



DESENVOLVIMENTO DE UMA *INTERFACE* GRÁFICA PARA USO ACADÊMICO DO *SOFTWARE* OPENDSS

Allan David da Costa Silva – allan.costa@ee.ufcg.edu.br

Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Rua Aprígio Veloso, 882
58429900 – Campina Grande – Paraíba

Núbia Santos Dantas Brito – nubia@dee.ufcg.edu.br

Matheus Dantas de Lucena – matheus.lucena@ee.ufcg.edu.br

Rivanildo Alves Soares – rivanildo.soares@ee.ufcg.edu.br

Resumo: *Este trabalho apresenta a versão acadêmica de uma interface gráfica para o software OpenDSS, o qual foi adotado pela Agência Nacional de Energia Elétrica como ferramenta padrão para o cálculo das perdas no setor de distribuição de energia elétrica, tema que integra a ementa da disciplina Distribuição de Energia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande. O objetivo é obter uma interface mais amigável para o uso do software, facilitando e reduzindo o tempo de modelagem, possibilitando o seu uso como ferramenta de ensino. A interface foi desenvolvida utilizando o Visual Basic for Applications via Excel[®] e sua validação é demonstrada a partir da modelagem de um alimentador fictício.*

Palavras-chave: *Distribuição de energia elétrica. Ensino. Software OpenDSS.*

1 INTRODUÇÃO

O novo marco regulatório do setor elétrico nacional, instituído em 2020, provocou mudanças em todas as instâncias do setor, no qual destaca-se a necessidade de modernização da gestão técnica das distribuidoras de energia. Como consequência, um novo perfil do engenheiro eletricitista passou a ser requerido. Para se adequar a esse novo cenário, a disciplina Distribuição de Energia Elétrica (DEE) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), vem testando novas metodologias de ensino, como o uso de *softwares* como ferramentas didáticas.

Um dos temas de maior importância da disciplina DEE é o cálculo das perdas no sistema elétrico de potência, que correspondem ao total das perdas em seus vários componentes (transformadores, linhas de transmissão/distribuição, subestações, etc.). As perdas são reguladas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que estabelece os percentuais regulatórios por meio da revisão tarifária periódica. Visando subsidiar as distribuidoras no processo de apuração das perdas, a ANEEL estabeleceu na Nota Técnica 0057/2014, uma metodologia para o cálculo das perdas na distribuição, as quais são estimadas via execução do fluxo de carga por meio do *software Open Distribution System Simulator* (OpenDSS).

Apesar da sua eficácia já comprovada, os especialistas relatam dificuldades na etapa de modelagem do sistema, a qual é feita por linhas de comando, resultando em um processo dispendioso e sujeito a erros. Tendo em vista que a disciplina DEE é ministrada no período de

apenas um semestre, constatou-se que a aplicação do OpenDSS na referida disciplina só seria viável com o desenvolvimento de uma *interface* mais amigável para o *software*, a qual dispensaria o estudo da arquitetura do *software* e de sua linguagem de programação e o aluno poderia dedicar o seu tempo para realizar os estudos requeridos na ementa da disciplina, ou seja: fluxo de carga, queda de tensão e perdas. Assim, visando aplicar o OpenDSS ao ambiente de ensino, desenvolveu-se uma *interface* denominada de Assistente para Programação de Sistemas Elétricos (APSE), a qual é apresentada neste artigo.

Além desta seção introdutória, o artigo foi organizado da seguinte forma: na seção 2 apresenta-se uma descrição do *software* OpenDSS; na seção 3, apresenta-se um breve resumo do *Visual Basic for Applications* (VBA), o qual foi utilizado para desenvolvimento da *interface*; nas seções 4 e 5, a *interface* propriamente dita é apresentada e validada, respectivamente. O artigo é finalizado com as conclusões inferidas.

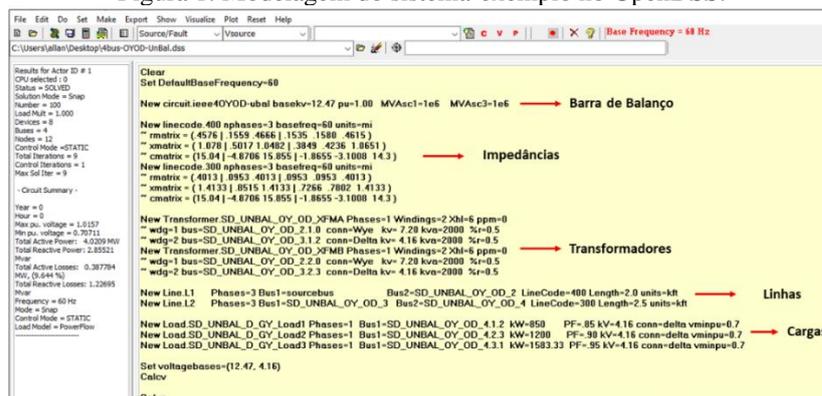
2 O SOFTWARE OPENDSS

O OpenDSS, *software* de domínio do *Electric Power Research Institute* (EPRI), é um simulador de Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica (SDEE), que dentre as suas várias funcionalidades, executa cálculos de queda de tensão, perdas e fluxo de carga, temas que integram a ementa da disciplina DEE da UFCG. Para computar o fluxo de carga, o OpenDSS disponibiliza diversos modos de solução, por exemplo: fluxo de potência instantâneo, fluxo de potência diário e fluxo de potência anual.

