

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

HADASSA ARIANE DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO NO SETOR DA  
SERICICULTURA NO CAMPUS DA UFV VIA *SOFTWARE OPENDSS***

VIÇOSA  
2016

HADASSA ARIANE DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO NO SETOR DA  
SERICICULTURA NO CAMPUS DA UFV VIA *SOFTWARE OPENDSS***

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Tarcísio de Assunção Pizziolo

VIÇOSA  
2016



Nesta página será inserida a ficha catalográfica correspondente à sua Monografia. Ela será elaborada pelo pessoal da Biblioteca Central da UFV.

A priori deixa a página em branco.

**HADASSA ARIANE DE OLIVEIRA**

**ANÁLISE DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO NO SETOR DA  
SERICICULTURA NO CAMPUS DA UFV VIA *SOFTWARE OPENDSS***

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Elétrica do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Federal de Viçosa, para a obtenção dos créditos da disciplina ELT 490 – Monografia e Seminário e cumprimento do requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em 20 de dezembro de 2016.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

**Prof. Dr. Tarcísio de Assunção Pizziolo - Orientador**  
**Universidade Federal de Viçosa**

---

**Prof. Dr. Alexandre Brandão - Membro**  
**Universidade Federal de Viçosa**

---

**Prof. Dr. Daniel Khede Dourado Villa - Membro**  
**Universidade Federal de Viçosa**

*“Porque ao homem que é bom diante dele, dá Deus sabedoria e conhecimento e alegria ...”*

*(Eclesiastes 2:26)*

*Aos meus pais, Doniseth e Isabel, por me proporcionarem as melhores condições para o estudo.*

## *Agradecimentos*

Agradeço a Deus, meu grande Pai, o dono da minha vida. É Ele quem me dá forças, saúde, vigor, inteligência para estar concluindo mais uma etapa da minha vida.

Agradeço também aos meus pais, Doniseth e Isabel, pois com sua dedicação e trabalho, conseguiram me educar e me proporcionar um estudo de qualidade, em uma das melhores Universidades do Brasil. Obrigada a toda minha família que torceram por mim, e acreditaram no meu potencial.

Gostaria de agradecer também ao meu namorado: Gabriel, obrigada por ter me ajudado tanto nessa fase da monografia; seu apoio foi essencial e agora estamos mais perto do que nunca de realizar nossos sonhos e planos!

Agradeço a todos amigos da Igreja Maranata, pois sem as orações e amizade de cada um deles eu não estaria aqui vivendo mais esse milagre. Vocês fazem parte do que eu mais valorizo na vida e sei que posso sempre contar com cada um de vocês.

Aos meus professores: muito obrigada por transmitirem seus conhecimentos e pela paciência.

Um agradecimento especial ao colega de área Paulo Radatz por transmitir seu conhecimento sobre o software OpenDSS grandemente utilizado neste trabalho.

Que Deus retribua tudo que já fizeram por mim! Obrigada.

## ***Resumo***

Este trabalho tem por finalidade um estudo pioneiro da rede de distribuição do setor da Sericicultura no campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), a partir de ferramentas computacionais. A base de dados aplicada no desenvolvimento do trabalho é constituída de dados das cargas, colhidos em campo, após um levantamento de cargas e estudo de demanda, e dados das linhas e transformadores fornecidos pelo setor responsável da UFV. O sistema é modelado no *software OpenDSS* e são exibidas as análises nos perfis de tensão, fluxo de potência e correntes de curto-circuito em seus diferentes períodos de demanda.

## *Abstract*

This work aims at a pioneering study of the distribution network of the Sericulture sector on the campus of the Federal University of Viçosa (UFV), using computational tools. The database applied in the development of the work is made up of loads data, collected in the field, after a survey of loads and demand study, and data of the lines and transformers provided by the responsible sector of the UFV. After the system modeling in OpenDSS software, is shown as analysis in the profiles of voltage, power flow and short-circuit currents in their different periods of demand.

# *Sumário*

1	Introdução .....	14
1.1	Redes de distribuição.....	15
1.2	Fluxo de Potência .....	17
1.3	Estudo de Curto-Circuito.....	18
1.4	Objetivo Geral .....	19
2	Materiais e Métodos .....	20
2.1	Simulador de Sistemas de Distribuição - Open Distribution System Simulator (OpenDSS).....	20
2.1.1	Barra .....	21
2.1.2	Elemento Circuit.....	21
2.1.3	Transformador .....	21
2.1.4	Linha.....	22
2.1.5	Carga.....	23
2.1.6	Estudo de Fluxo de Potência .....	23
2.1.7	Estudo de Curto Circuito .....	24
2.2	Descrição do Caso .....	24
2.2.1	Transformadores.....	25
2.2.2	Linhas .....	26
2.2.3	Cargas .....	29
3	Resultados e Discussões .....	32
4	Conclusões .....	40
	Referências Bibliográficas.....	41
	Apêndice A – Correntes de Faltas por período.....	42
	Apêndice B – Tensão nas barras.....	43
	Apêndice C – Código Fonte completo (OpenDSS).....	44

## *Lista de Figuras*

Figura 1 - Corrente de curto-circuito.....	18
Figura 2 - Estrutura OpenDSS.....	20
Figura 3 - Diagrama unifilar.....	25
Figura 4 - Sistema implementado.....	28
Figura 5 - Perfil de tensão em pu em função da distância da fonte.....	32
Figura 6 – Fluxo de Potência no período da manhã.....	33
Figura 7 - Fluxo de potência no período da tarde.....	33
Figura 8 - Fluxo de potência no período da noite.....	33
Figura 9 - Fluxo de potência no período da Manhã.....	34
Figura 10 - Relação de perdas nas linhas e nos transformadores.....	36
Figura 11 – Faltas nas barras imediatamente antes dos transformadores abaixadores.....	38
Figura 12 – Faltas nas barras imediatamente após os transformadores abaixadores.....	38
Figura 13 - Faltas na barra 1004 em três períodos do dia.....	38
Figura 14 - Comparação de valores das faltas gerados pelo OpenDSS com valores da empresa contratada pela UFV.....	39

## *Lista de Tabelas*

Tabela 1 - Faixa de Classificação de Tensão - Pontos de conexão em Tensão Nominal de 1 kV a 69 kV .....	15
Tabela 2 - Atendimento em tensão Grupo A .....	16
Tabela 3 - Fator de assimetria para $t=1/4$ ciclo 60 Hz .....	19
Tabela 4 - Principais parâmetros - Circuit .....	21
Tabela 5 - Parâmetros principais - Transformador .....	22
Tabela 6 - Parâmetros básicos LineCode .....	22
Tabela 7 - Parâmetros básicos Line .....	22
Tabela 8 - Parâmetros básicos - <i>Load</i> .....	23
Tabela 9 - Parâmetros dos transformadores da rede .....	25
Tabela 10 - Parâmetros dos condutores .....	26
Tabela 11 - Comprimento dos cabos separados por bitola .....	27
Tabela 12 - Coordenadas das barras .....	28
Tabela 13 - Levantamento de carga – Pomar I .....	29
Tabela 14 - Cargas nos períodos dos dias .....	30
Tabela 15 - Perdas nos elementos da rede de distribuição .....	35
Tabela 16 - Valor das Faltas e Tensões nas barras no período da Manhã .....	37
Tabela 17 - Valores de correntes de faltas por periodo do dia .....	42
Tabela 18 - Tensão por unidade nas barras por período do dia .....	43

# ***1 Introdução***

Uma das variáveis para definir um país como desenvolvido é a facilidade de acesso da população aos serviços de infraestrutura, como saneamento básico, transportes, telecomunicações e energia. O último é o fator determinante para o desenvolvimento econômico e social ao fornecer apoio mecânico, térmico e elétrico às ações humanas. E de todos os segmentos da infraestrutura, energia elétrica é o serviço mais universalizado. A incidência e as dimensões dos nichos não atendidos estão diretamente relacionadas à sua localização – e às dificuldades físicas ou econômicas para extensão da rede elétrica. Afinal, cada uma das cinco regiões do Brasil tem características bastante peculiares e diferenciadas das demais, as quais determinaram os contornos que os sistemas de geração, transmissão e distribuição adquiriram ao longo do tempo. [1]

Este trabalho tem como base o Sistema Elétrico de Potência (SEP), e segundo Kagan [2], os sistemas elétricos têm a função substancial de fornecer energia elétrica aos usuários, sejam grandes ou pequenos, com qualidade adequada, no instante em que for solicitada.

Todo sistema de potência deve atender as expectativas de seus usuários. Visando garantir um fornecimento de qualidade, existem leis e normas estabelecidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL - que determinam os valores máximos e mínimos de tensões nos pontos de entrega das concessionárias, assim como determinam limites estabelecidos para frequência a qual o sistema pode operar. [3]

Os sistemas elétricos são constituídos por diversas usinas de geração e centros de consumo, interligados por redes elétricas com diferentes configurações, que evoluem e se modificam devido a vários fatores. As interligações elétricas na transmissão permitiram um aproveitamento mais econômico e confiável dos recursos energéticos e dos equipamentos elétricos. [4] No Brasil, face ao recurso energético hídrico existente, predomina a produção de energia elétrica pela transformação de energia hidráulica em elétrica, usinas hidroelétricas, e estando os centros de produção afastados dos centros de consumo, é imprescindível a existência de um elemento de interligação entre ambos que esteja apto a transportar a energia demandada. [1]

A conexão e atendimento ao consumidor, qualquer que seja o seu porte, são realizados pelas distribuidoras de energia elétrica. São empresas de grande porte que funcionam como

elo entre o setor de energia e a sociedade. Nas redes de transmissão, após deixar a usina, a energia elétrica trafega em tensão que varia de 88 kV a 750 kV. Ao chegar às subestações das distribuidoras, a rede de distribuição inicia, a tensão é rebaixada e, por meio de um sistema composto por fios, postes e transformadores, chega à unidade final consumidora. [1] As linhas de distribuição primárias são normalmente na faixa entre 4 a 34.5 kV e supre a carga em uma área geográfica bem definida.

O crescimento das cargas longe dos centros geradores, as extensas linhas e as perdas decorrentes dos cabos resultam em flutuações de tensão nas barras, e assim comprometem a qualidade da energia elétrica fornecida. [5] Flutuações na tensão são variações sistemáticas dos valores eficazes de tensão, ou uma série de mudanças aleatórias. Estas variações, repetitivas, esporádicas ou aleatórias são em geral provocadas pelas alterações rápidas nas potências ativa e reativa das cargas elétricas. [6] E visando o controle da qualidade do serviço prestado pelas distribuidoras aos consumidores no que tange às magnitudes de tensão, a ANEEL, estabelece uma faixa de valores conforme explicitado na Tabela 1.

