

FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA MODELAGEM DE ALIMENTADORES REAIS DE DISTRIBUIÇÃO NO OPENDSS

Ana Lúcia Falabretti Lanes

Departamento de Engenharia e Ciências da Computação

URI-FW

Frederico Westphalen, Brasil

analanes_09@hotmail.com

Aquiles Rossoni

UFRGS

Porto Alegre, Brasil

arossni@ece.ufrgs.br

Resumo— Este trabalho apresenta uma ferramenta computacional para modelar alimentadores de distribuição no *OpenDSS*, facilitando a modelagem de sistemas reais. A ferramenta computacional é baseada nos softwares *Excel*, onde são inseridos os dados do alimentador, e *Matlab*, que transforma os dados do *Excel* em um arquivo do alimentador com a sintaxe apropriada do *OpenDSS*. No estudo de caso é apresentada a validação da ferramenta através da modelagem de um alimentador real de uma permissionária, demonstrando ser uma ferramenta útil para empresas do setor e para pesquisadores. Com o alimentador modelado no *OpenDSS*, são realizadas análises de fluxo de carga para a obtenção do carregamento, dos níveis de tensões e das perdas no alimentador, ressaltando as funcionalidades de apresentação de resultados do *OpenDSS*. Os arquivos da ferramenta e do alimentador estão disponíveis de forma eletrônica, onde os mesmos podem ser analisados e aprimorados por demais pesquisadores e profissionais do setor.

Keywords—Fluxo de carga, *OpenDSS*, Sistemas de distribuição.

I. INTRODUÇÃO

O Sistema Elétrico de Potência (SEP) é composto por sistemas interligados de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. A principal função de um SEP é fornecer energia elétrica aos grupos de pequenos, médios ou grandes consumidores, entregando essa energia com qualidade adequada e no instante em que for solicitada [1]. Para a análise de sistemas de distribuição, existem diversas metodologias e ferramentas computacionais, dentre elas, é ressaltado o *The Open Distribution System Simulator (OpenDSS)*, por ser um *software* livre e de código aberto e por ser recomendado em Notas Técnicas da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) no cálculo de perdas e níveis de tensão [2].

Com as informações dos bancos de dados das empresas de distribuição, a modelagem de alimentadores reais na sintaxe do *OpenDSS* de forma manual demanda muito tempo, devido ao número elevado de elementos que o compõem, além da possibilidade de erros de digitação. Portanto, é importante o desenvolvimento de uma ferramenta computacional para realizar a transformação dos dados dos elementos que compõem alimentadores reais em um arquivo na sintaxe apropriada para ser analisada no *OpenDSS*. Com isso, este trabalho apresenta as

seguintes contribuições para a modelagem e análise de sistemas de distribuição:

- Apresentar uma ferramenta computacional para facilitar a modelagem de alimentadores reais na sintaxe do *OpenDSS*, disponibilizando a mesma de forma eletrônica.
- Apesar de existirem trabalhos e manuais [3]-[5] que apresentam a modelagem e análise de fluxo de carga no *OpenDSS*, este trabalho busca ressaltar os dados necessários dos elementos, os respectivos comandos e parâmetros para a sua modelagem, os modos de análise de fluxo de carga e as funcionalidades de extração de resultados no programa.

O trabalho está organizado da seguinte maneira: apresenta um referencial teórico na seção II, descreve a ferramenta computacional desenvolvida na seção III, com a validação desta através de um estudo de caso na seção IV, apresentando também os resultados obtidos para um alimentador real, e, para finalizar, as conclusões são descritas na seção V.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

Primeiramente, esta seção aborda os principais elementos de sistemas de distribuição, sendo os dados necessários e os respectivos comandos e parâmetros utilizados no *OpenDSS* apresentados de forma sucinta, mais detalhes podem ser encontrados em [5][6]. Posteriormente, são apresentados os métodos de análise de fluxo de carga do programa, bem como algumas funcionalidades para extração de resultados.

A. Barramento de referência

O barramento de referência é o ponto de partida do alimentador, este é representado através de um Equivalente de Thévenin, composto por uma tensão e uma matriz impedância equivalente do sistema [7]. No *OpenDSS* este elemento é modelado pelo comando *circuit*. Os dados necessários para modelar este elemento são a tensão base, a barra em que está conectado, o valor da tensão em *pu* e as resistências e reatâncias de sequência positiva e zero, respectivamente associados aos parâmetros *basekv*, *bus1*, *pu*, *R1*, *X1*, *R0* e *X0*. Uma alternativa a uso das impedâncias é a declaração das

potências de curto-circuito trifásico e monofásico, sendo declaradas no *OpenDSS* pelos parâmetros *mvasc3* e *mvasc1*. Por exemplo, um barramento de tensão base 23,1 kV, com tensão de 1 pu, resistência de sequência positiva e zero, respectivamente, 0,23 Ω e 0,42 Ω, e com reatâncias de sequência positiva e zero, respectivamente, 0,11 Ω e 0,54 Ω, é descrito da seguinte forma no *OpenDSS*:

```
New circuit.Alimentador, basekv=23.1 bus1=A pu=1
R1=0.23 X1=0.11 R0=0.42 X0=0.54
```