Dentre as várias razões de sua escolha pela ANEEL, destacam-se: ser de código aberto e expansível, o que permite realizar modificações conforme as necessidades do usuário, além da possibilidade de ser customizado via programação (ANEEL, 2014). Apesar de todas essas boas características, o OpenDSS possui algumas limitações, como: ausência de uma *interface* gráfica amigável e conhecimento da sintaxe de cada linha de comando (FREITAS, 2015).

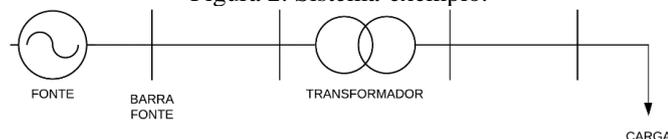
Para demonstrar esse fato, ilustra-se na Figura 1, a modelagem do sistema-exemplo da Figura 2, disponibilizado pelo próprio *software*, no qual destacam-se os parâmetros requeridos pela barra de balanço, impedâncias, transformadores, linhas e cargas.

Figura 1: Modelagem do sistema-exemplo no OpenDSS.



Fonte: Autoria própria.

Figura 2: Sistema-exemplo.



Fonte: Autoria própria.

Na prática os SDEE são grandes e complexos, o que torna a tarefa de modelagem dos seus diversos elementos no OpenDSS uma tarefa árdua e sujeita a erros.

3 O VISUAL BASIC FOR APPLICATIONS

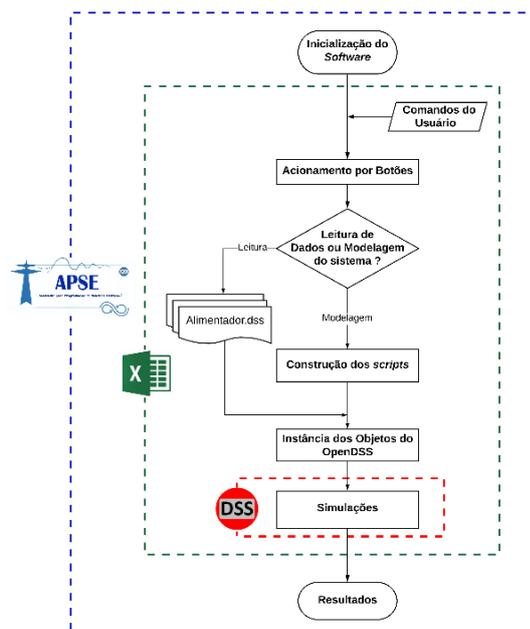
O VBA é uma linguagem de programação derivada do *Visual Basic*, incorporada à suíte de aplicativos do *Microsoft® Office*. Ela pode ser usada para controlar aspectos da aplicação *Office*, incluindo a manipulação da GUI (*Graphic User Interface*) e o desenvolvimento de programas integrados. Há três razões principais para se considerar a programação em VBA via Excel[®] (SANTOS, 2013):

1. A linguagem VBA é eficiente na execução de tarefas repetitivas que demandam precisão na inserção de dados, sendo largamente utilizada por engenheiros eletricitistas;
2. Pode ser usada para interagir com os pormenores de duas ou mais aplicações do *Microsoft® Office*, além de modificar o conteúdo de uma aplicação com base em outra;
3. Disponibiliza planilhas para entrada de dados, sem a necessidade de outro *software*, o que a torna adequada para a construção de uma *interface* para um *software* de SDEE.

4 ARQUITETURA DO APSE

Dentre as muitas vantagens do OpenDSS, uma das mais importantes é, sem dúvida, a possibilidade de uso da *Component Object Model (COM)*, que consiste em um sistema orientado a objetos, disponibilizado pela *Microsoft®*. Esse sistema permite criar componentes binários de *software*, os quais podem se comunicar independentemente das linguagens em que foram escritos (MICROSOFT, 2018). Diante dessa possibilidade e do fato do Excel[®] ser largamente utilizado pelas empresas do setor elétrico, desenvolveu-se uma *interface* em linguagem VBA via Excel[®], cuja arquitetura está resumida na Figura 3.

Figura 3: Arquitetura do APSE.