Tabela 1 - Faixa de Classificação de Tensão - Pontos de conexão em Tensão Nominal de 1 kV a 69 kV

<b>Tensão de Atendimento (TA)</b>	<b>Faixa de Variação em pu</b>
Adequada	0.93 pu a 1.05 pu
Precária	0.90 a 0.93 pu
Crítica	<0.90 pu ou >1.05 pu

## **1.1 Redes de distribuição**

Segundo a definição apresentada na norma ND- 3.3, da CEMIG, o sistema elétrico de distribuição é o processo de transferência de energia elétrica para os consumidores, abrangendo estruturas, equipamentos e condutores, a partir dos pontos onde termina a transmissão (ou subtransmissão), até a medição de energia, inclusive. Esse transporte é feito pelas redes de distribuição de energia. Existem quatro tipos de redes de distribuição de energia elétrica. São eles:

- Rede de Distribuição Aérea Convencional: É o tipo de rede elétrica mais encontrado no Brasil, na qual os condutores são nus (sem isolamento). Exatamente por isso, essas redes são mais susceptíveis à ocorrência de defeitos (curto-circuito), principalmente quando há contato de galhos de árvores com os condutores elétricos.

- Rede de Distribuição Aérea Compacta: Surgidas no Brasil na década de 1990, as redes compactas são muito mais protegidas que as redes convencionais, não somente porque os condutores têm uma camada de isolamento, mas porque a rede em si ocupa bem menos espaço, resultando em menor número de perturbações.
- Rede de Distribuição Aérea Isolada: Esse tipo de rede é bastante protegido, pois os condutores são encapados com isolamento suficiente para serem trançados. Geralmente mais cara, essa rede é utilizada em condições especiais.
- Rede de Distribuição Subterrânea: A rede subterrânea é aquela que proporciona o maior nível de confiabilidade e também o melhor resultado estético, dado que as redes ficam enterradas. No entanto, as redes subterrâneas são bem mais caras que as demais soluções, sendo comuns apenas em regiões muito densas ou onde há restrições para a instalação das redes aéreas.

Três desses tipos estão presentes na rede da UFV: rede convencional, compacta e subterrânea. A UFV é alimentada pela concessionária de energia CEMIG na Cabine de Medição, e após a cabine, a rede de distribuição de energia elétrica primária (RDP) e secundária (RDS) interna na UFV é de responsabilidade da mesma, por isso ela deve atuar na operação, manutenção e ampliação da rede. O sistema de distribuição da UFV é feito em média tensão, 13,8 kV, sendo portanto, classificado como consumidor do subgrupo A4 conforme a Tabela 2 estipulada pela ANEEL.

Tabela 2 - Atendimento em tensão Grupo A

<b>Subgrupo do Grupo A - Atendimento em tensão superior a 2,3 kV</b>	
Subgrupo A1	Atendimento em tensão igual ou superior a 230 kV
Subgrupo A2	Atendimento em tensão de 88 kV a 138 kV
Subgrupo A3	Atendimento em tensão de 69 kV
Subgrupo A4	Atendimento em tensão de 2,3 kV a 44 kV
Subgrupo A5	Atendimento em tensão inferior a 2,3 kV

Ainda, os sistemas de distribuição podem apresentar diferentes configurações, podendo ser: radial ou em anel. Os sistemas radiais são utilizados em áreas de baixa densidade de carga, nas quais os circuitos tomam direções distintas, face às próprias características de distribuição da carga, tornando antieconômico o estabelecimento de pontos de interligação. O sistema do setor do campus a ser analisado é do tipo radial.

Para o estudo das redes de distribuição, é mister conhecer as cargas que a rede alimenta e as definições a seguir, retiradas da norma técnica da CEMIG, devem estar claras.

- Carga Instalada: é o somatório das potências nominais dos equipamentos elétricos de uma unidade consumidora que, após a conclusão dos trabalhos de instalação, estarão em condições de entrar em funcionamento.
- Demanda: é a média das potências elétricas instantâneas solicitadas por uma unidade consumidora, durante um período especificado.

## **1.2 Fluxo de Potência**

O fluxo de potência é umas das principais ferramentas de cálculo na simulação de sistemas de distribuição de energia elétrica, contribuindo para o planejamento de expansão, operação, automação, controle e estimativas em tempo real. Esse cálculo consiste na determinação, em regime permanente, das tensões nodais, correntes injetadas e potências nos elementos de rede. Sendo possível avaliar as perdas nos elementos de rede e também analisar a necessidade de se tomar alguma medida para satisfazer os critérios técnicos de queda de tensão e de carregamento de transformadores e linhas.

Com isso, requer-se um método de solução de fluxo de potência próprio para distribuição mais robusto e eficiente. Algumas características peculiares das redes de distribuição como estrutura radial (fracamente malhada) e alta relação R/X tornam as soluções pelos métodos convencionais pouco recomendáveis. Isso, porque as soluções por Newton Raphson e Desacoplado Rápido fazem menção à relação  $r/x$  dos ramos da rede, que deve assumir valores baixos, geralmente menores que a unidade. Isso é verificado em redes de transmissão de extra alta tensão e ultra alta tensão, para as quais o método converge satisfatoriamente. Para redes de baixa tensão, entretanto, a relação R/X de boa parte dos ramos assume valores elevados, podendo chegar a algumas unidades. [7] [8]

Daí a procura por um software ideal para redes de distribuição torna-se necessária. O OpenDSS lança mão de métodos trifásicos para esse cálculo, que se baseia na utilização da técnica de decomposição da matriz de admitâncias nodais. O algoritmo de tal método, será omitido no presente trabalho.

### 1.3 Estudo de Curto-Circuito

Outro estudo que cabe aos sistemas de distribuição de energia diz respeito ao estudo de faltas na rede que visa, principalmente, a obtenção de correntes num sistema elétrico de potência, quando da ocorrência de um defeito em um de seus pontos. Tal estudo tem enorme importância no planejamento, projeto e análise das instalações e redes, visto que estabelecimento de faltas causa efeitos transitórios indesejáveis, alterando os valores de tensão e corrente esperados, podendo provocar atuação de equipamentos de proteção e interromper o fornecimento de energia, além de que maiores correntes de curto-circuito demandam maiores gastos em equipamentos e obras, o que afeta diretamente os parâmetros que ditam a qualidade de energia elétrica. Esse conhecimento possibilita a tomada das medidas necessárias para minimizar os impactos de curto-circuito limitando a perturbação no sistema ao mínimo possível. Entre estas medidas incluem-se não só a colocação e regulação de dispositivos que promovam a interrupção dos circuitos defeituosos, mas também que visem garantir que todos os componentes da rede percorridos pelas correntes de defeito possam suportar os seus efeitos enquanto elas persistirem. [2] [9] [10]

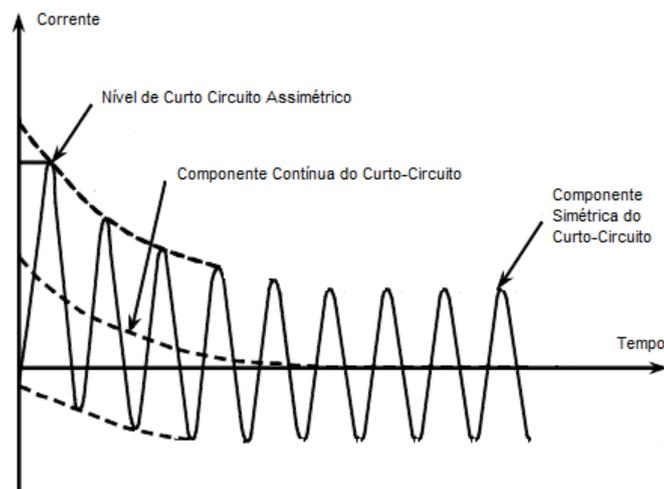


Figura 1 - Corrente de curto-circuito

No domínio do tempo, a corrente de um curto-circuito pode ser dividida em subtransitória, transitória e regime permanente. Como pode ser visto na Figura 1, nos períodos iniciais essa corrente é assimétrica, tendendo ser simétrica com o tempo, uma vez que se tem a atenuação da componente contínua da corrente de curto-circuito. Quanto menor a relação  $X/R$ , mais rapidamente a componente contínua decai. O valor máximo da componente assimétrica, na prática, é determinado multiplicando-se o valor eficaz da componente simétrica pelo Fator de Assimetria ( $F_a$ ), que é dado em função da relação  $X/R$  estimado no

ponto da falta. [11] [12] O  $F_a$  pode ser calculado para diferentes valores do tempo. Para  $t=4,16m$  (valor de pico do primeiro semiciclo da corrente assimétrica), a Tabela 1 mostra os valores de  $F_a$ .

Tabela 3 - Fator de assimetria para  $t=1/4$  ciclo 60 Hz

X/R	Fa	X/R	Fa	X/R	Fa
0,4	1,0	3,4	1,34	8,5	1,54
0,6	1,0	3,6	1,35	9,0	1,55
0,8	1,02	3,8	1,37	9,5	1,56
1,0	1,04	4,0	1,38	10,0	1,57
1,2	1,07	4,2	1,39	11,0	1,58
1,4	1,1	4,4	1,4	12,0	1,59
1,6	1,13	4,6	1,41	13,0	1,6
1,8	1,16	4,8	1,42	14,0	1,61
2,0	1,19	5,0	1,43	15,0	1,62
2,2	1,21	5,5	1,46	20,0	1,64
2,4	1,24	6,0	1,47	30,0	1,67
2,6	1,26	6,5	1,49	40,0	1,68
2,8	1,28	7,0	1,51	50,0	1,69
3,0	1,3	7,5	1,52	60,0	1,7
3,2	1,32	8,0	1,53	70,0	1,71

#### 1.4 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo o estudo da rede de distribuição do setor da Sericicultura no campus da UFV, a partir da sua representação no ambiente do software OpenDSS, para análise de seu desempenho frente às variações de cargas, verificando alterações nos perfis de tensão, fluxo de potência e correntes de curto-circuito.

Para o dado objetivo geral, têm-se como objetivos específicos, em ordem:

- Estudar o software OpenDSS e, posteriormente, exemplificar seu funcionamento;
- Mapear a rede de distribuição no setor desejado;
- Realizar um levantamento de cargas por período do dia - manhã, tarde e noite;
- Representar o sistema no ambiente do software OpenDSS;
- Proceder análise do desempenho de tal sistema de distribuição de energia no *software* estudado.

## 2 *Materiais e Métodos*

### 2.1 *Simulador de Sistemas de Distribuição - Open Distribution System Simulator (OpenDSS)*

Visando um aprendizado inicial sobre o *software*, será aqui comentado algumas de suas características e funcionalidades.