B. Linhas

As linhas de distribuição são modeladas pelo modelo pi, sendo composto por uma matriz impedância série e uma matriz admitância em derivação [1][7]. Para obter estas matrizes são necessárias as características dos condutores, bem como a geometria e o comprimento da linha. No *OpenDSS*, os cabos e as geometrias das linhas são declarados, respectivamente, através dos comandos *wiredata* e *linegeometry*, sendo utilizados posteriormente no comando da linha *line*.

Os dados básicos dos condutores são a resistência por unidade de comprimento, raio médio geométrico e o diâmetro externo, correspondentes, respectivamente, aos parâmetros *Rac*, *GMRac* e *Diam* do comando *wiredata*. Por exemplo: um condutor de resistência elétrica CA 60 Hz de 0,5221 Ω/km, com raio médio geométrico de 0,00381 m e diâmetro externo de 10,5 mm, no *OpenDSS* é descrito conforme abaixo:

```
New wiredata.Aster_2/0, Runits=km Rac=0.5221
GMRunits=m GMRac=0.00381 Radunits=m Diam=0.0105
```

Os dados básicos da geometria da linha são o número de condutores, o número de fases e, para cada condutor, um número associado ao condutor, o tipo de condutor (conforme declarado no *wiredata*) e as distâncias vertical e horizontal conforme a sua posição no poste, sendo utilizados, respectivamente, os parâmetros *nconds*, *nphase*, *cond*, *wire*, *h* e *x*. Por exemplo: uma geometria de linha trifásica sem neutro, sendo os condutores de fase conforme o condutor declarado acima, com poste de 11 m de altura e distância entre as fases A, B e C ao centro poste, respectivamente de 95 cm, 40 cm e 95 cm, é declarado no *OpenDSS* por:

```
New linegeometry.Estrutura_1, nconds=3 nphases=3
~ cond=1 wire=Aster_2/0 units=m x=-0.95 h=11
~ cond=2 wire=Aster_2/0 units=m x=0.40 h=11
~ cond=3 wire=Aster_2/0 units=m x=0.95 h=11
```

Na modelagem da linha, os dados necessários são o comprimento, o tipo da geometria (conforme declarado em *linegeometry*) e as barras em que está conectada, correspondendo aos parâmetros *geometry*, *length*, *bus1* e *bus2*. Por exemplo: linha com a geometria apresentada acima, comprimento de 2 km entre as barras A e B, é declarada por:

```
New line.Linha_1, Geometry=Estrutura_1 Length=2
Units=km Bus1=A.1.2.3 Bus2=B.1.2.3
```

C. Transformadores

Os transformadores podem ser representados por uma matriz admitância primitiva [8] que relaciona as correntes e tensões de primário e de secundário, sendo modelados no

OpenDSS pelo comando *transformer*. A modelagem básica de um transformador no *OpenDSS* é dada através dos parâmetros *phases*, *windings*, *xhl*, *%loadloss*, *%noloadloss*, *%imag* e, para cada enrolamento, *wdg*, *bus*, *conn*, *kV* e *kVA*, que correspondem, respectivamente, ao número de fases, número de enrolamentos, a reatância de primário para secundário, perdas a vazio, perdas no cobre, corrente de magnetização, número atribuído ao enrolamento, barra associada ao enrolamento, tipo de conexão, tensão nominal e potência nominal para cada enrolamento.

Um transformador trifásico de 150 kVA com dois enrolamentos, nas barras A e B, reatância de enrolamento primário para secundário de 3,75%, perdas a vazio de 1,2%, perdas no cobre de 0,3%, corrente de magnetização de 1,5%, primeiro enrolamento em delta e com tensão de 23,1 kV e segundo enrolamento em estrela aterrado, com tensão de 0,38 kV, é representado no programa da seguinte forma:

```
New transformer.trafo phases=3 winding=2 XHL=3.75
%noloadloss=1.2 %loadloss=0.3 %imag=1.5
~ wdg=1 bus=B.1.2.3 conn=delta kV=23.1 kVA=150
~ wdg=2 bus=C.1.2.3.0 conn=wye kV=0.38 kVA=150
```

Em alimentadores de distribuição reais é comum o uso de transformadores de fase dividida (três enrolamentos). Alguns fabricantes fornecem as características destes transformadores obtidas com a realização de ensaios com a união dos enrolamentos secundário e terciário. A características de cada enrolamento pode ser obtida por aproximações [9].

