira, como danos a equipamentos e parada de produção em uma indústria, e em prejuízos sociais, como o desligamento de equipamentos em hospitais. Um sistema totalmente confiável é impossível de se obter, especialmente no Brasil onde a grande maioria do sistema de distribuição é aéreo e, portanto, sujeito a intempéries e ação humana. Assim sendo, na ocorrência de uma falta que cause a interrupção do fornecimento de energia, quanto mais rápido o defeito for localizado, menor será o tempo de interrupção.

Diante da necessidade de se prever o comportamento da rede com a inserção de recursos energéticos distribuídos e também de localizar um possível defeito que cause a interrupção do fornecimento de energia no menor tempo possível, ferramentas de simulação de fluxo de potência e análise de curto-circuito se tornam essenciais na operação e planejamento de sistemas de distribuição de energia. Segundo NREL (2017), alguns *softwares* são capazes de realizar tais tarefas: OpenDSS, GridLAB-D, CYMDIST e PowerWord. Dentre estes quatro, o OpenDSS e GridLAB-

D são gratuitos e com código-fonte abertos. Este trabalho demonstra os resultados obtidos com o uso do OpenDSS em diferentes funcionalidades. A escolha do OpenDSS deveu-se à sua versatilidade e aceitação no mercado.

O *software* OpenDSS (*Open Distribution System Simulator*), desenvolvido pelo EPRI (*Electric Power Research Institute*), possui uma extensa biblioteca de modelos elétricos de equipamentos do sistema de distribuição e alta capacidade computacional de realizar simulações de fluxo de potência estático e quase-estático em redes de média e baixa tensão com milhares de nós, análise de curto-circuito e compatibilidade com outras aplicações via porta COM (do inglês, *Component Object Model*), como Matlab e sistemas desenvolvidos em linguagens como C++, C#, Python, dentre outras. A Figura 1 exibe um diagrama que representa a arquitetura do OpenDSS, demonstrando como o usuário pode interagir com o motor de simulação (do inglês, *Simulation Engine*) via COM Interface, DLLs (do inglês, *Dynamic-link library*) escritas pelo usuário e *scripts* de texto.

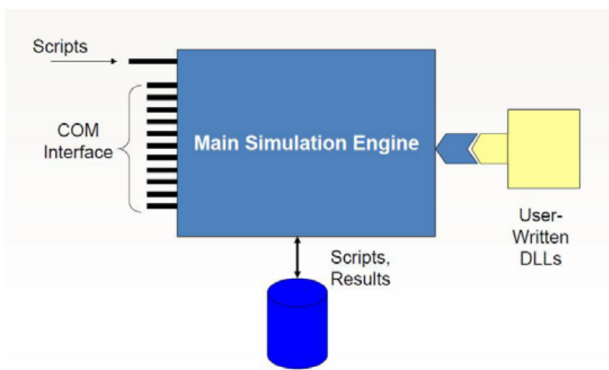


Figura 1. Arquitetura do OpenDSS. Fonte: NREL (2017)

O OpenDSS é extensamente utilizado na academia e na indústria. Em Quesada et al. (2016) um construtor de topologias para o OpenDSS a partir de um *software* GIS (do inglês, *Geographic Information System*) livre é descrito, e destaca que o OpenDSS é capaz de representar o modelo do GIS com o potencial de poder prever o impacto de GD no alimentador. Leite et al. (2019a) apresenta uma plataforma de *software* que faz uma análise da inserção de GDFV (geração distribuída fotovoltaica) em larga escala em alimentadores de distribuição, utilizando o OpenDSS para cálculo do fluxo de potência trifásico desequilibrado com a presença de geração fotovoltaica. Em Souza and Boaventura (2019), o OpenDSS é utilizado para avaliar a integração de geração distribuída com sistemas de armazenamento de energia e o impacto que a descentralização de sistemas de armazenamento de energia tem em um alimentador de *benchmarking*. Em Marques et al. (2018), o OpenDSS é utilizado para analisar a reconfiguração de redes de distribuição com e sem a presença de geração distribuída. Como descrito em ANEEL (2014), o OpenDSS foi adotado pela ANEEL como um *software* de referência para o cálculo de perdas técnicas.

Este trabalho tem por objetivo apresentar funcionalidades desenvolvidas com o OpenDSS e integradas à plataforma de *software* “SmartTools”, desenvolvida pela Concert Technologies S.A. (2020b) e utilizada por distribuidoras de

energia elétrica brasileiras. As funcionalidades desenvolvidas são: cálculo de perdas técnicas, como parte de uma aplicação para cálculo de balanço energético; cálculo de modelos reduzidos da rede de distribuição, como parte de uma aplicação para localização de faltas; cálculo do nível de curto-circuito para uma aplicação de localização de faltas; simulador de fluxo de potência com a presença de recursos energéticos distribuídos, como parte de uma aplicação para supervisão e controle de sistemas de armazenamento em redes de distribuição.