O OpenDSS é a implementação *open source*, do *Distribution System Simulator (DSS)* desde o ano de 2008, quando o *Electric Power Research Institute (EPRI)* o apresentou a fim de contribuir para o desenvolvimento da área de *Smart Grids*. Pode ser utilizado para diversos tipos de simulações, entre elas: simulação de sistemas fotovoltaicos ou plantas eólicas, desenvolvimento de casos de alimentadores de testes IEEE, simulação de impactos de veículos elétricos, e outros. [11]

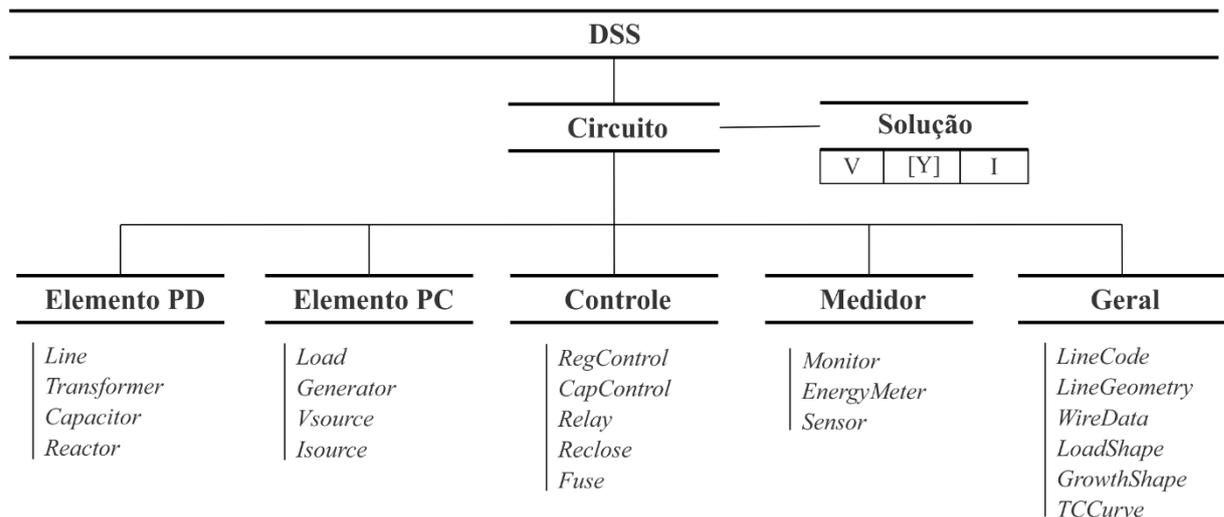


Figura 2 - Estrutura OpenDSS

Como pode ser visto na Figura 1, é um programa baseado em linhas de comandos que definem os circuitos, podendo ser oriundas do usuário, de um arquivo de texto fixo, ou de programas externos (e.g. MatLab), caso seja utilizado a interface *Component Object Model (COM)*.

Seguindo a estrutura do OpenDSS, os elementos podem ser divididos em: elementos de transporte de energia PD (*power delivery*), elementos de conversão de energia, PC (*power conversor*), elementos medidores e elementos gerais. Na sequência, serão apresentados

elementos básicos que compõem as redes elétricas, como eles são declarados no OpenDSS e alguns tipos de estudos que podem ser realizados.

### 2.1.1 Barra

A barra é um elemento de circuito que pode conter de 1 a n nós. É ela que conecta todos os demais elementos do sistema. No OpenDSS, diferentemente de outros softwares de simulação de redes, as barras não são definidas separadamente; elas são criadas como consequência da declaração de elementos elétricos. As barras devem ser nomeadas por caracteres alfanuméricos.

### 2.1.2 Elemento *Circuit*

O elemento *Circuit* representa o equivalente da transmissão, ou da rede que precede o sistema a ser estudado. Todo circuito simulado no OpenDSS deve ser inicializado por esse equivalente Thévenin: um elemento de conversão de energia, com um terminal, portanto, ligado a uma barra. Os principais parâmetros que são declarados nesse elemento são exibidos na Tabela 3 abaixo.

Tabela 4 - Principais parâmetros - Circuit

Parâmetro	Descrição
basekV	Tensão de linha nominal em kV
bus1	Nome da barra que recebe o terminal do elemento
R1	Resistência de sequência positiva da fonte em ohms
X1	Impedância de sequência positiva da fonte em ohms
Mvasc3	Potência de curto-circuito trifásico em MVA
Mvasc1	Potência de curto-circuito monofásico em MVA
pu	Valor por unidade da tensão

### 2.1.3 Transformador

Os transformadores são elementos do tipo PD, apresentando dois ou mais enrolamentos. Basicamente, ao caracterizar o transformador em linhas de comando, deve-se definir o número de enrolamentos, número de fases, características do circuito equivalente do transformador e as barras nele conectadas. A Tabela 4 exibe a maneira de se declarar os parâmetros desse elemento *Transformer* no OpenDSS.

Tabela 5 - Parâmetros principais - Transformador

<b>Parâmetro</b>	<b>Descrição</b>
<i>windings</i>	Número de enrolamentos
<i>XLH</i>	Reatância série em pu
<i>%loadloss</i>	Porcentagem da perda total
<i>%noloadloss</i>	Porcentagem da perda em vazio
<i>wdg</i>	Enrolamento
<i>bus</i>	Nome da barra que recebe o terminal do enrolamento
<i>conn</i>	Ligação dos enrolamentos
<i>kV</i>	Tensão de linha nominal do terminal em kV
<i>kVA</i>	Potência nominal do terminal em kVA

### 2.1.4 Linha

As linhas também são elementos do tipo PD, ou seja, fornecedores de energia. Com dois terminais, são modeladas pelo software utilizando o modelo  $\pi$ . São caracterizadas a partir do elemento geral *LineCode*, conexão e comprimento. No elemento *LineCode* define-se todas as características de arranjo de linha, e é uma forma de simplificação e facilidade para declará-las posteriormente. Na Tabela 5 encontram os parâmetros básicos do elemento *LineCode* e na Tabela 6, do elemento *Line*.

Tabela 6 - Parâmetros básicos LineCode

<b>Parâmetro</b>	<b>Descrição</b>
R1	Número de fases
R0	Barra a qual o terminal 1 é conectado
X1	Barra a qual o terminal 2 é conectado
X0	Informações Elétricas da linha
units	Informações Elétricas da linha
Normamps	Corrente nominal da linha

Tabela 7 - Parâmetros básicos Line

<b>Parâmetro</b>	<b>Descrição</b>
<i>Phases</i>	Número de fases
<i>bus1</i>	Barra a qual o terminal 1 é conectado
<i>bus2</i>	Barra a qual o terminal 2 é conectado
<i>LineCode</i>	Informações Elétricas da linha
<i>Length</i>	Comprimento da linha

### 2.1.5 Carga

As cargas são elementos do tipo PC, conversão de energia, e apresentam um terminal. Para sua caracterização, define-se: potência ativa e fator de potência, ou potência ativa e reativa, ou potência aparente e fator de potência.

Na Tabela 7 encontra-se os parâmetros básicos para se definir o elemento *Load*.

Tabela 8 - Parâmetros básicos - *Load*

Parâmetro	Descrição
<i>phases</i>	Número de fases
<i>bus1</i>	Barra a qual a carga é conectada
<i>kV</i>	Tensão nominal
<i>kVA</i>	Potência aparente
<i>kW</i>	Potência ativa
<i>FP</i>	Fator de Potência

### 2.1.6 Estudo de Fluxo de Potência

O OpenDSS foi projetado para executar fluxo de potência de distribuição básico no qual o sistema de energia em massa é a fonte dominante de energia. No entanto, difere dos tradicionais solucionadores de circuitos radiais em que ele resolve sistemas de distribuição em rede (malha) tão facilmente como sistemas radiais. Destina-se a ser utilizado para empresas de distribuição que também podem ter sistemas de transmissão ou subtransmissão.

O fluxo de potência pode ser calculado por vários modos de solução, incluindo o modo padrão *Snapshot*, o modo Diário, o Modo *Dutycycle*, o modo *Monte Carlo* e vários modos em que a carga varia em função do tempo. Quando um fluxo de potência é concluído, as perdas, tensões, fluxos e outras informações de cada componente ficam disponíveis para o sistema total.

Como, para o caso em questão, os valores das cargas são estimativas pontuais (não se tem uma curva de carga, por exemplo), para a resolução do fluxo de potência do atual trabalho, foi escolhido o modo de solução *SnapShot*. Tal modo tem a finalidade de calcular o fluxo de potência para uma condição pontual, ou seja, definindo as variáveis do sistema em uma situação específica.

### 2.1.7 Estudo de Curto Circuito

Os cálculos de corrente de falha são realizados de duas maneiras básicas neste *software*:

- Simulação de uma falha específica determinada pelo posicionamento e definição de um ou mais objetos de Falha no alimentador.
- Um modo de solução de estudo de falha geral

No presente trabalho, foi escolhido o estudo de falha convencional para todos os barramentos ("*Set Mode = Faultstudy*"), que relata as correntes e tensões em todas as fases para todos os tipos de falhas: trifásicas, fase-terra, fase-fase e fase-fase-terra. E sabendo que o *OpenDSS* constrói uma matriz de admitância nodal geral (Y) para descrever o sistema, esse modo de estudo de falhas segue o algoritmo abaixo:

- A matriz Y do sistema é construída incluindo todas as cargas como admitâncias.
- Todos os geradores são convertidos para seu modelo dinâmico (ou equivalente de Thévenin).
- Uma solução direta das equações da matriz Y é realizada incluindo injeções de fonte e injeções de gerador. A tensão de circuito aberto resultante é armazenada para uso futuro.
- A matriz de impedância de curto-circuito de Thévenin em cada barramento é calculada. O inverso também é computado. Ambos se tornam parte do objeto Bus.
- As correntes de curto-circuito para uma variedade de condições de falha são calculadas para cada barramento usando o modelo de Thévenin. Apenas a corrente de curto-circuito trifásica é calculada no momento em que o comando *Solve* é emitido. O restante é calculado quando o comando *Show Faults* é emitido.

## 2.2 Descrição do Caso

A Figura abaixo mostra o diagrama unifilar da região de análise.