D. Cargas

Em estudos de regime permanente, para cada tipo de carga, há uma variação na potência absorvida pelas mesmas devido as variações na tensão de suprimento. Existem diversos modelos do comportamento da carga em função a tensão aplicada, entre eles, podem ser destacados: potência constante, corrente constante, impedância constante e ZIP [1][7]. Adicionalmente, o consumo da potência varia ao longo do tempo, sendo representado por curvas de carga diária [1][7].

No *OpenDSS* as curvas de carga são definidas pelo comando *loadshape*, contendo os parâmetros *npts*, *interval* e *mult*, que correspondem ao número de pontos, o intervalo de tempo entre cada ponto e os valores que multiplicaram a potência declarada para a carga. As cargas são declaradas através do comando *Load*, sendo os parâmetros básicos *phases*, *bus1*, *conn*, *kV*, *kW*, *pf* e *model* e *daily* correspondente ao número de fases, barras em que está conectada, tipo de conexão, tensão nominal, potência nominal, fator de potência, modelo de carga e curva de carga diária (de acordo com o definido no *loadshape*). Por exemplo: uma carga trifásica equilibrada conectada na barra D, com conexão estrela, tensão e potência nominal de 380 V e 200 kW, fator de potência igual a 0,92, modelada como potência constante e possuindo uma curva de carga diária, com um intervalo entre os valores de uma hora, pode ser declarada no *OpenDSS* por:

```
New loadshape.curva1 npts=24 interval=1 mult=(0.3 0.3
0.4 0.4 0.5 0.55 0.6 0.8 0.8 0.9 1 1.2 1.1 1 0.7 0.75 0.8 0.5 0.5
0.8 0.85 0.7 0.5 0.3)
```

New load.carga1 phases=3 bus1=D conn=wye kV=0.38 kW=200 pf=0.92 model=5 daily=curval

E. Análise de Fluxo de Carga e obtenção de resultados

O fluxograma apresentado na Fig. 1 resume os dados necessários e comandos para modelar o sistema no *OpenDSS*, bem como os métodos de análise de fluxo de carga e alguns resultados que podem ser obtidos.

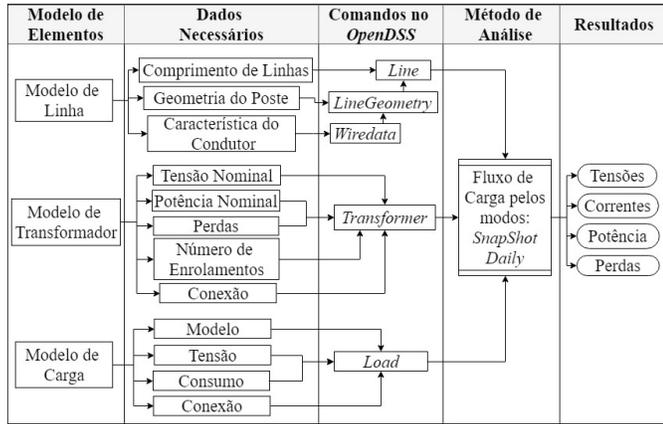


Fig. 1. Processo de modelagem e análise de fluxo de potência no *OpenDSS*.

No modo *SnapShot*, o fluxo de potência é determinado para um instante do tempo, normalmente utilizado para estudos que se deseja conhecer as condições limites do sistema. Na análise da demanda máxima, estando as cargas definidas pela potência média, é possível utilizar o comando *Set LoadMult* para multiplicar o valor das cargas pelo inverso do fator de carga. No modo *Daily*, o cálculo de fluxo de potência é realizado diversas vezes para o período de um dia, por exemplo, pode ser realizada 24 análises, uma para cada hora.

Nas funcionalidades de análise dos resultados, uma maneira prática de ver os resultados graficamente é adicionando as coordenadas geográficas de cada barra, estas são adicionadas através do comando *BusCoords*. As coordenadas podem ser armazenadas em um arquivo de extensão *.csv*, contendo em cada linha, respectivamente, o nome da barra e as coordenadas, sendo adicionadas ao código do *OpenDSS* desta forma:

BusCoords file=Alimentador_BusCordXY.csv

Com as coordenadas, os fluxos de potência, correntes, níveis de tensão e perdas podem ser vistos de forma gráfica no unifilar do alimentador com o comando do menu *Plot - Circuit Plot*. O perfil de tensão do alimentador, de acordo com a distância de uma barra declarada, também pode ser visto de forma gráfica pelo comando do menu *Plot - Profile*. O comando *EnergyMeter* é utilizado para definir a barra declarada, sendo necessário também o uso dos comandos *VoltageBases* e *CalcVoltageBase*. Para o modo *Daily* é destacado o uso do comando *Monitor*, com o intuito de visualizar o comportamento das grandezas em um dado elemento ao longo do dia. Mais detalhes do uso destes comandos são descritos em [5][6].