2. METODOLOGIA

2.1 Montagem da Topologia em Arquivos

O *software* OpenDSS utiliza uma abordagem de instanciação dos componentes da rede por meio de linhas de comando. Esses componentes podem ser discriminados em apenas um ou em diferentes arquivos, por tipo de componente, que são lidos pela aplicação. Desse modo, o método utilizado para modelagem da topologia da rede de distribuição no *software* foi a criação de diversos arquivos individuais de trechos, chaves, reguladores de tensão, cargas e bancos de capacitores.

Ao detectar um evento de solicitação de alguma aplicação que utilize o OpenDSS, a plataforma SmartTools faz uma requisição a diversos sistemas da distribuidora para obtenção de toda a topologia do alimentador em análise. Estes dados são transferidos para a plataforma por meio de um barramento de microsserviços baseado no padrão CIM (do inglês, *Common Information Model*). A função deste barramento é disponibilizar à aplicação informações presentes em diversos sistemas de uma dada distribuidora e em diferentes formatos de dados, por meio de um formato de dados padronizados, o CIM, com as requisições realizadas em tempo de execução, sem demandar a replicação dos dados dos sistemas-fonte na base de dados da aplicação. Os dados recebidos pela plataforma SmartTools no formato CIM são processados, para que a topologia da rede possa ser montada. Então, são feitas verificações e ajustes:

- Verificação de continuidade da rede: procurar a existência de trechos isolados, não incluindo os mesmos nos arquivos do OpenDSS;
- Verificação de elementos em paralelo: procurar a existência de trechos em paralelo, não incluindo um dos elementos que compartilham os mesmos nós elétricos;
- Verificação da existência de malhas: procurar a existência de malhas na rede. Caso alguma chave esteja fechando a malha na topologia, a mesma é considerada aberta;
- Verificação de conectividade da rede: procurar por trechos que compartilham as mesmas barras, mas com fases eletricamente não condizentes com os trechos a montante;

Uma vez obtidas, validadas e ajustadas as informações da rede, são gerados os arquivos no formato OpenDSS, referentes a cada tipo de componente citado anteriormente. Juntamente com estes arquivos são gerados dois outros: o “Master”, com o circuito da rede e a chamada aos outros arquivos, e o “Arranjos” com os arranjos elétricos dos cabos utilizados. Estes arquivos são utilizados pelo motor de cálculo do OpenDSS para executar as funções requisitadas

pela aplicação via porta COM. A Figura 2 ilustra o fluxo de informações para criação dos arquivos no formato do OpenDSS.

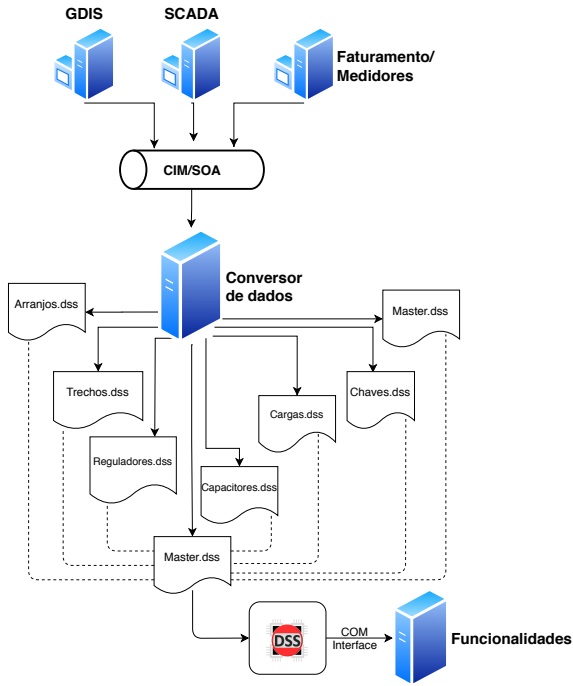


Figura 2. Fluxo de informações para criação dos arquivos do OpenDSS.

2.2 Cálculo de Perdas Não Técnicas

O cálculo de perdas não técnicas (*PNT*) em sistemas de distribuição é feito de acordo com o Submódulo 2.6 - Perdas de Energia dos Procedimentos de Regulação Tarifária ANEEL (2015), que define que a perda na distribuição é dada pela diferença da energia injetada na rede e a energia vendida e entregue e , que as perdas de distribuição são divididas em perdas técnicas (*PT*) e perdas não técnicas.