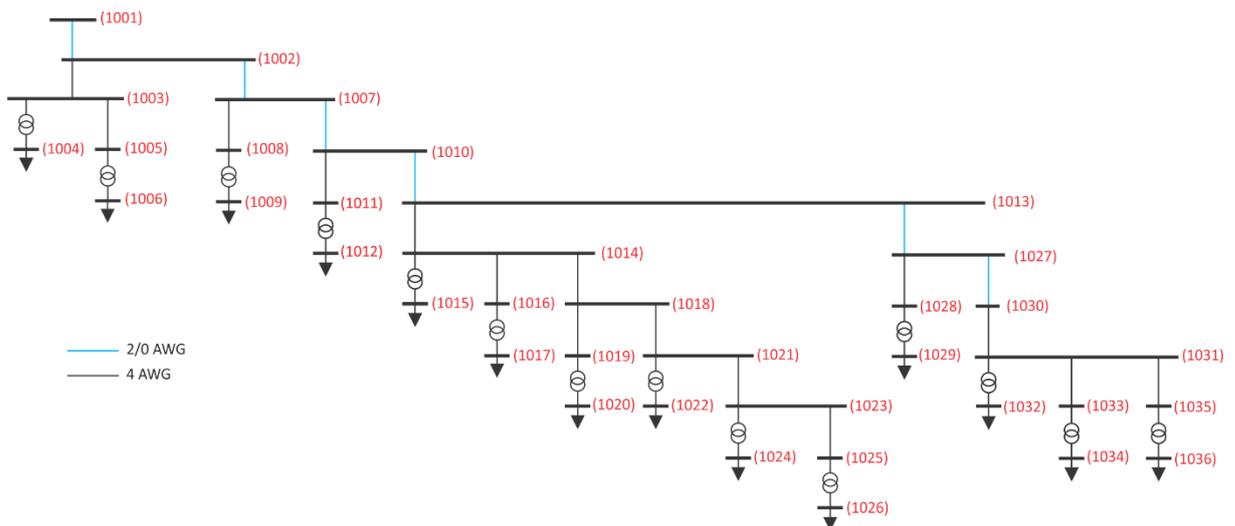


Figura 3 - Diagrama unifilar

O barramento identificado como (1001) representa a conexão com o restante da rede que não será estudado nesta simulação; é a partir deste barramento que se inicia o caso em estudo e será reconhecido pelo software como o elemento *Circuit*, como visto na seção 2.1.2. E de acordo com estudos prévios, fora do mérito deste trabalho, as potências de curto-circuito neste ponto são 44,4 MVA, trifásica e 36,6 MVA monofásica. Com isso, a linha de código recebida pelo *OpenDSS*, deve ser como se segue:

```
New Circuit.ufv bus1=1001 basekv=13.8 pu=1.00 MVAsc1=36.6 MVAsc3=44.4
```

### 2.2.1 Transformadores

Os transformadores presentes na área de estudo são os transformadores que abaixam a tensão de 13,8 kV para 0,38 kV para os consumidores finais, todos em conexão Delta – Estrela aterrado, como exibido na Tabela 8.

Tabela 9 - Parâmetros dos transformadores da rede

Potência (kVA)	%Perda em Vazio	%Perda Total	Conexão
15	0,56	2,7	Delta/Yat.
30	0,5	2,31	Delta/Yat.
45	0,43	2,1	Delta/Yat.
50	0,4	1,9	Delta/Yat.
75	0,39	1,86	Delta/Yat.
112,5	0,34	1,68	Delta/Yat.

Para declarar os quatorze transformadores no *software*, seguindo o descrito na seção 2.1.3, usou-se os seguintes comandos:

```
//Definição trafos
```

```
New Transformer.T1 Xhl=3.5 %loadloss=2.7 windings=2 %noloadloss=0.56 %imag=4
~ wdg=1 bus=1003 kv=13.8 kva=15 conn=delta
~ wdg=2 bus=1004 kv=0.38 kva=15 conn=wye
```

```
New Transformer.T3 Xhl=3.5 %loadloss=1.68 windings=2 %noloadloss=0.34 %imag=2.5
~ wdg=1 bus=1008 kv=13.8 kva=112.5 conn=delta
~ wdg=2 bus=1009 kv=0.38 kva=112.5 conn=wye
```

```
New Transformer.T4 Xhl=3.5 %loadloss=2.31 windings=2 %noloadloss=0.5 %imag=3.6
~ wdg=1 bus=1011 kv=13.8 kva=30 conn=delta
~ wdg=2 bus=1012 kv=0.38 kva=30 conn=wye
```

```
New Transformer.T5 Xhl=3.5 %loadloss=1.86 windings=2 %noloadloss=0.39 %imag=2.7
~ wdg=1 bus=1014 kv=13.8 kva=75 conn=delta
~ wdg=2 bus=1015 kv=0.38 kva=75 conn=wye
```

```
New Transformer.T7 Xhl=3.5 %loadloss=2.1 windings=2 %noloadloss=0.43 %imag=3.2
~ wdg=1 bus=1019 kv=13.8 kva=45 conn=delta
~ wdg=2 bus=1020 kv=0.38 kva=45 conn=wye
```

## 2.2.2 Linhas

Nesse setor de estudo, os cabos presentes na rede possuem bitolas 2/0 awg no alimentador principal, e 4 awg nos ramos. E para a modelagem correta da rede, as características dos cabos utilizados foram detalhadas no software, sendo consideradas as impedâncias de sequência (positiva e zero) e a capacidade, e sendo desconsideradas as susceptâncias capacitivas. Tais parâmetros são exibidos na Tabela 4.

Tabela 10 - Parâmetros dos condutores

Condutor	Sequência Positiva		Sequência Zero		Máxima Corrente Admissível [A]
	r [/m]	x [/m]	r [/m]	x [/m]	
2/0 awg	0.822	0.268	1.381	1.991	112
4 awg	1.521	0.454	1.706	2.02	98

E para o *software* OpenDSS, como forma de simplificação e facilidade na hora de se declarar as linhas posteriormente, define-se todas as características de arranjo de linha armazenadas no elemento geral *lineCode*, como se segue:

```
//Definição dos parâmetros dos alimentadores
```

```
New Linecode.2/0awg R1=0.822 X1=0.2682 R0=1.381 X0=1.992 units=km normamps=112
New Linecode.4awg R1=1.5212 X1=0.4544 R0=1.7065 X0=2.02 units=km normamps=98
```

A Tabela 5 abaixo apresenta os comprimentos de cada tipo de cabo que interliga os pontos de cargas concentradas nos barramentos.

Tabela 11 - Comprimento dos cabos separados por bitola

Barras	Comprimento dos cabos (km)	
	2/0 awg	4 awg
1001 - 1002	3	
1002 - 1003		0,6
1003 - 1005		0,6
1002 - 1007	3	
1007 - 1008		0,6
1007 - 1010	3	
1010 - 1011		0,3
1010 - 1013	0,7	
1013 - 1014		0,3
1014 - 1016		0,7
1014 - 1018		0,6
1018 - 1019		0,5
1018 - 1021		0,5
1021 - 1023		0,6
1023 - 1025		0,4
1013 - 1027	3	
1027 - 1028		1
1027 - 1030	3	
1019 - 1020		2
1020 - 1021		0,3
1021 - 1022		0,4
1019 - 1023	3	

A fim de se visualizar a rede estudada e utilizar a função *Plot* do *software*, foram também definidas coordenadas para cada barramento. Criou-se, então, um arquivo *.dss* do tipo *comma separated value* – valores separador por vírgula, contendo as coordenadas organizadas da seguinte forma: nome da barra, coordenada X, coordenada y. O comando é escrito como se segue:

```
BusCoords Buscoords_ufv.dss
```

Tais coordenadas são apresentadas na Tabela 6, e na Figura 2, vê-se o sistema físico implementado.

Tabela 12 - Coordenadas das barras

Barra	x	y
1001	18.4338	76.0292
1002	21.4277	75.8387
1003	21.6438	76.3984
1005	22.1857	76.6603
1007	24.3515	75.1669
1008	24.7907	75.5757
1010	27.1678	74.1332
1012	27.3789	74.3464
1013	27.7909	73.8142
1014	29.9498	75.8972
1016	30.6162	76.1116
1018	30.3958	76.2986
1019	30.8566	76.4928
1021	30.6857	76.7059
1023	30.6617	77.3055
1025	30.8274	77.6708
1027	30.4207	72.3705
1028	31.2747	72.8908
1030	32.7645	70.4979
1031	34.5807	71.3354
1033	34.9680	71.2353
1035	34.7661	71.5712

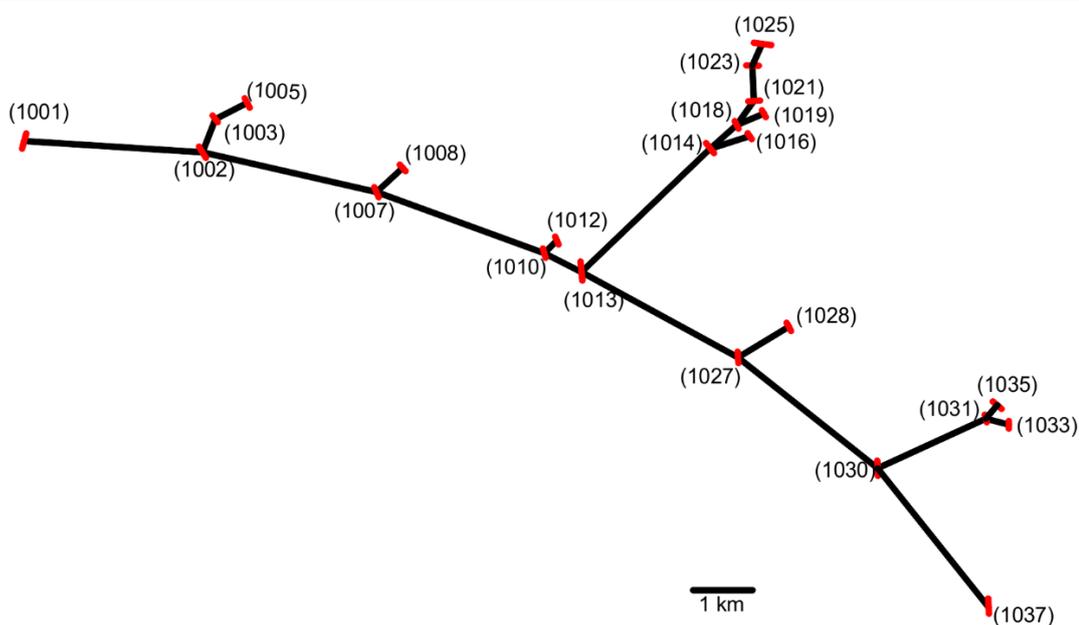


Figura 4 - Sistema implementado



Tabela 14 - Cargas nos períodos dos dias

Local	Transformador (kVA)	Barra	Cargas (kVA)		
			Manhã	Tarde	Noite
Pomar	15	1004	14.6	3.8	1.7
	15	1006	20.67	0.2	0.2
Horta Velha	112.5	1009	52.1	23.6	23.6
Floricultura	30	1012	30.1	14.8	14.8
Vila Chaves	75	1015	42.3	9.9	46.05
UPC	112.5	1017	48.3	36.4	0.2
Abrigo Aeroporto	45	1020	9.9	2.1	2.1
Equinos	30	1022	16.7	14.05	10.5
Viveiro Café	45	1024	18.04	6.75	6.75
	50	1026	12	11.2	11.2
Aeroporto e Brigada	30	1029	11.2	15.4	15.4
	45	1032	36.4	15.3	14.4
Horta Nova	15	1034	10.25	8.6	3.6
	45	1036	15.5	15.1	8.2