Os resultados também podem ser obtidos de forma textual, através dos comandos do menu *Show* e *Export*. Dentre estes

comandos, uma funcionalidade para verificar erros na conexão é o comando do menu *Show - Isolated*, que apresenta os elementos desconectados do alimentador. Outra funcionalidade importante é o comando do menu *Export - Overloads*, que apresenta os elementos que possuem carregamento acima do seu valor nominal.

III. FERRAMENTA COMPUTACIONAL DESENVOLVIDA

A ferramenta computacional para modelar alimentadores de distribuição na sintaxe do *OpenDSS* é baseado nos *softwares Excel* e *Matlab*. A Fig. 2 resume a metodologia empregada para obter o sistema modelado através da ferramenta computacional desenvolvida, sendo todas informações disponibilizadas de forma eletrônica em: <https://www.dropbox.com/sh/jukm13il0x93jg7/AABQg77sb78XgzDfNWNGuMx5a?dl=0>.

As concessionárias e permissionárias possuem os dados necessários mencionados na seção II em bancos de dados, sendo que normalmente estes podem ser exportados na extensão *.csv* e importados em outros programas, como o *Excel*. Portanto, no *software Excel* foi criada uma planilha para realizar a declaração dos dados. Ao se trabalhar com sistemas reais, é apenas necessário importar os dados nas posições adequadas da planilha. Uma das vantagens do *Excel*, é que erros de importação podem ser facilmente visualizados com uma inspeção dos dados na planilha. Adicionalmente, sistemas testes menores podem ser declarados diretamente no *Excel*. A planilha desenvolvida contém 10 abas, sendo elas associadas ao barramento de entrada, características dos condutores e das geometrias das linhas, linhas existentes, ramais de ligação existentes, transformadores existentes e cargas do sistema, representadas pela energia consumida e pelas curvas de carga dos consumidores. Mais detalhes podem ser visualizados na própria planilha, fornecida de forma eletrônica, ou em [6].

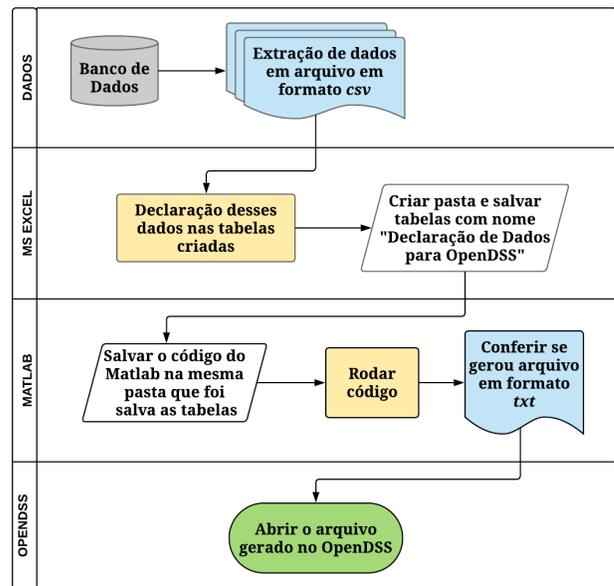


Fig. 2. Fluxograma da ferramenta computacional desenvolvida.

Com o *software Matlab* foi realizado um código para ler as abas da planilha e gerar um arquivo com extensão *.txt* na

sintaxe apropriada do *OpenDSS*. O código no *Matlab* também está disponível de forma eletrônica. Após gerar o arquivo na extensão *.txt*, este pode ser aberto no *OpenDSS*, permitindo a obtenção dos resultados.

IV. ESTUDO DE CASO

Para validar a ferramenta, foi realizado um estudo de caso em um alimentador real de uma empresa permissionária, localizada em Pinhal-RS. Esta seção descreve primeiro o sistema, posteriormente são apresentados os resultados.

A. Descrição do sistema

O alimentador analisado está localizado nas mediações da cidade de Redentora-RS, e é encarregado de transportar energia para a área rural, com extensão aproximadamente de 35 km. Este alimentador inicia em uma conexão com um alimentador de uma concessionária, sendo esta conexão aproximadamente a 10 km da subestação desta concessionária.