As perdas técnicas são aquelas causadas pelo efeito físico do transporte de energia da fonte para o consumidor, como o efeito Joule nos cabos e nos enrolamentos de transformadores. O cálculo dessas perdas é definido pela Nota Técnica nº 0057/2014-SRD/ANEEL, que estabelece que as perdas em média tensão e baixa tensão devem ser calculadas por meio de fluxo de carga utilizando o OpenDSS, definindo ainda a maneira de como cada elemento da rede de distribuição deve ser modelado para que o fluxo de carga seja calculado.

A funcionalidade do cálculo de *PNT* no SmartTools é realizada com o auxílio do sensor físico “SmartSISC” desenvolvido pela Concert Technologies S.A. (2020a), que pode ser instalado no lado de baixa tensão dos transformadores de distribuição ou na subestação. O sensor realiza, dentre outras funções, a medição da energia consumida pelas cargas a jusante do seu ponto de instalação e se comunica com a plataforma SmartTools por meio de um sistema de mensageria RabbitMQ Pivotal (2020), enviando a memória de massa do valor de energia medido ao longo do mês. Para cada alimentador monitorado, i.e. com a presença de um ou mais SmartSISCs, são requisitados os dados de

topologia, bem como a energia faturada dos consumidores no período de interesse. Em seguida a topologia é montada em arquivos do OpenDSS, seguindo a orientação da nota técnica nº 0057/2014-SRD/ANEEL, a *PT* é calculada com o OpenDSS e a *PNT* é calculada com base na energia medida no SmartSISC, na energia faturada dos consumidores a jusante do sensor e na *PT*. As informações de *PT*, *PNT* e topologia da rede são então disponibilizadas ao operador nas estações de operação. A Figura 3 ilustra o fluxo de informações necessárias para o cálculo de perdas não técnicas.

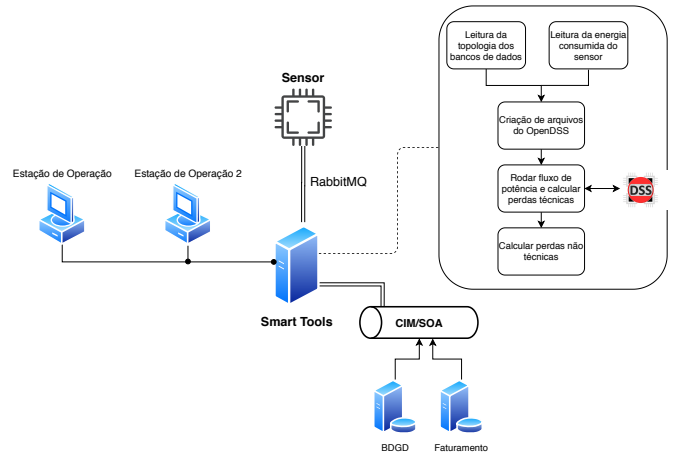


Figura 3. Fluxo de informações para cálculo de perdas não técnicas.

2.3 Cálculo de Redes Reduzidas

A redução de uma rede de distribuição para um tamanho menor que o original pode ser muito importante por diversos motivos, como por exemplo para minimizar o tamanho da área de busca em um algoritmo de localização de faltas ou diminuir o esforço computacional de simulações de estado da rede. Em redes muito extensas, com milhares de nós e trechos, por vezes essa redução torna-se indispensável.

O método de cálculo de redes reduzidas utilizado é baseado na teoria de circuitos de duas portas demonstrada em Nowak et al. (2019), que representa um circuito linear por meio de um circuito equivalente de quatro terminais, como mostrado na Figura 4.

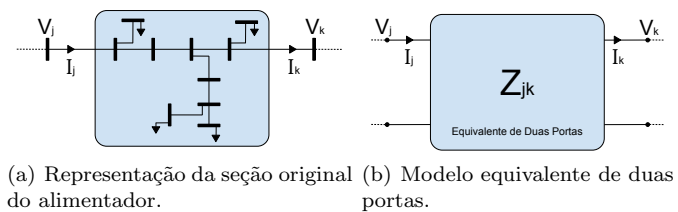


Figura 4. Representação de uma seção da rede com o circuito equivalente de duas portas. Adaptado de Nowak et al. (2019)

Ainda segundo Nowak et al. (2019), o modelo equivalente da Figura 4(b) pode ser aproximado com um circuito em T, mostrado na Figura 5 e, as impedâncias Z_{jj} , Z_{kk} e Z_{jk} são calculadas pelas equações 1 e 2.