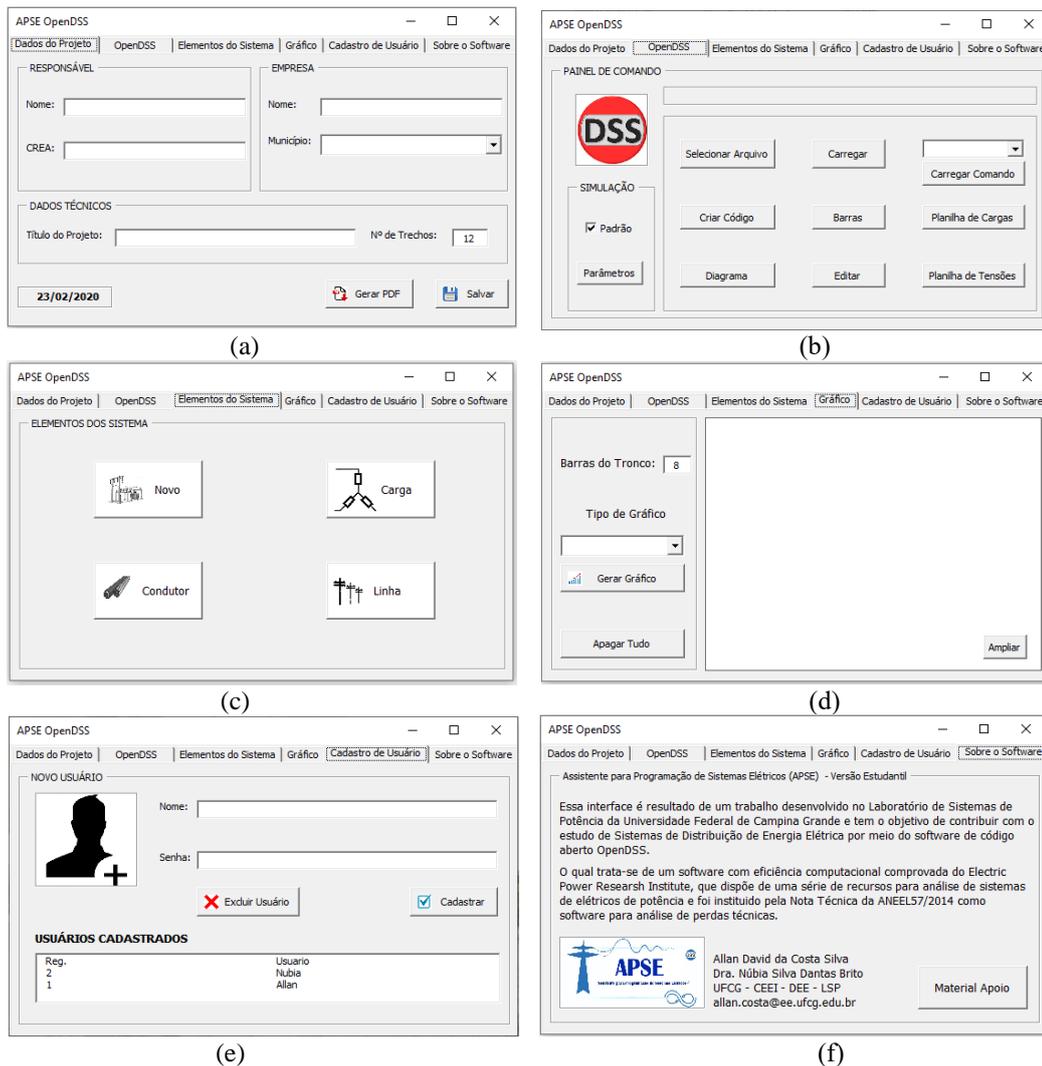


Fonte: Autoria própria.

Destaca-se nessa arquitetura, a conexão entre o OpenDSS e a linguagem VBA via Excel[®], a qual é feita por meio da instância de objetos a partir das classes do OpenDSS, que realizam funções como, por exemplo, a execução do arquivo do alimentador. Além disso, uma segunda premissa é a possibilidade de criar *scripts* referentes aos elementos do alimentador, via preenchimento de planilhas automatizadas por macros, que transformam os dados em *scripts* com a sintaxe adequada.

A *interface* desenvolvida, denominada APSE, é de fato, um arquivo Excel[®] habilitado a macros, formado por seis abas principais, as quais são apresentadas na Figura 4.

Figura 4: Abas do APSE.

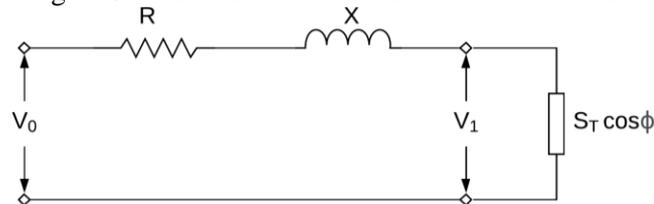


- Identificação da análise. O usuário poderá preencher os dados do SDEE, como o número de trechos e as informações do responsável. Além disso, é possível gerar um relatório com o resumo dos resultados.
- Janela de conexão entre os *softwares*. Neste espaço estão disponíveis funções que irão realizar ações que utilizam o OpenDSS, como Carregar Arquivo.
- Janela reservada à criação de cada elemento componente do SEP. Cada botão abre uma planilha automatizada via macros, que convertem os parâmetros em comandos com a sintaxe do OpenDSS.
- Aba responsável pela exibição dos gráficos de tensão de cada fase do tronco. Ao clicar em Gerar Gráfico, o APSE desenha no espaço em branco o gráfico correspondente, com os valores da planilha de tensões.
- Aba reservada ao cadastro ou a exclusão dos usuários.
- Janela de informações sobre o APSE e o *link* direto, no botão Material, para a pasta *online* do Assistente, com guias e informações.