Em média tensão, a tensão nominal é de 23,1 kV, possuindo linhas trifásicas, bifásicas e monofásicas, totalizando 1010 trechos de linhas. A média tensão alimenta um total de 96 transformadores, contendo transformadores trifásicos, bifásicos e monofásicos, que transformam a tensão para 380/220 V em uma rede secundária composta de 306 trechos de linhas, contendo linhas trifásicas, bifásicas e monofásicas.

O alimentador possui 164 consumidores, sendo estes modelados como cargas através das potências médias, obtidas com base na energia faturada, e nas curvas de cargas, obtidas através de campanhas de medição. Cinco tipos de curvas de carga são existentes: Industrial, Comercial, Poder Público, Iluminação Pública e Rural. A grande maioria dos consumidores está alocada na classe Rural. As informações dos consumidores correspondem aos últimos doze meses, porém, será apresentada a análise para apenas um mês.

B. Modelagem, análise e resultados

Os dados do sistema foram exportados na extensão *.csv* da base de dados da empresa e importados no *Excel*, sendo gerado então o arquivo no formato *.txt* através do *Matlab*, sendo este arquivo aberto no *OpenDSS* para realizar as análises.

É destacado que para as resistências dos condutores das linhas primárias e secundárias, bem como as perdas em vazio e perdas totais dos transformadores, foram adotados os valores regulatórios para o cálculo de perdas, dados nos Anexo I e II do Módulo 7 dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST) da ANEEL [10]. Adicionalmente, o modelo de carga adotado foi o estabelecido em mesmo módulo, sendo o modelo ZIP, composto por 100% de impedância constante para a parcela reativa e de 50% de potência constante e 50% de impedância constante para parcela ativa da carga. O valor do fator de potência considerado foi 0,92. O arquivo gerado na sintaxe do *OpenDSS* também está disponível de forma eletrônica.

Para iniciar a análise, foi verificada a existência de elementos desconectados do alimentador, através do comando do menu *Show – Isolated*. Foram encontrados cinco trechos de linhas secundárias desconectados do alimentador. Segundo a permissionária, esses trechos estão desconectados do sistema

por não possuírem mais consumidores, tendo os seus transformadores retirados, porém mantendo as estruturas de poste com as linhas. Estes trechos foram mantidos no código, dado que não influenciam nos resultados de fluxo de carga.

Para realizar a análise para a condição de demanda máxima, foi obtido o fator de carga do alimentador através de medições na barra de referência do alimentador, sendo igual a 0,318. O inverso deste valor foi então aplicado através do *Set LoadMult* no modo de análise *Snapshot*. Utilizando como barra declarada no *EnergyMeter* a barra de referência, são obtidas as tensões em todas as barras, de acordo com as suas distâncias para a barra de referência, demonstradas na Fig. 3.

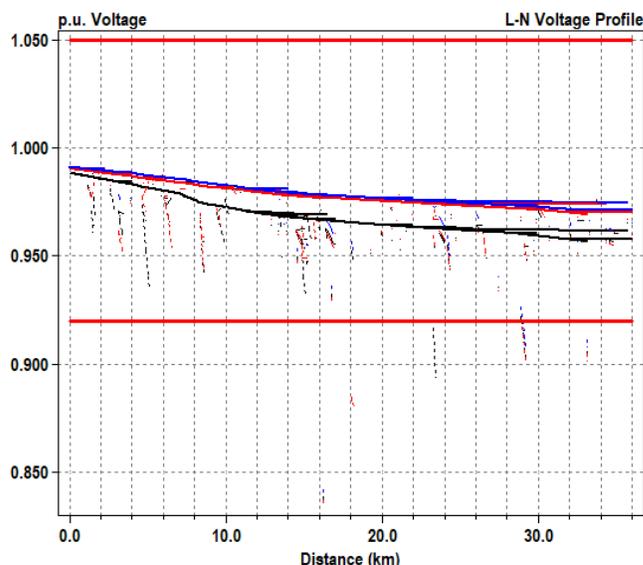


Fig. 3. Perfil de tensão em pu em função da distância da barra de referência considerando a demanda máxima. Linhas contínuas e tracejadas representam, respectivamente, as barras de média e baixa tensão, as cores representam as fases.

Conforme figura, é possível adicionar os valores limites que as tensões podem assumir. Foram adotados os valores limites da faixa considerada como adequada pelo módulo 8 do PRODIST [11]: entre 0,93 e 1,05 pu. Em poucas barras a tensão não está em nível adequado para a demanda máxima, demonstrando que o alimentador está bem dimensionado. Neste e demais gráficos criados pelo comando *Plot*, é possível clicar com o botão direito do mouse para acessar os detalhes da barra, como os valores de tensão, corrente e potência.