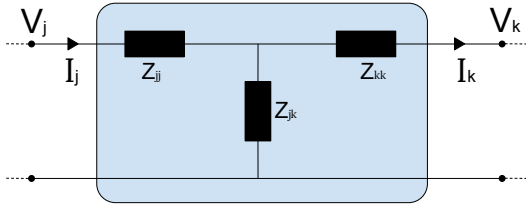


Figura 5. Circuito de duas portas equivalente. Adaptado de Nowak et al. (2019)

$$Z_{jj} = Z_{kk} = \frac{V_j - V_k}{I_j + I_k} \quad (1)$$

$$Z_{jk} = \frac{I_j V_k + I_k V_j}{(I_j - I_k)(I_j + I_k)} \quad (2)$$

Um método comum para reduzir a rede a ser analisada por algoritmos de localização de faltas é a utilização de sensores ao longo de rede. Dado algum alarme de sobrecorrente proveniente do sensor, indicando que a falta esteja à jusante do sensor, aliado ao registro oscilográfico da subestação, o trecho da rede entre a subestação e o sensor pode ser reduzido, como mostrado na Figura 6. Dessa forma, nas simulações de cálculo de curto-circuito, as informações da subestação são preservadas e a área de busca da falta reduzida a partir do sensor, como mostrado na Figura 6.

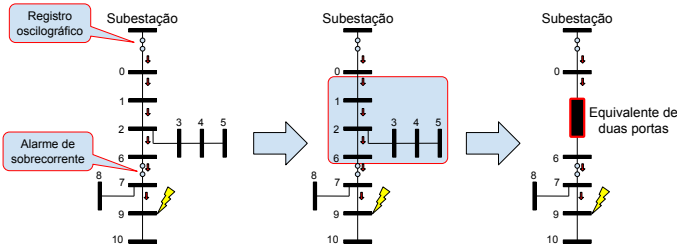


Figura 6. Técnica de redução da rede.

Para se obter os valores V_j , V_k , I_i e I_j , uma simulação de fluxo de potência é realizada com auxílio do OpenDSS, onde as tensões e correntes são lidas via porta COM. Em seguida, os equipamentos da rede que não estão englobados no trecho reduzido têm os seus dados recebidos também via porta COM e na plataforma SmartTools a topologia reduzida da rede é montada no formato necessário para a aplicação de localização de falta.

2.4 Localização de Faltas

Um algoritmo de localização de faltas baseado no nível de curto-circuito das barras foi desenvolvido utilizando o OpenDSS. O cálculo da corrente de curto-circuito é feito utilizando o objeto *fault* do OpenDSS, que simula um curto-circuito em uma barra da rede pré-definida, seguido da resolução do fluxo de potência, estimando as grandezas elétricas em toda a rede. Este cálculo é feito considerando-se o objeto *fault* em todas as barras da rede passíveis de serem o local da falta, definidas através da caracterização do tipo de falta, e computando a corrente de falta no ponto desejado. Tudo isso é feito de forma automatizada pela plataforma SmartTools. O fluxograma do algoritmo é ilustrado na Figura 7.

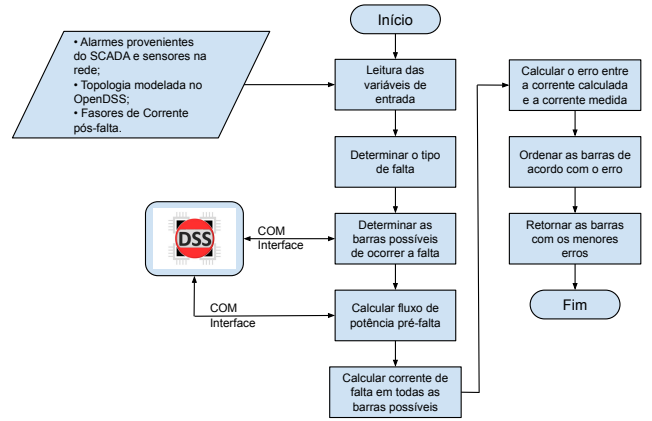


Figura 7. Fluxograma do Algoritmo de Localização de Faltas.

As entradas do Algoritmo de Localização de Faltas são: alarmes de sobrecorrente e *lockout* provenientes do SCADA e de sensores ao longo da rede; medição analógica ou oscilografia da corrente de falta e o equipamento de origem da medição; topologia da rede modelada no OpenDSS. A Figura 8 ilustra uma rede fictícia com a ocorrência de uma falta permanente na barra de número 13. A corrente de falta é identificada pelo religador entre as barras 7 e 8, e o mesmo abre o circuito para isolar a falta, disparando um alarme digital de *lockout*. O sensor na subestação, entre as barras 1 e 2, identifica a sobrecorrente, realizando a medição analógica da mesma. Esses dados são disponibilizados ao Algoritmo de Localização de Faltas, que vai procurar a falta somente na região à jusante do religador que gerou o alarme de *lockout*. Essa região é definida com o objeto *EnergyMeter* do OpenDSS que identifica as barras a jusante do trecho onde o mesmo é instanciado. No algoritmo, ao aplicar uma falta em cada barra possível da rede, a corrente de falta é calculada no trecho que conecta a barra 1 e a barra 2, pois o mesmo é a origem da medição. Essa corrente simulada é então comparada com a corrente de falta medida, e as menores diferenças indicarão os locais mais prováveis da falta.