5 DEMONSTRAÇÃO DO USO DO APSE

Os SDEE requerem uma análise continuada do seu desempenho e dentre as muitas informações utilizadas no processo de tomada de decisão, destacam-se aqui as informações fornecidas pelos cálculos de queda de tensão e perdas de demanda (ou de potência). Nesses estudos, o SDEE é usualmente modelado conforme ilustrado na Figura 5, na qual há um alimentador de comprimento l e impedância por unidade de comprimento $z = r + jx$, que atende uma carga S_T de fator de potência $\cos \phi$.

Figura 5: Modelo de um trecho de um alimentador.

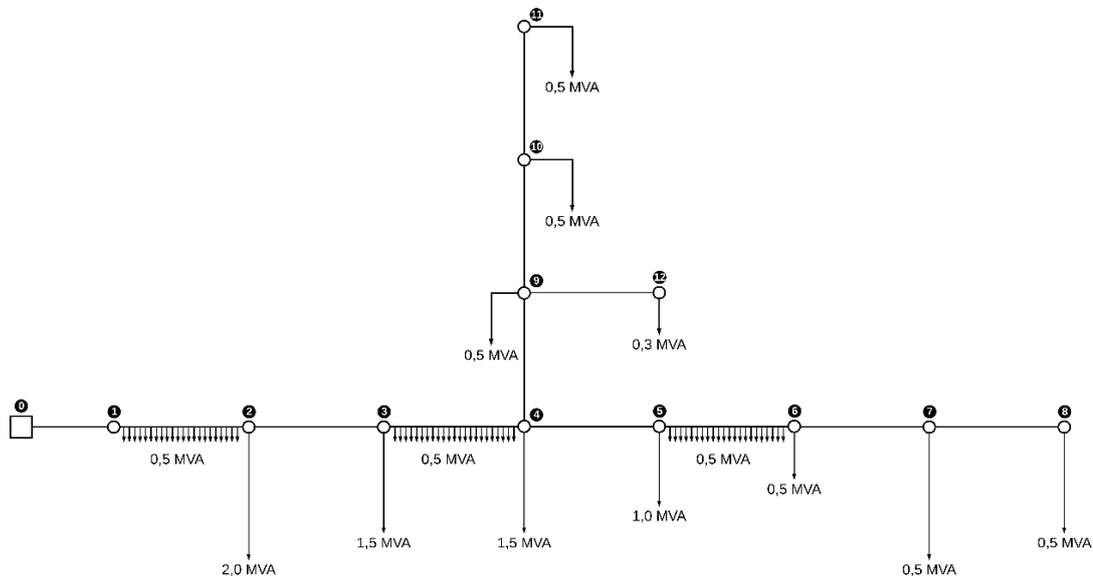


Fonte: Autoria própria.

A metodologia adotada atualmente na disciplina DEE, consiste em apresentar a formulação matemática do cálculo de queda de tensão e de perdas, seguida da avaliação do desempenho dos alunos por meio da resolução de um problema fictício no modo manual e via aplicação do APSE. Ao final, o aluno deve realizar uma análise crítica dos resultados, considerando a regulamentação da ANEEL.

Para demonstrar a eficácia do APSE, selecionou-se o sistema-teste apresentado na Figura 6, o qual representa um alimentador trifásico de 13,8 kV, em que todas as cargas possuem fator de potência igual a 0,9. O que se deseja é calcular a queda de tensão e as perdas de potência.

Figura 6: Sistema-teste.



Fonte: Autoria própria.

Nesse problema, a distância entre as barras e as impedâncias são, respectivamente: i) tronco: $l = 1,0$ km, $z = 0,607 + j0,451 \Omega/\text{km}$; ii) ramais: $l = 0,5$ km, $z = 1,054 + j0,526 \Omega/\text{km}$; iii) laterais $l = 0,25$ km, $z = 1,603 + j0,546 \Omega/\text{km}$. O tronco é trifásico, os ramais bifásicos e os laterais monofásicos.