Segue a declaração das cargas:

//Cargas Manhã

New Load.carga1	bus1=1004	kV=0.38	kVA=14.6	PF=0.88	! Pomar I
New Load.carga2	bus1=1006	kV=0.38	kVA=20.67	PF=0.86	! Pomar II
New Load.carga3	bus1=1009	kV=0.38	kVA=52.1	PF=0.86	! Horta Velha
New Load.carga4	bus1=1012	kV=0.38	kVA=30.1	PF=0.88	! Floricultura
New Load.carga5	bus1=1015	kV=0.38	kVA=42.3	PF=0.92	! Vila Chaves
New Load.carga6	bus1=1017	kV=0.38	kVA= 48.3	PF=0.87	! UPC
New Load.carga7	bus1=1020	kV=0.38	kVA=9.9	PF=0.88	! Abrigo Aeroporto
New Load.carga8	bus1=1022	kV=0.38	kVA=16.7	PF=0.85	! Equinos
New Load.carga9	bus1=1024	kV=0.38	kVA=18.04	PF=0.87	! Viveiro Café I
New Load.carga10	bus1=1026	kV=0.38	kVA=12	PF=0.88	! Viveiro Café II
New Load.carga11	bus1=1029	kV=0.38	kVA=11.2	PF=0.89	! Aeroporto e Brigada
New Load.carga12	bus1=1032	kV=0.38	kVA=36.4	PF=0.88	! Horta Nova I
New Load.carga13	bus1=1034	kV=0.38	kVA=10.25	PF=0.88	! Horta Nova II
New Load.carga14	bus1=1036	kV=0.38	kVA=15.5	PF=0.89	! Horta Nova III

/\*

//Cargas Tarde

New Load.carga1	bus1=1004	kV=0.38	kVA=3.8	PF=0.88	! Pomar I
New Load.carga2	bus1=1006	kV=0.38	kVA=0.2	PF=0.86	! Pomar II
New Load.carga3	bus1=1009	kV=0.38	kVA=23.6	PF=0.86	! Horta Velha
New Load.carga4	bus1=1012	kV=0.38	kVA=14.8	PF=0.88	! Floricultura
New Load.carga5	bus1=1015	kV=0.38	kVA= 9.9	PF=0.92	! Vila Chaves
New Load.carga6	bus1=1017	kV=0.38	kVA=36.4	PF=0.87	! UPC
New Load.carga7	bus1=1020	kV=0.38	kVA=2.1	PF=0.88	! Abrigo Aeroporto
New Load.carga8	bus1=1022	kV=0.38	kVA=14.05	PF=0.85	! Equinos
New Load.carga9	bus1=1024	kV=0.38	kVA=6.75	PF=0.87	! Viveiro Café I
New Load.carga10	bus1=1026	kV=0.38	kVA=11.2	PF=0.88	! Viveiro Café II
New Load.carga11	bus1=1029	kV=0.38	kVA= 15.4	PF=0.89	! Aeroporto e Brigada
New Load.carga12	bus1=1032	kV=0.38	kVA=15.3	PF=0.88	! Horta Nova I
New Load.carga13	bus1=1034	kV=0.38	kVA=8.6	PF=0.88	! Horta Nova II
New Load.carga14	bus1=1036	kV=0.38	kVA=15.1	PF=0.89	! Horta Nova III

//Cargas Noite

New Load.carga1	bus1=1004	kV=0.38	kVA=1.7	PF=0.88	! Pomar I
New Load.carga2	bus1=1006	kV=0.38	kVA=0.2	PF=0.86	! Pomar II
New Load.carga3	bus1=1009	kV=0.38	kVA=23.6	PF=0.86	! Horta Velha
New Load.carga4	bus1=1012	kV=0.38	kVA=14.8	PF=0.88	! Floricultura
New Load.carga5	bus1=1015	kV=0.38	kVA= 46.05	PF=0.92	! Vila Chaves
New Load.carga6	bus1=1017	kV=0.38	kVA=0	PF=0.87	! UPC
New Load.carga7	bus1=1020	kV=0.38	kVA=2.1	PF=0.88	! Abrigo Aeroporto
New Load.carga8	bus1=1022	kV=0.38	kVA=10.5	PF=0.85	! Equinos
New Load.carga9	bus1=1024	kV=0.38	kVA=6.75	PF=0.87	! Viveiro Café I
New Load.carga10	bus1=1026	kV=0.38	kVA=11.2	PF=0.88	! Viveiro Café II
New Load.carga11	bus1=1029	kV=0.38	kVA= 15.4	PF=0.89	! Aeroporto e Brigada
New Load.carga12	bus1=1032	kV=0.38	kVA=14.4	PF=0.88	! Horta Nova I
New Load.carga13	bus1=1034	kV=0.38	kVA=3.6	PF=0.88	! Horta Nova II
New Load.carga14	bus1=1036	kV=0.38	kVA=8.2	PF=0.89	! Horta Nova III

\*/

### 3 Resultados e Discussões

Como o barramento 1001 foi considerado como o barramento do elemento *Circuit*, o perfil de tensão é exibido conforme as barras se distanciam dessa fonte. Assim, pode-se observar pela Figura 5, que a tensão em pu, decresce em função da distância em todos os períodos do dia. Isso ocorre devido à estrutura radial do sistema, e assim a queda de tensão se apresenta de forma linear com a distância devido à impedância dos condutores. Observa-se também, que nenhum limite de tensão exigido pela ANEEL, conforme a Tabela 1, foi extrapolado.