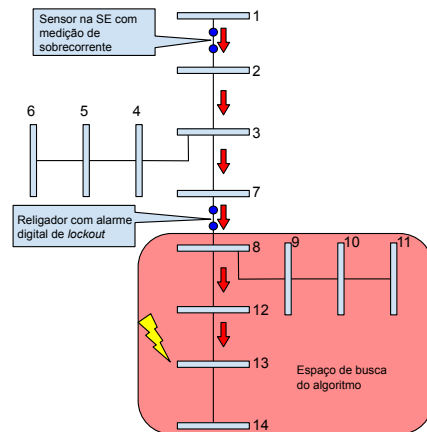


Figura 8. Espaço de busca do algoritmo.

2.5 Simulação de Rede com Recursos Energéticos Distribuídos

Um simulador de operação em tempo real da rede de distribuição considerando a presença de Recursos Energéticos

Distribuídos (REDs) foi desenvolvido utilizando como base o OpenDSS. Neste simulador o operador pode avaliar o efeito de Sistemas de Armazenamento de Energia a Baterias (SAEBs) e Geração Distribuída Fotovoltaica (GDFV) na rede de distribuição. O simulador funciona calculando o fluxo de potência de forma cíclica em intervalos de tempo, simulando assim as medições feitas na rede em tempo real.

O comportamento dinâmico das cargas da geração solar é simulado por meio de curvas cadastradas previamente para cada alimentador, fazendo com que a simulação do fluxo de potência represente as condições da rede ao longo do dia. Com base no resultado do fluxo de potência em um determinado instante, o comportamento dos SAEBs é definido no instante posterior. Esse comportamento é definido de acordo com os modos de operação do SAEB, que são: controle Volt-VAR, controle Volt-Watt, *peak-shaving*, *load-leveling* e agendamento de despacho. O controle Volt-VAR ou a definição de um fator de potência das GDFVs também é permitido. A Figura 9 ilustra o funcionamento do simulador desenvolvido.

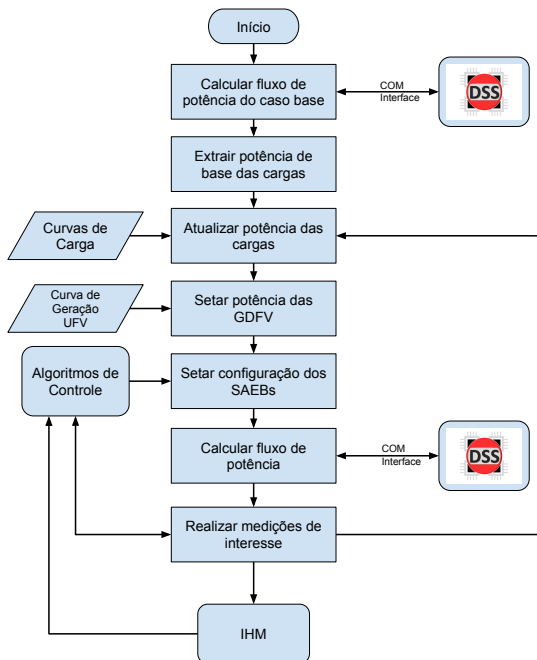


Figura 9. Fluxograma de funcionamento do Simulador de Rede com Recursos Energéticos Distribuídos.

3. TESTES E RESULTADOS

3.1 Montagem da Topologia em Arquivos

Neste teste, um alimentador real com 3906 barras foi selecionado para ser modelado no OpenDSS. A Figura 10 mostra o alimentador em questão plotado no *software* QGIS, que está conectado ao GIS da distribuidora.

A topologia do alimentador plotada com a ferramenta de visualização do OpenDSS é mostrada na Figura 11. O fluxo de potência estático foi calculado considerando 15% do carregamento nominal do alimentador. Os resultados são mostrados na Tabela 1.