No cálculo da queda de tensão, o sentido do cálculo é da subestação para a barra terminal. Nos trechos em que há carga distribuída, concentra-se metade da carga equivalente na barra à jusante. As quedas de tensão unitárias (G) são calculadas conforme as equações (1) a (3):

$$G_{1\phi} = 6 \cdot \frac{r_1 \cdot \cos\phi + x_1 \cdot \text{sen}\phi}{V_0} = 0,7308 \text{ kV/MVA/km}, \quad (1)$$

$$G_{2\phi} = \frac{3}{2} \cdot \left\{ \frac{r_2 [\cos\phi + \cos(60-\phi)] + x_2 [\text{sen}\phi - \text{sen}(60-\phi)]}{V_0} \right\} = 0,03768 \text{ kV/MVA/km}, \quad (2)$$

$$G_{3\phi} = \frac{r_3 \cdot \cos\phi + x_3 \cdot \text{sen}\phi}{V_0} = 0,0538 \text{ kV/MVA/km}. \quad (3)$$

A queda de tensão total no alimentador é expressa pela equação (4):

$$\Delta V = l \cdot G \cdot S_T. \quad (4)$$

No cálculo das perdas de potência, o sentido do cálculo é da barra terminal para a subestação. Para os trechos em que há uma carga com distribuição retangular, a carga distribuída deverá ser substituída por outra equivalente à $1/\sqrt{3}$ da carga distribuída no trecho. As perdas unitárias (H) são calculadas conforme equações (5) a (7):

$$H_1 = 6 \cdot \frac{r_1}{V_0^2} \cdot 1000 = 50,5041 \text{ kW/MVA}^2/\text{km}, \quad (5)$$

$$H_2 = \frac{3}{2} \cdot \frac{r_2}{V_0^2} \cdot 1000 = 14,3413 \text{ kW/MVA}^2/\text{km}, \quad (6)$$

$$H_3 = \frac{r_3}{V_0^2} \cdot 1000 = 3,1874 \text{ kW/MVA}^2/\text{km}. \quad (7)$$

Desprezando-se a queda de tensão, ou seja, considerando as tensões de todas as barras iguais a da barra de referência, as perdas são estimadas via equação (8):

$$P = l \cdot H \cdot S_T^2. \quad (8)$$

Na Tabela 1, são apresentados os resultados do procedimento de cálculo manual das quedas de tensão e das perdas para o sistema-teste. As perdas totais correspondem a soma das perdas em cada trecho: $P = 1133,41 \text{ kW}$. Tais cálculos resultam em uma tarefa trabalhosa e susceptível a erros, principalmente quando a dimensão do sistema aumenta.

Tabela 1: Resultados dos cálculos manuais da queda de tensão e das perdas do sistema-teste.

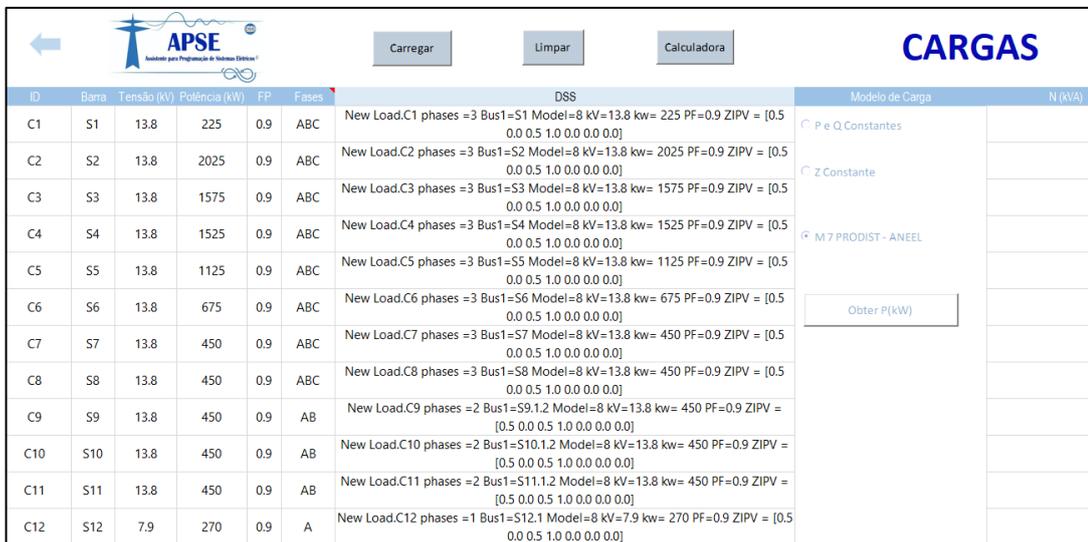
Barra	S_T (MVA)	l (km)	G (kV/MVA/km)	ΔV_n (kV)	V_n (kV)	V_n (pu)	H (kW/MVA ² /km)	Perdas(kW)
1	10,80	1,0	0,054	0,583	13,217	0,96	3,187	371,773
2	10,55	1,0	0,054	0,570	12,647	0,92	3,187	354,761
3	8,30	1,0	0,054	0,448	12,199	0,88	3,187	219,577
4	6,55	1,0	0,054	0,354	11,845	0,86	3,187	136,746
5	3,00	1,0	0,054	0,162	11,683	0,85	3,187	28,686
6	1,75	1,0	0,054	0,095	11,588	0,84	3,187	9,761
7	1,00	1,0	0,054	0,054	11,534	0,84	3,187	3,187
8	0,50	1,0	0,054	0,027	11,507	0,83	3,187	0,797
9	0,90	0,5	0,038	0,017	11,828	0,86	14,341	5,808
10	0,50	0,5	0,038	0,010	11,818	0,86	14,341	1,793
11	0,25	0,5	0,038	0,005	11,813	0,86	14,341	0,448
12	0,075	0,25	0,731	0,014	11,814	0,86	50,504	0,071