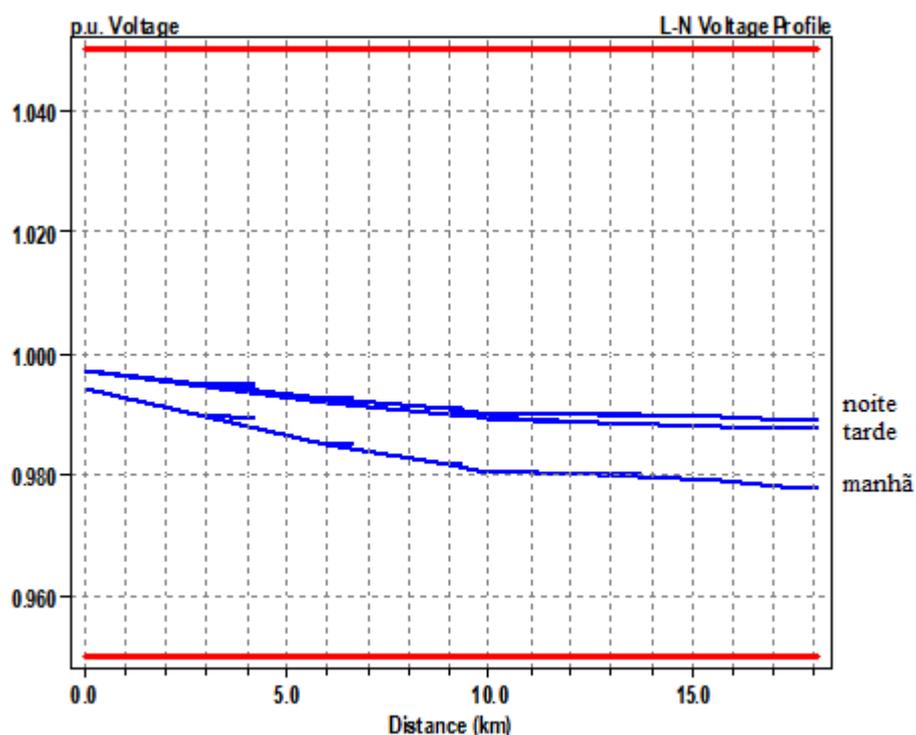


Figura 5 - Perfil de tensão em pu em função da distância da fonte

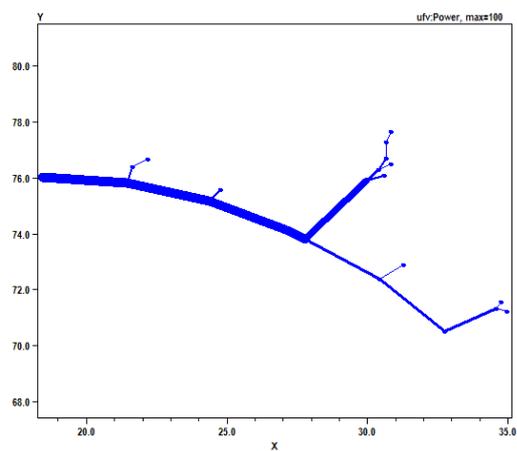


Figura 6 – Fluxo de Potência no período da manhã

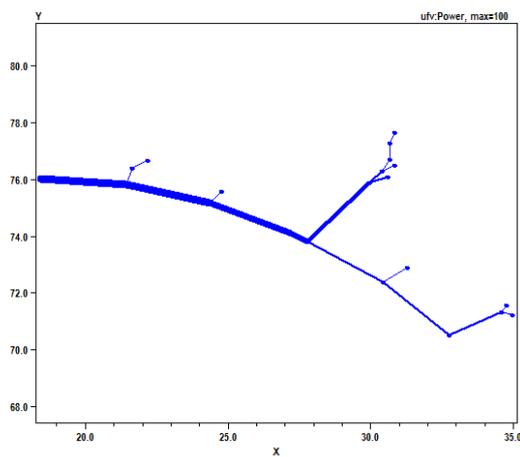


Figura 7 - Fluxo de potência no período da tarde

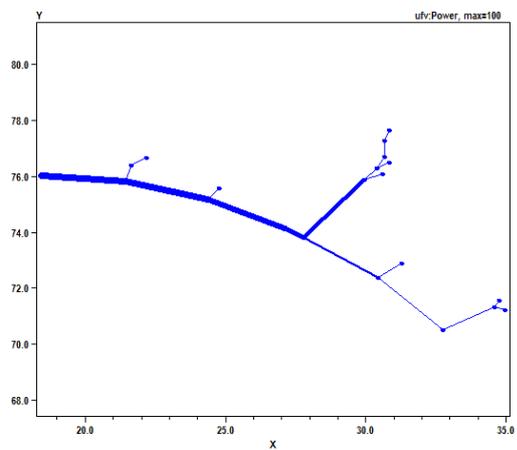


Figura 8 - Fluxo de potência no período da noite

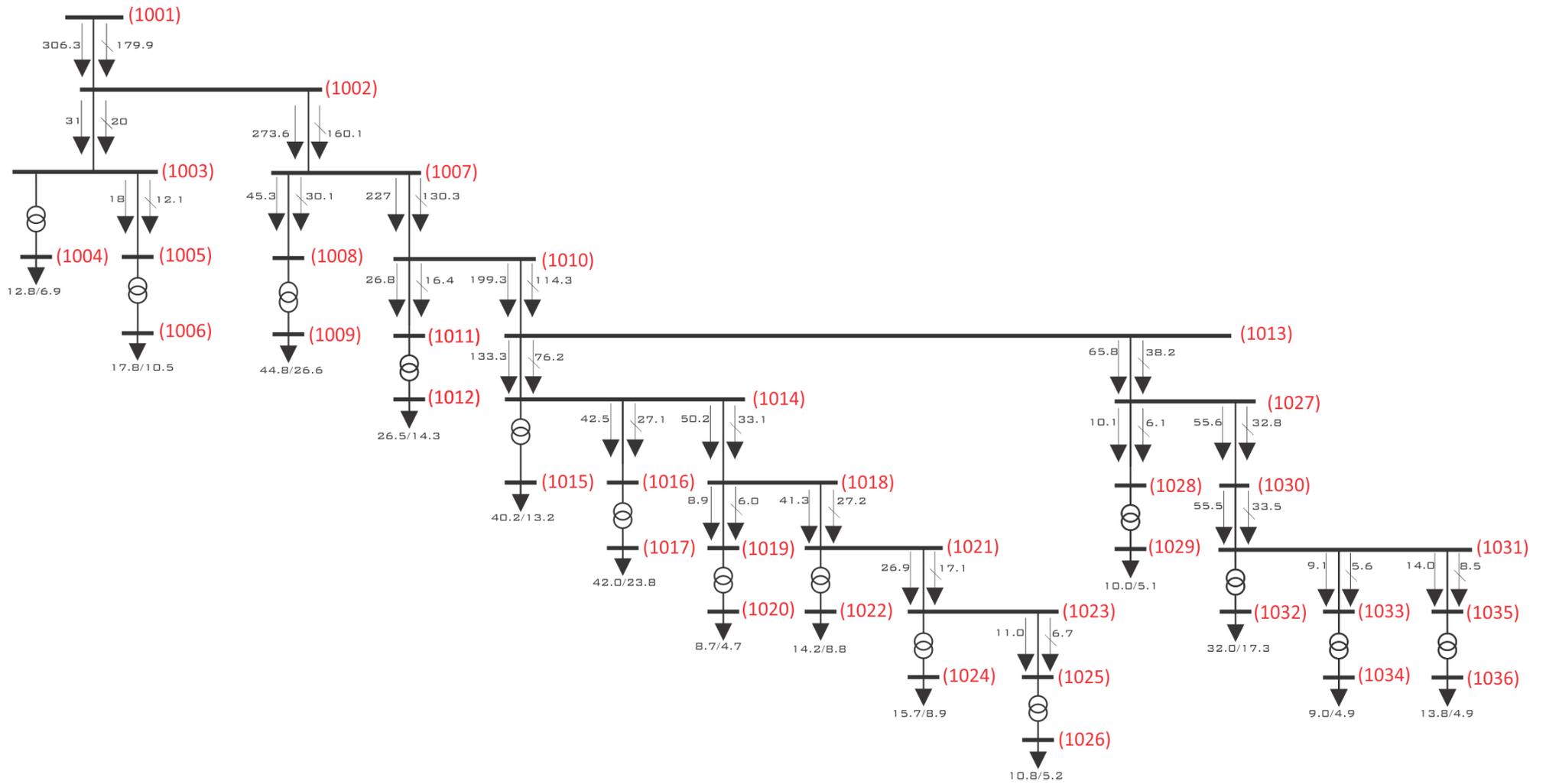


Figura 9 - Fluxo de potência no período da Manhã

Resultado da utilização do comando *Plot*, as Figuras 6, 7 e 8 representam o fluxo de potência na rede, onde as espessuras das linhas são proporcionais às potências transportadas pelas mesmas. Nota-se que de fato, o período da manhã exige maior potência da rede e o período da noite é o menos carregado. A energia flui no sentido da barra inicial 1001 para as demais, visto que é a única fonte de energia considerada nesse sistema.

Da mesma forma, a partir do diagrama unifilar da Figura 9, conclui-se que o fluxo tem sentido único, saindo da barra 1001 e fluindo para os demais ramos. Verifica-se que a rede consome muito reativo, já que fornece potência para cargas indutivas, na sua grande maioria, com fator de potência médio de 0.88, como pode ser visto no trecho abaixo. Como o estudo engloba apenas o setor da Sericicultura, não é válido ainda mencionar a adição de bancos de capacitores para corrigi-lo. Por isso, a necessidade de se fazer um estudo completo, incluindo todo o campus da UFV. Abaixo segue o resultado apresentado pelo OpenDSS das potências na Carga 12, localizada na barra 1032.

ELEMENT = "Load.CARGA12"					
Barra	Fase	P + j Q		S	FP
1032	1	10.7 +j	5.8	12.1	0.8800
1032	2	10.7 +j	5.8	12.1	0.8800
1032	3	10.7 +j	5.8	12.1	0.8800
TERMINAL TOTAL					
		32.0 +j	17.3	36.4	0.8800

Tabela 15 - Perdas nos elementos da rede de distribuição

Período	Linha	Perdas (kW)		% Perdas
		Transformador	Totais	
Manhã	4,4	3,5	7,9	2,66%
Tarde	1,4	2,9	4,4	2,80%
Noite	1,1	2,9	4,1	2,86%

Quanto às perdas em kW no sistema, como visto na Tabela 15, elas não ultrapassam 3% em nenhum dos períodos do dia, mas segundo a Figura 10, pode-se notar uma variação de perdas nas linhas e nos transformadores de acordo com o período. Quanto às perdas nas linhas, quanto maior à carga, maior as perdas; consequência da relação proporcional de perdas com o quadrado da corrente que passa no condutor. Assim, o maior percentual de perdas nas linhas é no período da manhã, representando 56% das perdas totais, contra 32 e 27% no

período da tarde e da noite, respectivamente. Já quanto às perdas nos transformadores, o maior percentual de perdas é no período da noite, com 71%, seguindo de 66% no período da tarde e de 44% no período de maior carregamento, período da manhã. Isso pode ser explicado pela grande ociosidade dos transformadores no período da noite, que é cerca de 80%, quando as perdas no cobre (perda que varia com o quadrado da corrente drenada pela carga no transformador), não significam maior representatividade sobre as perdas totais, já que as perdas no núcleo independem da carga do transformador.

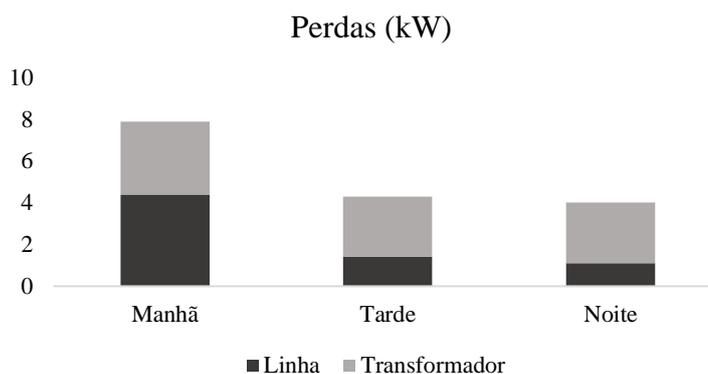


Figura 10 - Relação de perdas nas linhas e nos transformadores

Quanto às correntes de faltas, o *software* gera um arquivo texto contendo os valores das faltas trifásicas, com a relação X/R; falta fase-terra, para cada fase, com os níveis de tensão em pu também em cada fase; e a falta fase-fase, para cada dois pares de fase, com os níveis de tensão. Na Tabela 16 encontra-se uma versão simplificada do arquivo gerado.

Como visto na seção 1.3, a relação X / R é importante pois afeta o nível de corrente de curto-circuito que um disjuntor deve interromper, ao estabelecer o pico da corrente de falta assimétrica. Logo, a partir dos dados gerados pelo *OpenDSS*, pode-se dimensionar os disjuntores a serem implantados.

Tabela 16 - Valor das Faltas e Tensões nas barras no período da Manhã

Barra	Trifásica (A)	X/R	Fase-Terra (A)	Tensão fase-neutro (pu)	Fase-Fase (A)	Tensão fase-neutro (pu)				
1001	1858	3.9	1527	0	1.073	1.115	1609	0.497	0.497	0.995
1002	1311	1.4	906	0	1.217	1.135	1135	0.495	0.495	0.990
1003	1161	1.2	812	0	1.230	1.114	1005	0.495	0.495	0.990
1004	633	6.6	635	0	0.970	0.965	548	0.485	0.485	0.969
1005	1036	1.0	735	0	1.240	1.096	898	0.495	0.495	0.990
1006	632	6.1	635	0	0.961	0.955	548	0.480	0.480	0.960
1007	959	1.0	630	0	1.276	1.124	831	0.493	0.493	0.986
1008	868	0.9	582	0	1.280	1.107	752	0.493	0.493	0.986
1009	4293	4.5	4448	0	0.984	0.933	3717	0.489	0.487	0.975
1010	744	0.8	481	0	1.305	1.114	644	0.491	0.491	0.983
1011	714	0.7	466	0	1.305	1.107	618	0.491	0.491	0.983
1012	1231	5.6	1245	0	0.966	0.947	1066	0.481	0.481	0.962
1013	706	0.7	455	0	1.310	1.111	612	0.491	0.491	0.982
1014	679	0.7	442	0	1.309	1.105	588	0.491	0.491	0.982
1015	2917	4.5	3000	0	0.984	0.935	2526	0.487	0.486	0.973
1016	622	0.7	413	0	1.308	1.091	539	0.491	0.491	0.982
1017	4157	3.7	4348	0	0.989	0.913	3599	0.487	0.485	0.972
1018	630	0.7	417	0	1.309	1.093	545	0.491	0.491	0.982
1019	594	0.7	398	0	1.308	1.084	514	0.491	0.491	0.982
1020	1800	5.4	1834	0	0.985	0.949	1559	0.488	0.488	0.976
1021	594	0.7	398	0	1.308	1.084	514	0.491	0.491	0.981
1022	1224	5.7	1239	0	0.974	0.950	1060	0.484	0.484	0.968
1023	555	0.6	377	0	1.307	1.074	481	0.491	0.491	0.981
1024	1796	5.1	1831	0	0.982	0.943	1555	0.486	0.486	0.972
1025	532	0.6	364	0	1.306	1.068	461	0.491	0.491	0.981
1026	1977	4.9	2022	0	0.987	0.942	1712	0.488	0.487	0.976
1027	577	0.7	371	0	1.326	1.104	500	0.491	0.491	0.981
1028	519	0.6	342	0	1.324	1.088	449	0.491	0.491	0.981
1029	1218	5.6	1235	0	0.980	0.952	1055	0.487	0.486	0.973
1030	487	0.6	313	0	1.337	1.099	422	0.490	0.490	0.980
1031	409	0.5	273	0	1.330	1.072	354	0.490	0.490	0.979
1032	1768	4.2	1812	0	0.978	0.924	1531	0.482	0.481	0.962
1033	399	0.5	268	0	1.329	1.069	346	0.490	0.490	0.979
1034	618	5.9	623	0	0.970	0.951	536	0.482	0.482	0.965
1035	396	0.5	267	0	1.328	1.067	343	0.490	0.490	0.979
1036	1762	4.4	1807	0	0.987	0.932	1525	0.486	0.485	0.972