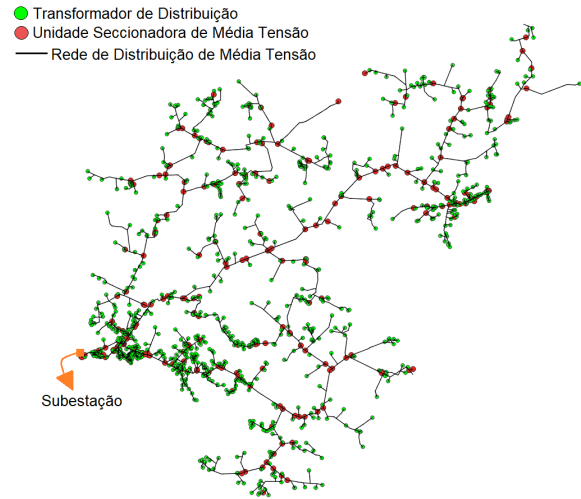


Figura 10. Topologia do alimentador plotada no QGIS.

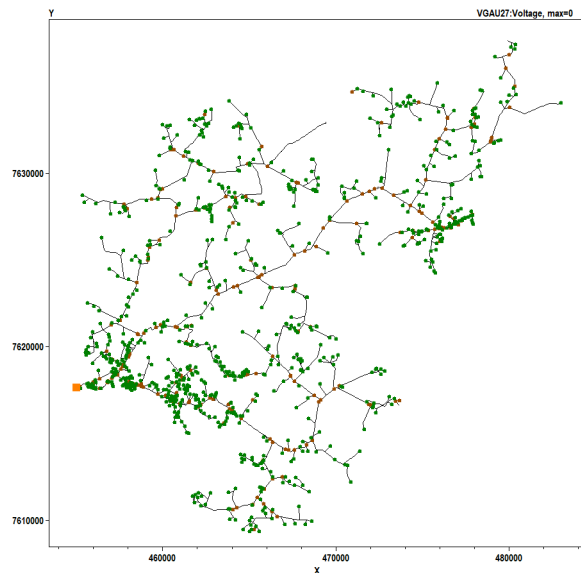


Figura 11. Topologia do alimentador plotada no OpenDSS.

Tabela 1. Resultado do fluxo de potência calculado com o OpenDSS.

Tensão Máxima (PU)	1,0019
Tensão Mínima (PU)	0,97024
Potência Ativa Total (MW)	3,12661
Potência Reativa Total (kVAr)	0,75099
Total de Perdas Ativas (kW)	3,85327

3.2 Cálculo de Perdas Não Técnicas

Para testar a metodologia do cálculo de perdas não técnicas, foi utilizado um alimentador real com 4570 barras, 18 clientes em média tensão e 2019 clientes atendidos em baixa tensão, cujos dados de faturamento do mês de janeiro de 2018 por cliente foi disponibilizado pela distribuidora. O alimentador então foi modelado de acordo com a orientação da ANEEL para cálculo de perdas técnicas, e a energia medida foi feita mediante a integração da curva de potência na saída do alimentador. O resultado do cálculo de balanço energético no referido mês é mostrado

Tabela 2. Resultado do cálculo do balanço energético.

Energia Medida (MWh)	1863,09
Energia Faturada (MWh)	1643,72
Perdas Técnicas (MWh)	143,56
Perdas não Técnicas (MWh)	82,15

na Tabela 2 e na Figura 12 é ilustrado a relação da energia medida com a energia faturada e as perdas estimadas.

BALANÇO ENERGÉTICO EM JANEIRO DE 2018

■ Energia Faturada ■ Perdas Técnicas ■ Perdas Não Técnicas

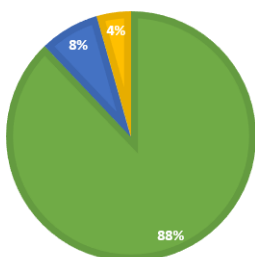


Figura 12. Componentes da energia medida.

3.3 Cálculo de Redes Reduzidas

O teste do cálculo de redes reduzidas foi realizado no alimentador de testes IEEE 123 barras, sendo a redução do alimentador ilustrada na Figura 13.

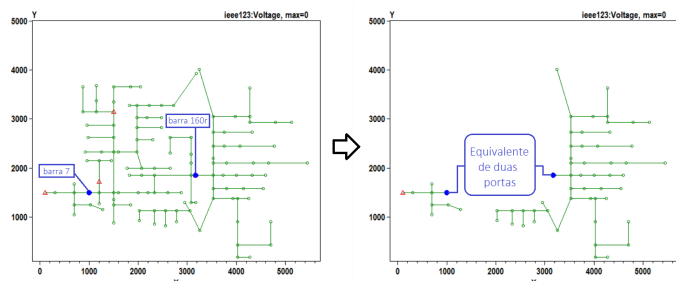


Figura 13. Alimentador IEEE 123 barras antes e depois da redução.

O resultado da eficácia do modelo reduzido da rede pode ser verificada na Figura 14, em que o perfil de tensão obtido com o cálculo do fluxo de potência antes e depois da redução do alimentador.