A partir do comando do menu *Plot – Circuit* foi obtido o unifilar do alimentador com a opção de visualização de fluxo de potência, apresentado na Fig. 4. A espessura das linhas está de acordo com a proporção de potência transportada, podendo ser observado o trajeto de maior fluxo de potência ao longo do alimentador. É possível declarar uma potência de referência a partir da configuração do parâmetro *max*, onde através deste valor serão definidas as espessuras das linhas no gráfico. Neste e demais unifilares, o trecho na cor rosa corresponde as linhas de baixa tensão desconectadas do alimentador.

Realizando a configuração do *Plot – Circuit* para exibir as tensões, é gerado o gráfico unifilar com as tensões ao longo do alimentador, conforme apresentado na Fig. 5. Com esse gráfico

pode ser visualizado se há algum trecho do sistema que as tensões estão fora da faixa de 0,93 e 1,05 pu. Na mesma figura são apresentados dois trechos de baixa tensão nesta condição.

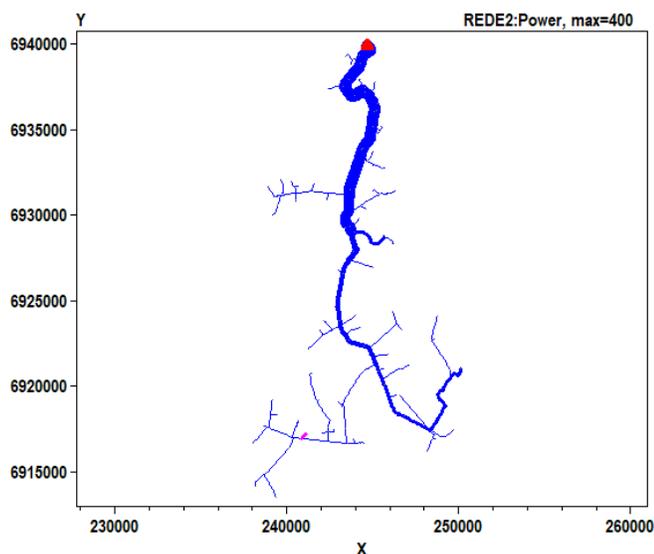


Fig. 4. Fluxo de potência do alimentador considerando a demanda máxima.

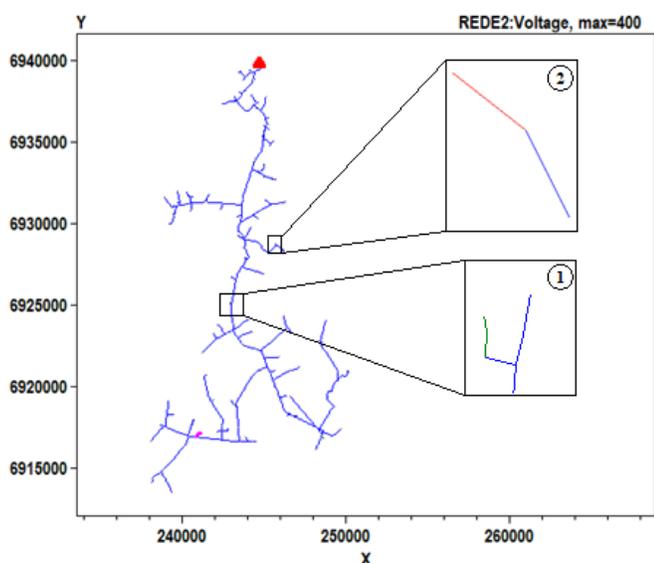


Fig. 5. Tensões do alimentador considerando a demanda máxima. Detalhes 1 e 2 demonstram trechos de linhas em verde e vermelho com tensão, respectivamente, em nível precário (abaixo de 0,93) e crítico (abaixo de 0,90).

No *Plot – Circuit* também é possível obter o gráfico unifilar com as correntes que circulam no alimentador, o mesmo é apresentado na Fig. 6. Através da ferramenta de zoom é possível observar alguns trechos com corrente maior que a nominal. Os elementos do sistema sobrecarregados também podem ser visualizados através do comando do menu *Export – Overloads*. De forma geral, o alimentador está bem dimensionado, dado que poucos elementos ultrapassam a sua corrente nominal na condição de demanda máxima.

As perdas também podem ser visualizadas através do menu *Plot – Circuit*, o gráfico unifilar com as perdas no sistema é

dado na Fig. 7. A partir da espessura das linhas pode ser observado os pontos do alimentador com perdas mais significativas, onde a permissionária pode dedicar ações para reduzir estes valores.