A resolução desse problema via APSE foi feita da seguinte forma: as cargas foram definidas via modelo ZIP disponibilizado pelo OpenDSS, no qual a parcela ativa foi considerada 50% como potência constante e 50% como impedância constante e, a parcela reativa 100% como impedância constante (ANEEL, 2018a).

Resumidamente, o processo de modelagem inicia com a criação da barra de balanço, o que é feito pressionando o botão Novo, disponível na aba Elementos do Sistema (Figura 4 (c)). Em seguida, a planilha selecionada é preenchida com os dados correspondentes ao elemento escolhido.

Esse processo é repetido para os demais elementos do alimentador: condutores, linhas e cargas e é seguido pela especificação dos parâmetros. Um exemplo do preenchimento das planilhas é mostrado na Figura 7.

Figura 7: Planilha referente às cargas.



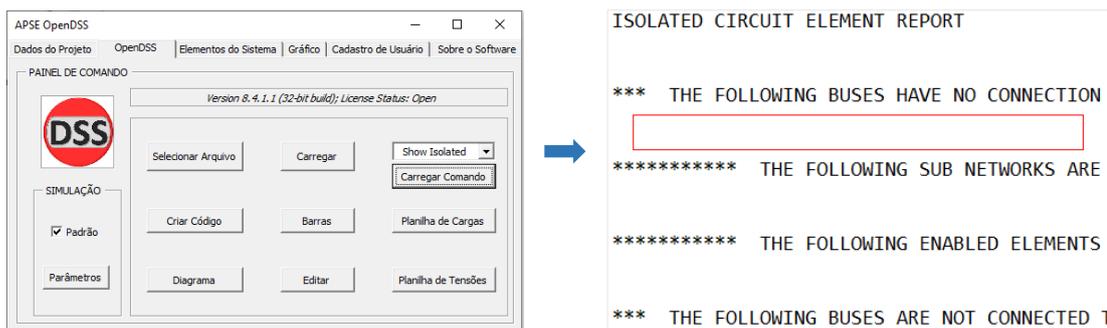
ID	Barra	Tensão (kV)	Potência (kW)	FP	Fases	DSS	Modelo de Carga	N (kVA)
C1	S1	13.8	225	0.9	ABC	New Load.C1 phases =3 Bus1=S1 Model=8 kV=13.8 kw= 225 PF=0.9 ZIPV = [0.5 0.0 0.5 1.0 0.0 0.0 0.0]	P e Q Constantes	
C2	S2	13.8	2025	0.9	ABC	New Load.C2 phases =3 Bus1=S2 Model=8 kV=13.8 kw= 2025 PF=0.9 ZIPV = [0.5 0.0 0.5 1.0 0.0 0.0 0.0]	Z Constante	
C3	S3	13.8	1575	0.9	ABC	New Load.C3 phases =3 Bus1=S3 Model=8 kV=13.8 kw= 1575 PF=0.9 ZIPV = [0.5 0.0 0.5 1.0 0.0 0.0 0.0]	M 7 PRODIST - ANEEL	
C4	S4	13.8	1525	0.9	ABC	New Load.C4 phases =3 Bus1=S4 Model=8 kV=13.8 kw= 1525 PF=0.9 ZIPV = [0.5 0.0 0.5 1.0 0.0 0.0 0.0]		
C5	S5	13.8	1125	0.9	ABC	New Load.C5 phases =3 Bus1=S5 Model=8 kV=13.8 kw= 1125 PF=0.9 ZIPV = [0.5 0.0 0.5 1.0 0.0 0.0 0.0]		
C6	S6	13.8	675	0.9	ABC	New Load.C6 phases =3 Bus1=S6 Model=8 kV=13.8 kw= 675 PF=0.9 ZIPV = [0.5 0.0 0.5 1.0 0.0 0.0 0.0]	Obter P(kW)	
C7	S7	13.8	450	0.9	ABC	New Load.C7 phases =3 Bus1=S7 Model=8 kV=13.8 kw= 450 PF=0.9 ZIPV = [0.5 0.0 0.5 1.0 0.0 0.0 0.0]		
C8	S8	13.8	450	0.9	ABC	New Load.C8 phases =3 Bus1=S8 Model=8 kV=13.8 kw= 450 PF=0.9 ZIPV = [0.5 0.0 0.5 1.0 0.0 0.0 0.0]		
C9	S9	13.8	450	0.9	AB	New Load.C9 phases =2 Bus1=S9.1.2 Model=8 kV=13.8 kw= 450 PF=0.9 ZIPV = [0.5 0.0 0.5 1.0 0.0 0.0 0.0]		
C10	S10	13.8	450	0.9	AB	New Load.C10 phases =2 Bus1=S10.1.2 Model=8 kV=13.8 kw= 450 PF=0.9 ZIPV = [0.5 0.0 0.5 1.0 0.0 0.0 0.0]		
C11	S11	13.8	450	0.9	AB	New Load.C11 phases =2 Bus1=S11.1.2 Model=8 kV=13.8 kw= 450 PF=0.9 ZIPV = [0.5 0.0 0.5 1.0 0.0 0.0 0.0]		
C12	S12	7.9	270	0.9	A	New Load.C12 phases =1 Bus1=S12.1 Model=8 kV=7.9 kw= 270 PF=0.9 ZIPV = [0.5 0.0 0.5 1.0 0.0 0.0 0.0]		