3.4 Localização de Falhas

Neste teste, a localização de falhas de um defeito real foi feita em um alimentador de 3768 barras com o uso de um registro oscilográfico do evento, mostrado na Figura 15, e do histórico de alarmes, que identifica o equipamento chaveado que abriu devido à sobrecorrente.

A partir do resultado mostrado na Figura 16 é possível ver a eficácia do algoritmo, que indica diversos pontos prováveis de ocorrência da falta em locais próximos ao ponto real, o transformador afetado.

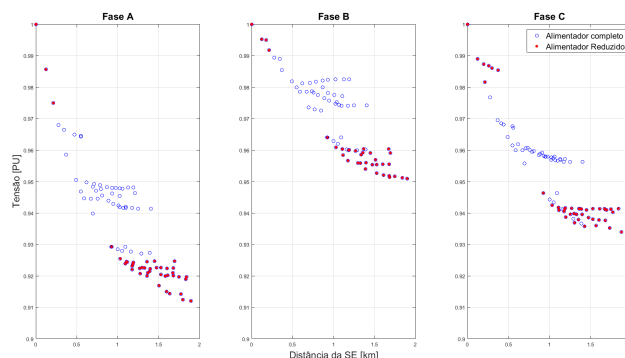


Figura 14. Perfil de tensão no alimentador antes e depois da redução.

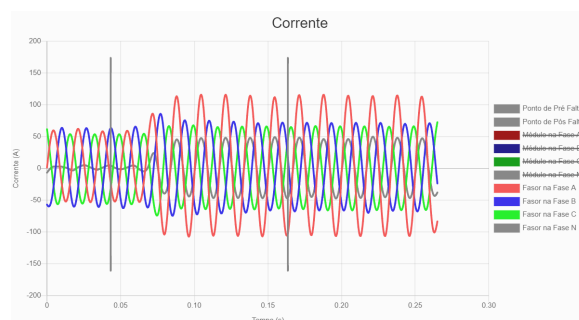


Figura 15. Registro oscilográfico da falta.

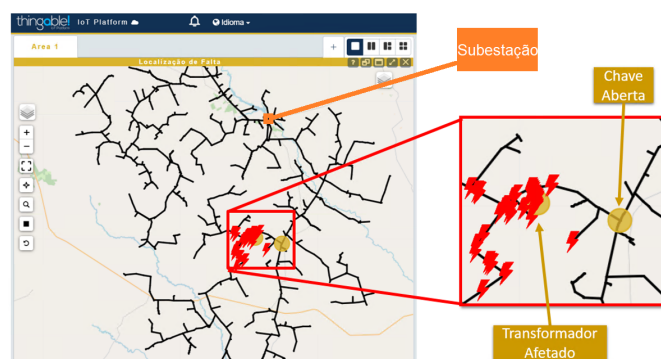


Figura 16. Localização de falhas.

3.5 Simulação de Operação em Tempo Real

O teste do simulador foi feito utilizando dados de um alimentador real, mostrado na Figura 17 simulando a presença de dois SAEBS de diferentes tecnologias, um de íon-Lítio com um inversor de 750 kVA e 1000 kWh de capacidade de armazenamento, e o outro de Chumbo-ácido avançado conta com 450 kVA e 750 kWh, para verificar o resultado de uma operação de limitação da carga na subestação em cerca de 6000 kW. Os detalhes do alimentador utilizado e dos SAEBS são descritos em Leite et al. (2019b).

Na Figura 18 é possível verificar que a partir da 20:00h os dois SAEBS começar a descarregar, com o objetivo de suprir parte da carga do alimentador e limitando a potência na subestação.

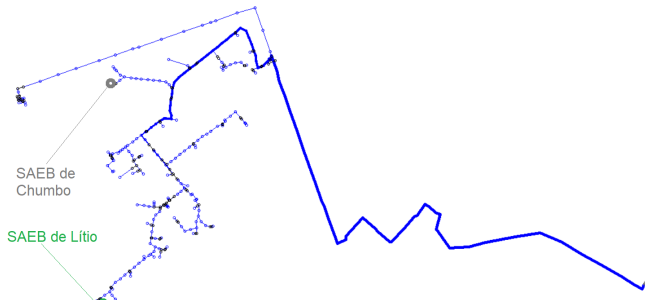


Figura 17. Alimentador real com recursos energéticos distribuídos.