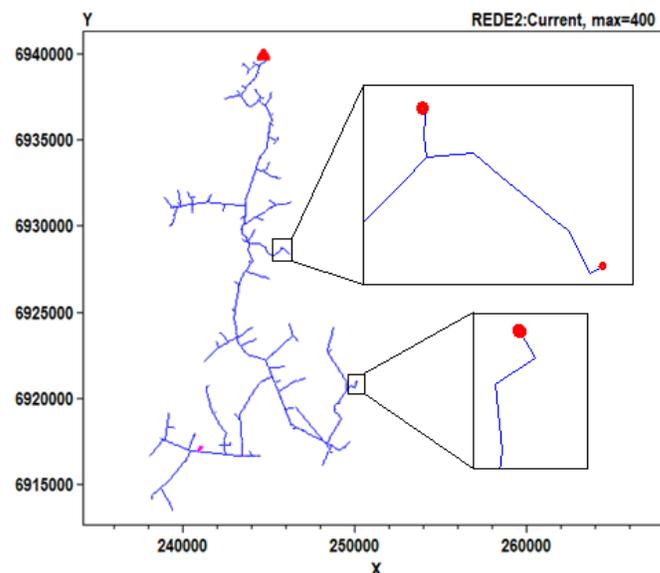


Fig. 6. Correntes do alimentador considerando a demanda máxima. Detalhes mostram pontos onde a corrente está acima da nominal (em vermelho).

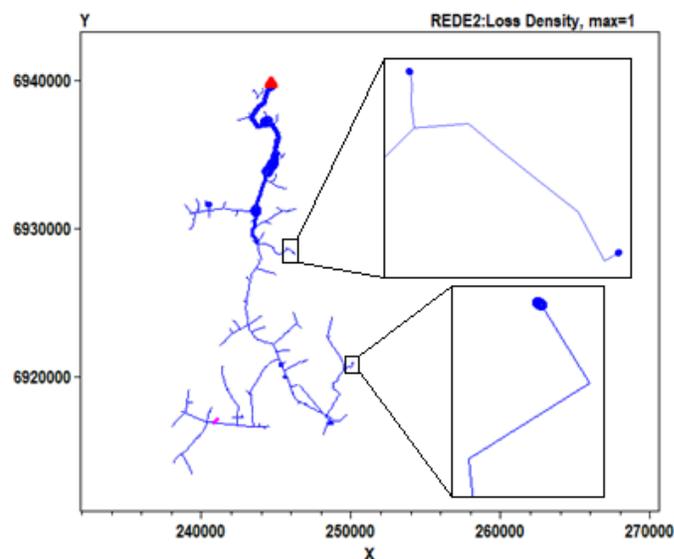


Fig. 7. Perdas no alimentador considerando a demanda máxima. Detalhes mostram pontos onde a corrente está acima da nominal, possuindo perdas elevadas.

No modo *Daily*, com o elemento *Monitor* na barra de referência, é possível obter o comportamento diário da demanda nas três fases, conforme Fig. 8, podendo ser configurado e analisado também para a tensão. É possível verificar na figura a relação do aumento da demanda ao longo do dia que, consecutivamente, gera uma queda de tensão.

Para aspectos regulatórios [10], as perdas devem ser obtidas considerando a curva de carga diária. Para visualizar o comportamento das perdas ao longo do dia, tanto nas linhas

quanto nos transformadores, foi criada a Fig. 9 com base nos resultados obtidos no comando do menu *Show – Losses*. Os demais resultados de tensões, correntes e fluxos de potência também podem ser obtidos para todos os horários.

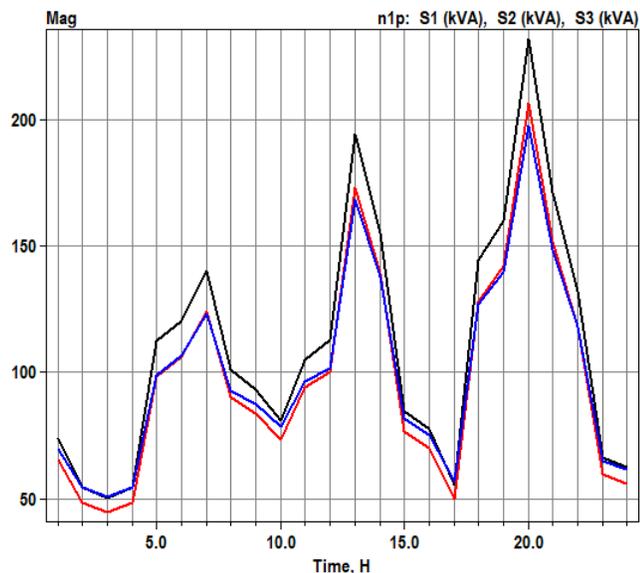


Fig. 8. Demanda (kVA) na barra de referência (comportamento diário). As cores representam as fases.