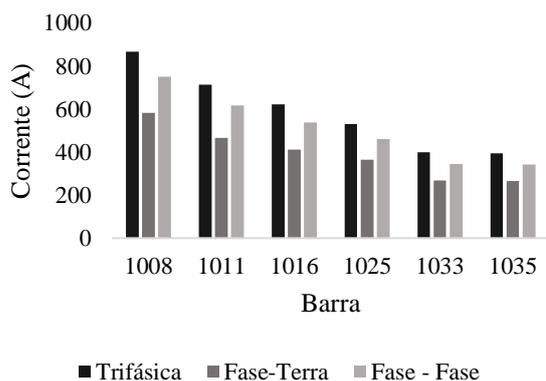


Figura 11 – Faltas nas barras imediatamente antes dos transformadores abaixadores

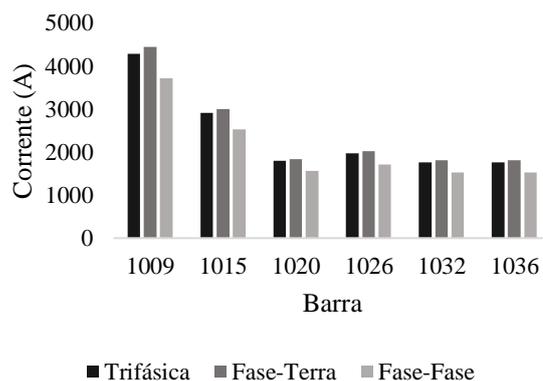


Figura 12 – Faltas nas barras imediatamente após os transformadores abaixadores

A partir da Figuras 11 e 12, pode-se notar que as correntes de falta trifásica são mais importantes para barramentos que se localizam antes dos transformadores. Já nas cargas, nas barras imediatamente após os transformadores, as correntes devido uma falta fase-terra são mais ameaçadoras.

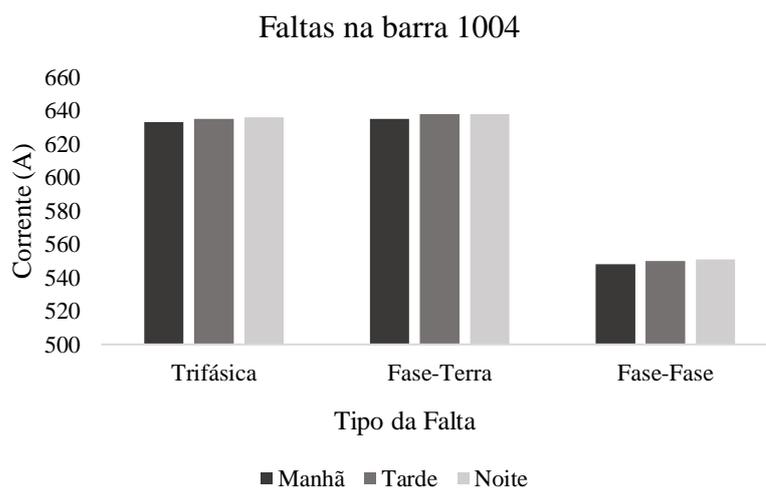


Figura 13 - Faltas na barra 1004 em três períodos do dia

A influência das cargas nas correntes de falta se mostraram sutis, como pode ser observado na Figura 13. Há um aumento mínimo da corrente com o decaimento da demanda ao longo do dia.

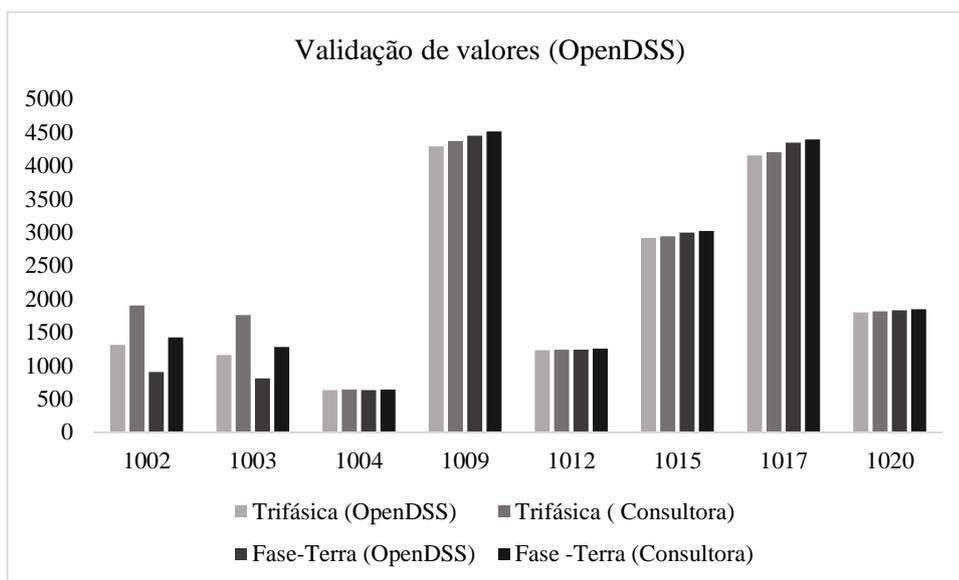


Figura 14 - Comparação de valores das faltas gerados pelo OpenDSS com valores da empresa contratada pela UFV

Ao analisar a Figura 14, observa-se que os dados gerados pelo programa utilizado são coerentes com os dados calculados por uma empresa externa à UFV que foi contratada para alguns serviços incluindo o cálculo de correntes de curto-circuito. Nas barras 1002 e 1003, pode-se ver que o erro é de aproximadamente 30%, já nas barras 1004, 1009, 1012, 1015, 1017 e 1020, o erro é menor que 1,5%. Isso pode ser explicado pelas estimativas feitas na barra “fonte”, que é a barra 1001, ao segmentarmos o setor da Sericultura dos demais setores da rede de distribuição.

## 4 Conclusões

Primeiramente, observa-se neste trabalho que, para o setor estudado, todos os níveis de tensão estão dentro dos permitidos.

Pelo levantamento de cargas, estudo de demanda verificou-se que há transformadores trabalhando em ociosidade, como por exemplo o Transformador 7, onde a demanda máxima ocupa apenas 22% da capacidade do transformador. Uma alternativa para diminuir essa ociosidade, seria remanejar transformadores entre as unidades, buscando trabalhar sempre a faixa nominal de potência.

Quanto à potência que flui na rede, há grande presença de reativos devido ao baixo fator de potência das cargas, normalmente motores indutivos. Tal fator de potência pode ainda ser fruto de transformadores trabalhando com carga muito abaixo da máxima especificada.

Em relação às correntes de faltas, pode-se concluir que, de um modo geral, as faltas mais ameaçadoras são as faltas fase-terra e faltas trifásicas ocorrentes em período de menor demanda, nas barras mais próximas à fonte considerada no sistema, principalmente nas barras imediatamente posteriores aos transformadores abaixadores.

Todas as análises foram feitas via *OpenDSS*, que se mostrou um software eficiente para os objetivos propostos. Por fim, este trabalho alcançou o objetivo de incentivar estudos no *software* OpenDSS, visto que é um *software* relativamente novo e ainda há poucos trabalhos desenvolvidos por ele. A partir do *software* apresentado neste trabalho, estudos mais amplos do sistema de distribuição poderão ser realizados com o recurso computacional próprio para esse tipo de análise.

Para trabalhos futuros, primeiramente poderia ser realizado um estudo mais aprofundado e detalhado no *software* OpenDSS, abordando ao máximo suas diversas funcionalidades.

Outra possível abordagem, seria um estudo completo sobre o carregamento dos transformadores da rede de distribuição do campus e da possível ociosidade dos equipamentos, visto que um transformador em regime de subcarga, produz uma perda técnica maior que o transformador de menor potência em carga normal.

## ***Referências Bibliográficas***

- [1] ANEEL, Atlas de Energia Elétrica, Brasília: ANEEL 2ª Edição.
- [2] Kagan, N.; Oliveira, C. C. De B.; Robba, N. J., Introdução aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica, Blucher, 2010.
- [3] Nunes Santos, D; Daher, R; Nazari, V., “Análise Estática de sistema elétrico de Potência utilizando o software Anarede,” Curitiba, 2013.
- [4] L. C. Zanetta Jr, Fundamentos de Sistemas Elétricos de Potência, São Paulo: Livraria da Física, 2006.
- [5] Pereira, B. R.; Cossi, M. A., Mantovani, J. R. S., Alocação de Bancos de Capacitores em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica Utilizando Algoritmo Genético, 2009.
- [6] G. Paulillo e M. Teixeira, “Qualidade de Energia,” *O Setor Elétrico*, p. Cap VII.
- [7] R. B. Gomes, “Resolução do Problema do Fluxo de Cargas para Rede de Distribuição Utilizando o Método Desacoplado Rápido com Rotação Automática de Eixos,” *Tese de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas*, Maio 2006.
- [8] M. S. Srinivas, “Distribution Load Flows: A Brief Review,” *Proceedings of the 2000 IEEE PES Summer Meeting*, Janeiro 2000.
- [9] B. M. Costa Araújo, “Estudo de Cálculo de Curto-Circuito em Instalações Offshore Utilizando a Norma IEC-61363,” 2013.
- [10] S. B. Silva Jr., “Análise de operação de sistemas de distribuição utilizando o OpenDSS,” 2010.
- [11] J. Merrell, “The Importance of the X/R Ratio in Low-Voltage Short Circuit Studies,” 1999. [Online]. Available: <https://www.powellind.com/sites/downloads/ProductAssets/01.4TB.047%20X-R%20Ratio.pdf>. [Acesso em Novembro 2016].
- [12] IEEE, “Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems,” em *IEEE Std 242 - 2001*, 2001.
- [13] R. C. Dugan, “Reference Guide - The Open Distribution System Simulator,” *Electric Power Research Institute*, 2016.