Fonte: Autoria própria.

Uma vez preenchida a planilha, as linhas de código que serão usadas no OpenDSS são geradas automaticamente, dispensando o conhecimento técnico da linguagem e da sintaxe requerida pelo OpenDSS.

Concluída a primeira etapa, gera-se o arquivo do alimentador, o que é feito pressionando o botão Criar Código na aba OpenDSS. Ainda nessa aba, seleciona-se o arquivo do alimentador por meio da tecla Selecionar Arquivo. Por fim, a corretude do processo é conferida inserindo o comando Show Isolated, conforme mostrado na Figura 8.

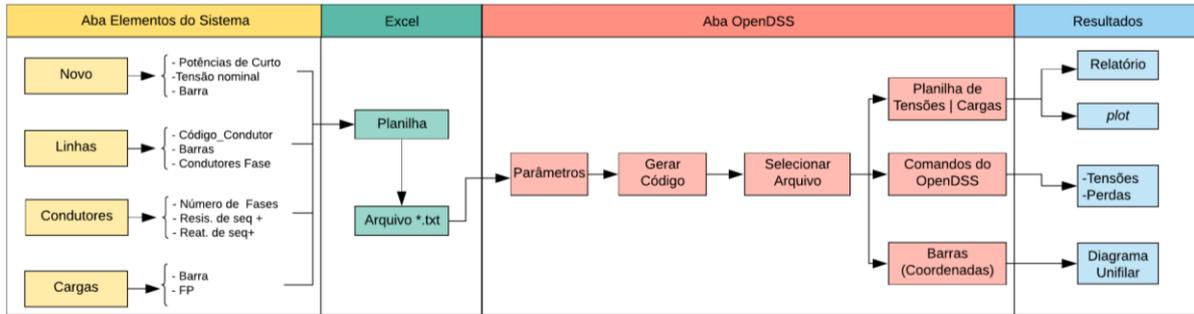
Figura 8: Elementos isolados.



Fonte: Autoria própria.

Nota-se, na área vermelha em destaque na Figura 8, que não houve nenhum elemento desconectado, ou seja, a modelagem foi realizada corretamente. O processo completo de modelagem é resumido no fluxograma da Figura 9.

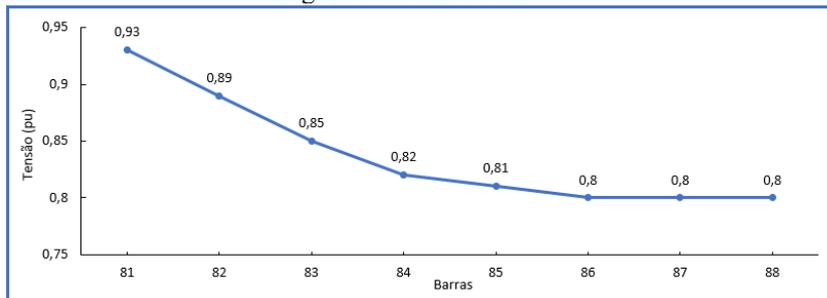
Figura 9: Fluxograma do processo de modelagem do APSE.



Fonte: Autoria própria.

Ao final, o perfil de tensão do alimentador pode ser visualizado, conforme mostrado na Figura 10. Nota-se, neste estudo de caso, que a tensão viola os limites impostos pela ANEEL a partir da segunda barra, ou seja, o valor está fora do intervalo: 0,93 a 1,05 pu (ANEEL, 2018b).