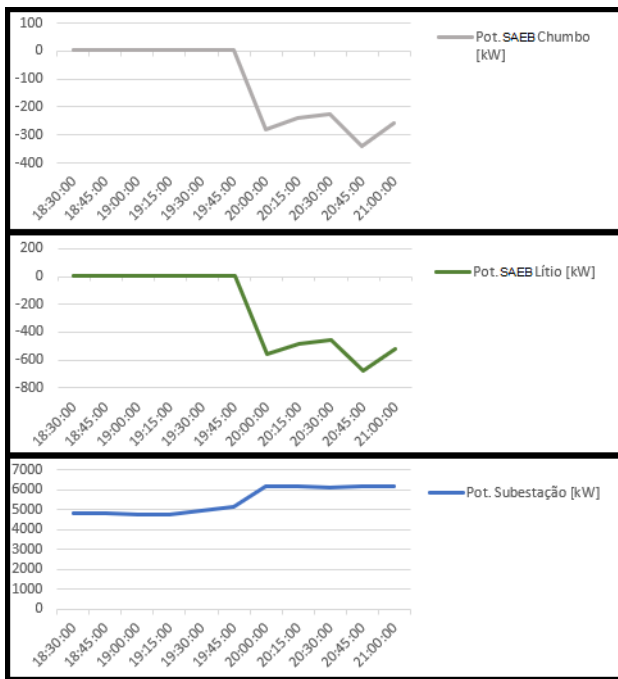


Figura 18. Monitoramento de potência em um alimentador com recursos energéticos distribuídos.

4. CONCLUSÃO

O uso da ferramenta OpenDSS permite a realização de diversas funcionalidades relevantes para ações de operação e manutenção em redes de distribuição. A ferramenta possibilita o cálculo eficaz e rápido do fluxo de potência nos alimentadores e permite que os dados necessários para sua execução e resultados obtidos de suas simulações sejam integrados a outras aplicações. Com isso, os ganhos para as distribuidoras podem ser diversos, como mostrado nas funcionalidades de redução da rede, cálculo de perdas não técnicas, localização de faltas na distribuição e simulação de rede com recursos energéticos distribuídos. Diversas outras funcionalidades ainda podem ser desenvolvidas com o apoio dessa ferramenta, tais como cálculos de reconfigurações de rede, cálculos de parâmetros de qualidade de energia com inserção de REDs, dentre outros.

REFERÊNCIAS

ANEEL (2014). Nota técnica n 0057/2014-srd/aneel. Technical report.

ANEEL (2015). Procedimento de regulação tarifária. Technical report.

ANEEL (2019). Geração distribuída. URL https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-marca-de-1gw-em-geracao-distribuida-656877.

ANEEL (2020). Geração distribuída. URL <https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>.

Billinton, R. and Allan, R.N. (1994). *Reliability Evaluation of Power Systems*. Plenum Press, 2 edition.

Concert Technologies S.A. (2020a). Smart sisc. URL <http://www.concert.com.br/pt/2018/03/07/cemig-smart-sisc/>.

Concert Technologies S.A. (2020b). xomni smart tools. URL <http://www.concert.com.br/pt/xomni-smart-tools/>.

Leite, L., Mafra, J., Teixeira, L., and Alessi, P. (2019a). Plataforma para avaliação de impactos técnicos da inserção de gdfv em larga escala na rede de distribuição. In *Conferência Brasileira sobre Qualidade de Energia Elétrica 2019*, 1–6.

Leite, L.H.M., Teixeira, L.G., Boaventura, W.C., Cardoso, E.N., Maia, A.S., Ramos, F.O., Campos, G.E.M., Ramos, D.C., Alves, D.D.S., and Passos, A.V.A.G. (2019b). Impactos de um sistema de armazenamento de energia de 1 MW na rede de distribuição de 13,8 kv - desafios técnicos, econômicos e regulatórios. In *XXV Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (XXV SNPTEE)*, 1–10.

Marques, R.C., Eichkoff, H.S., and de Mello, A.P.C. (2018). Analysis of the distribution network reconfiguration using the opendss software. In *2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Eletricos (SBSE)*, 1–6.

Nowak, S., Wang, L., Eberle, W., Shotorbani, A.M., and Metcalfe, M.S. (2019). Measurement-based network model reduction of distribution systems using two-port networks. In *2019 IEEE Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, 1–4.

NREL (2017). Software comparison for renewable energy deployment in a distribution network. Technical report. Pivotal (2020). Rabbitmq - messaging that just works. URL <https://www.rabbitmq.com/>.

Quesada, P., Arguello, A., Quirós-Tortós, J., and Valverde, G. (2016). Distribution network model builder for opendss in open source gis software. In *2016 IEEE PES Transmission Distribution Conference and Exposition-Latin America (PES T D-LA)*, 1–6.

Souza, J.P.A. and Boaventura, W.C. (2019). Influence of decentralization of energy storage systems with batteries in medium voltage distribution networks. In *Conferência Brasileira sobre Qualidade de Energia Elétrica 2019*, 1–6.