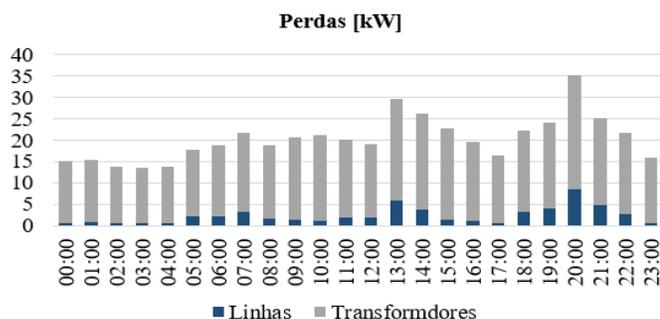


Fig. 9. Perdas nas linhas e nos transformadores ao longo do dia.

V. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma ferramenta computacional para modelar alimentadores de distribuição reais na sintaxe do *OpenDSS*. A vantagem do *OpenDSS* é o fato deste ser um *software* livre e de código aberto, sendo recomendado o seu uso pela ANEEL. Visando a modelagem de alimentadores reais de forma prática e evitando erros, a ferramenta computacional foi baseada nos *softwares Matlab* e *MS Excel*. No *MS Excel* foram desenvolvidas tabelas a serem preenchidas com as características do sistema através dos bancos de dados das empresas. A representação dos dados neste programa torna mais fácil a verificação de inconsistências que seriam dificilmente identificadas na sintaxe do *OpenDSS*, sendo um

ponto positivo da ferramenta proposta. Um código no *Matlab* foi desenvolvido para ler as tabelas e gerar um arquivo em formato de texto com a sintaxe apropriada para o *OpenDSS*. O estudo de caso em um alimentador real de uma permissionária demonstrou que a ferramenta desenvolvida é eficaz para modelar o sistema na sintaxe do *OpenDSS*. Através do modelo do sistema no *OpenDSS*, algumas funcionalidades de análise e extração de resultados foram discutidas, facilitando o uso deste programa por demais usuários. Adicionalmente, a ferramenta proposta está disponível de forma eletrônica, de forma que possa ser aprimorada por demais pesquisadores e profissionais do setor.

REFERÊNCIAS

- [1] N. Kagan, C. Oliveira e E. Robba, Introdução aos sistemas de distribuição de Energia Elétrica, 2º ed., São Paulo: Edgard Blücher, 2010.
- [2] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Nota Técnica nº 0057/2014 - SRD/ANEEL – Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2014/026/documento/nota_tecnica_0057_srd.pdf>. Acesso em: 04 de Julho de 2018.
- [3] F. F. Carvalho, Estudo do Simulador OpenDSS. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Monografia apresentada à Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2014.
- [4] B. S. Junior, Análise de Operação de Sistemas de Distribuição Utilizando o OpenDSS. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em Energia e Automação) – Monografia apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2010.
- [5] C. R. Dugan, Reference Guide: The Open Distribution System Simulator (OpenDSS) - Revision 7.6.5. Palo Alto: Electric Power Research Institute, 2018.
- [6] A. L. Lanes, Ferramenta Computacional para Modelagem e Análise de Sistema de Distribuição Reais Utilizando o OpenDSS. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) – Monografia apresentada à Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI-FW, Frederico Westphalen, RS, não publicado.
- [7] W. H. Kersting, Distribution system modeling and analysis, 3º ed. Boca Raton: CRC Press, 2012.
- [8] C. Fantin, Metodologia para Estimativa de Estado Trifásica em Sistemas de Distribuição Incorporando Medidas SCADA, Virtuais, Pseudo-medidas e Medidas Fasoriais Sincronizadas. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- [9] T. Short, Electric Power Distribution Handbook. Boca Raton: CRC Press, 2003.
- [10] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – Módulo 7 – Cálculo de Perdas na Distribuição. Revisão 5. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/Módulo7_Revisao_5+-+Retificado/669bf2b6-7fb4-07e8-f5fd-0bea4d83ad34>. Acesso em: 05 de Julho de 2018.
- [11] ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica (Brasil). Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST – Módulo 8 – Qualidade de Energia Elétrica. Revisão 10. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/Módulo_8-Revisão_10/2f7cb862-e9d7-3295-729a-b619ac6baab9>. Acesso em: 05 de Julho de 2018.