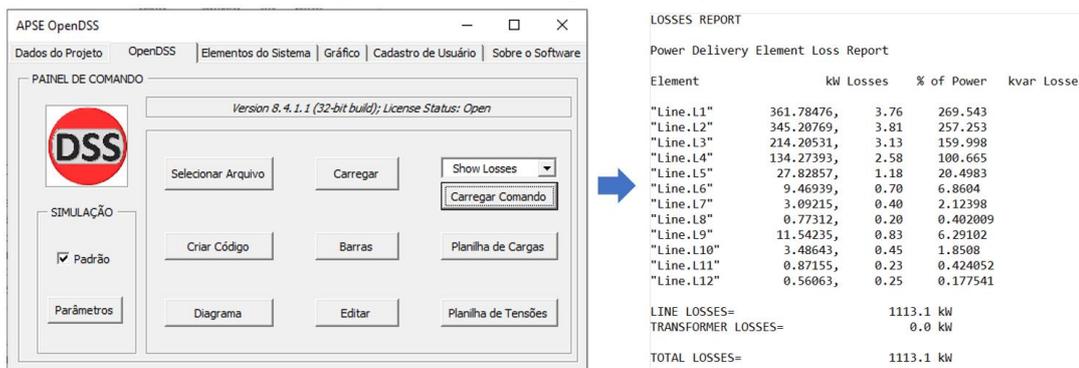
Figura 10: Perfil de tensão.



Fonte: Autoria própria.

Para finalizar a análise, gerou-se o relatório de perdas, ilustrado na Figura 11, o qual totalizou 1113,1 kW, resultando em um erro relativo percentual de 1,79%. Essa diferença pode ser atribuída a dois fatores: i) a forma convencional faz algumas considerações para simplificar o cálculo, como o equilíbrio de tensão entre as fases. ii) O OpenDSS não dispõe de um modelo para carga distribuída, a qual é inserida por meio de uma adaptação feita pelo usuário.

Figura 11: Relatório de perdas do OpenDSS.



Fonte: Autoria própria.



Ao final, constatou-se que o APSE reduziu significativamente a etapa de modelagem dos elementos do SDEE no OpenDSS, o que permitiu ao aluno realizar os estudos requeridos na disciplina e possibilitou o uso do OpenDSS, um *software* utilizado comercialmente, como ferramenta didática na disciplina DEE.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O OpenDSS é o *software* de referência adotado pela ANEEL para o cálculo de perdas no segmento de distribuição de energia elétrica, sendo utilizado por todas as empresas distribuidoras de energia elétrica do Brasil. Apesar das suas muitas vantagens, constatou-se que a versão *standalone do* OpenDSS não possui uma *interface* amigável, dificultando a etapa de modelagem dos elementos do SDEE, a qual requer um tempo considerável e está sujeita a erros.

Além de ter sido desenvolvido em código aberto, constatou-se que o OpenDSS é um *software* flexível, que possibilita a integração com outros *softwares*. Tais vantagens, aliadas à sua importância no *status* atual do setor de distribuição, motivaram o desenvolvimento da *interface* apresentada neste artigo, a qual possibilitou o uso do OpenDSS na disciplina DEE da UFCG.

A eficácia e o potencial da *interface* foram demonstrados em um estudo de caso, no qual se observou a redução significativa do esforço despendido durante a etapa de modelagem do SDEE, permitindo dessa forma, a realização dos estudos requeridos na disciplina. Ao final, obteve-se um produto que pode ser utilizado pelo corpo acadêmico, como uma ferramenta auxiliar de ensino, que pode contribuir decisivamente com a formação de um engenheiro em sintonia com o mercado de trabalho.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de Campina Grande pela estrutura disponibilizada.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Módulo 7** - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Brasília, 2018a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Módulo 8** - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Brasília, 2018b.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Nota Técnica nº 0057/2014:** Aprimoramento da metodologia de cálculo de perdas na distribuição regulamentada no Módulo 7 do PRODIST. Brasília, 2014.

FREITAS, Paulo Ricardo Radatz de. **Modelos Avançados de Análise de Redes Elétricas Inteligentes Utilizando o Software OpenDSS.** 189 f. Monografia - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

Microsoft. **Component Object Model (COM).** Disponível em: docs.microsoft.com/em us/windows/win32/com/component-object-model--com--portal. Acesso em: 10.02.2020

SANTOS, Ericson N. Alves. **Cálculo de Queda de Tensão e Perdas em Redes de Distribuição de Energia Elétrica.** Monografia - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba, 2013.



DEVELOPMENT OF A GRAPHICAL INTERFACE FOR ACADEMIC USE OF THE OPENDSS SOFTWARE

Abstract: *This paper presents the academic version of a graphical interface for the OpenDSS software, which was adopted by the Agência Nacional de Energia Elétrica as a standard tool for calculating losses in the distribution sector, a theme that integrates the menu of the discipline Electrical Energy Distribution at the Federal University of Campina Grande. The goal is to obtain a more user-friendly for using the software, facilitating and reducing the modeling time, enabling its use as a teaching tool. The interface was developed using Visual Basic for Applications via Excel[®] and its validation is demonstrated by modeling a fictitious feeder.*

Keywords: *Electrical Energy Distribution. Teaching. OpenDSS Software.*