## Apêndice A – Correntes de Faltas por período

Tabela 17 - Valores de correntes de faltas por período do dia

Barra	Manhã			Tarde			Noite		
	Trifásica	Fase-Terra	Fase-Fase	Trifásica	Fase-Terra	Fase-Fase	Trifásica	Fase-Terra	Fase-Fase
1001	1858	1527	1609	1858	1529	1609	1858	1529	1609
1002	1311	906	1135	1311	908	1135	1311	908	1135
1003	1161	812	1005	1162	814	1006	1162	815	1006
1004	633	635	548	635	638	550	636	638	551
1005	1036	735	898	1038	737	899	1038	737	899
1006	632	635	548	635	638	550	635	638	550
1007	959	630	831	959	633	831	959	633	831
1008	868	582	752	869	584	753	869	584	753
1009	4293	4448	3717	4312	4471	3734	4315	4475	3737
1010	744	481	644	745	483	645	745	483	645
1011	714	466	618	715	468	619	715	468	619
1012	1231	1245	1066	1239	1253	1073	1241	1254	1074
1013	706	455	612	707	458	612	707	458	612
1014	679	442	588	680	444	589	680	444	589
1015	2917	3000	2526	2933	3020	2540	2942	3027	2547
1016	622	413	539	623	415	540	623	415	540
1017	4157	4348	3599	4183	4380	3622	4179	4379	3619
1018	630	417	545	631	419	546	631	419	546
1019	594	398	514	595	400	515	595	400	515
1020	1800	1834	1559	1813	1848	1570	1815	1850	1572
1021	594	398	514	595	400	515	595	400	515
1022	1224	1239	1060	1233	1249	1068	1234	1250	1069
1023	555	377	481	556	379	482	556	379	482
1024	1796	1831	1555	1808	1845	1566	1810	1847	1568
1025	532	364	461	533	366	462	533	367	462
1026	1977	2022	1712	1992	2038	1725	1994	2041	1727
1027	577	371	500	579	373	501	579	373	501
1028	519	342	449	520	344	451	520	344	451
1029	1218	1235	1055	1228	1245	1063	1230	1247	1065
1030	487	313	422	489	315	423	489	315	423
1031	409	273	354	410	275	355	410	275	355
1032	1768	1812	1531	1779	1825	1541	1782	1828	1543
1033	399	268	346	400	270	347	400	270	347
1034	618	623	536	624	629	540	624	630	541
1035	396	267	343	397	268	344	397	269	344
1036	1762	1807	1525	1776	1823	1538	1777	1825	1539

## Apêndice B – Tensão nas barras

Tabela 18 - Tensão por unidade nas barras por período do dia

Barra	Tensão de Base (kV)	Manhã Tensão pu	Tarde Tensão pu	Noite Tensão pu
1001	13.8	0.99435	0.99693	0.99734
1003	13.8	0.98941	0.9944	0.99507
1004	0.38	0.96734	0.9878	0.99135
1005	13.8	0.98931	0.9944	0.99507
1006	0.38	0.95643	0.9927	0.99337
1008	13.8	0.98506	0.99185	0.99273
1009	0.38	0.97398	0.98642	0.98731
1011	13.8	0.98171	0.98981	0.99091
1012	0.38	0.95894	0.9783	0.9794
1014	13.8	0.98068	0.9892	0.99035
1015	0.38	0.97101	0.98627	0.97998
1016	13.8	0.98039	0.98898	0.99034
1017	0.38	0.97027	0.98123	0.98946
1019	13.8	0.98034	0.98901	0.99018
1020	0.38	0.97466	0.98693	0.9881
1021	13.8	0.98018	0.98888	0.99006
1022	0.38	0.96623	0.97707	0.98097
1023	13.8	0.98002	0.98878	0.98997
1024	0.38	0.97028	0.9845	0.98568
1025	13.8	0.97998	0.98874	0.98993
1026	0.38	0.97427	0.98338	0.98457
1028	13.8	0.97993	0.98851	0.98983
1029	0.38	0.97111	0.97688	0.97822
1031	13.8	0.97807	0.98742	0.98914
1032	0.38	0.9597	0.97926	0.98141
1033	13.8	0.97805	0.9874	0.98913
1034	0.38	0.96216	0.97401	0.98278
1035	13.8	0.97802	0.98737	0.98911
1036	0.38	0.96993	0.97952	0.98436
1002	13.8	0.98959	0.99442	0.99508
1007	13.8	0.98533	0.99197	0.99285
1010	13.8	0.98179	0.98985	0.99095
1013	13.8	0.98106	0.98941	0.99055
1018	13.8	0.98038	0.98902	0.99019
1027	13.8	0.98002	0.98864	0.98997
1030	13.8	0.97914	0.98809	0.98959

## Apêndice C – Código Fonte completo (OpenDSS)

```
Clear
New Circuit.ufv bus1=1001 basekv=13.8 pu=1.00 MVAsc1=36.6 MVAsc3=44.4
// Método de Solução e parâmetros de convergência
set trapezoidal=true
set algorithm=Newton
set tolerance=0.00001
set maxiterations=100000

Set voltagebases=[13.8 2.2 0.38] !Tensão base encontrada no circuito

//Definição dos parâmetros dos alimentadores
New Linecode.2/0awg R1=0.822 X1=0.2682 R0=1.381 X0=1.9917 units=km normamps=112
New Linecode.4awg R1=1.5212 X1=0.4544 R0=1.7065 X0=2.02 units=km normamps=98
//Definição trafos

New Transformer.T1 Xhl=3.5 %loadloss=2.7 windings=2 %noloadloss=0.56 %imag=4
~ wdg=1 bus=1003 kv=13.8 kva=15 conn=delta
~ wdg=2 bus=1004 kv=0.38 kva=15 conn=wye

New Transformer.T2 Xhl=3.5 %loadloss=2.7 windings=2 %noloadloss=0.56 %imag=4
~ wdg=1 bus=1005 kv=13.8 kva=15 conn=delta
~ wdg=2 bus=1006 kv=0.38 kva=15 conn=wye

New Transformer.T3 Xhl=3.5 %loadloss=1.68 windings=2 %noloadloss=0.34 %imag=2.5
~ wdg=1 bus=1008 kv=13.8 kva=112.5 conn=delta
~ wdg=2 bus=1009 kv=0.38 kva=112.5 conn=wye

New Transformer.T4 Xhl=3.5 %loadloss=2.31 windings=2 %noloadloss=0.5 %imag=3.6
~ wdg=1 bus=1011 kv=13.8 kva=30 conn=delta
~ wdg=2 bus=1012 kv=0.38 kva=30 conn=wye

New Transformer.T5 Xhl=3.5 %loadloss=1.86 windings=2 %noloadloss=0.39 %imag=2.7
~ wdg=1 bus=1014 kv=13.8 kva=75 conn=delta
~ wdg=2 bus=1015 kv=0.38 kva=75 conn=wye

New Transformer.T6 Xhl=3.5 %loadloss=1.68 windings=2 %noloadloss=0.34 %imag=2.5
~ wdg=1 bus=1016 kv=13.8 kva=112.5 conn=delta
~ wdg=2 bus=1017 kv=0.38 kva=112.5 conn=wye

New Transformer.T7 Xhl=3.5 %loadloss=2.1 windings=2 %noloadloss=0.43 %imag=3.2
~ wdg=1 bus=1019 kv=13.8 kva=45 conn=delta
~ wdg=2 bus=1020 kv=0.38 kva=45 conn=wye

New Transformer.T8 Xhl=3.5 %loadloss=2.31 windings=2 %noloadloss=0.5 %imag=3.6
~ wdg=1 bus=1021 kv=13.8 kva=30 conn=delta
~ wdg=2 bus=1022 kv=0.38 kva=30 conn=wye

New Transformer.T9 Xhl=3.5 %loadloss=2.1 windings=2 %noloadloss=0.43 %imag=3.2
~ wdg=1 bus=1023 kv=13.8 kva=45 conn=delta
~ wdg=2 bus=1024 kv=0.38 kva=45 conn=wye

New Transformer.T10 Xhl=3.5 %loadloss=1.9 windings=2 %noloadloss=0.4 %imag=3
```

~ wdg=1 bus=1025 kv=13.8 kva=50 conn=delta  
~ wdg=2 bus=1026 kv=0.38 kva=50 conn=wye

New Transformer.T11 Xhl=3.5 %loadloss=2.31 windings=2 %noloadloss=0.5 %imag=3.6  
~ wdg=1 bus=1028 kv=13.8 kva=30 conn=delta  
~ wdg=2 bus=1029 kv=0.38 kva=30 conn=wye

New Transformer.T12 Xhl=3.5 %loadloss=2.1 windings=2 %noloadloss=0.43 %imag=3.2  
~ wdg=1 bus=1031 kv=13.8 kva=45 conn=delta  
~ wdg=2 bus=1032 kv=0.38 kva=45 conn=wye

New Transformer.T13 Xhl=3.5 %loadloss=2.7 windings=2 %noloadloss=0.56 %imag=4  
~ wdg=1 bus=1033 kv=13.8 kva=15 conn=delta  
~ wdg=2 bus=1034 kv=0.38 kva=15 conn=wye

New Transformer.T14 Xhl=3.5 %loadloss=2.1 windings=2 %noloadloss=0.43 %imag=3.2  
~ wdg=1 bus=1035 kv=13.8 kva=45 conn=delta  
~ wdg=2 bus=1036 kv=0.38 kva=45 conn=wye

//Definição física das linhas e cabos que interligam as cargas

New Line.linha1	bus1=1001	bus2=1002	linecode=2/0awg	length=3 units=km
New Line.linha2	bus1=1002	bus2=1003	linecode=4awg	length=0.6 units=km
New Line.linha3	bus1=1003	bus2=1005	linecode=4awg	length=0.6 units=km
New Line.linha4	bus1=1002	bus2=1007	linecode=2/0awg	length=3 units=km
New Line.linha5	bus1=1007	bus2=1008	linecode=4awg	length=0.6 units=km
New Line.linha6	bus1=1007	bus2=1010	linecode=2/0awg	length=3 units=km
New Line.linha7	bus1=1010	bus2=1011	linecode=4awg	length=0.3 units=km
New Line.linha8	bus1=1010	bus2=1013	linecode=2/0awg	length=0.7 units=km
New Line.linha9	bus1=1013	bus2=1014	linecode=4awg	length=0.3 units=km
New Line.linha10	bus1=1014	bus2=1016	linecode=4awg	length=0.7 units=km
New Line.linha11	bus1=1014	bus2=1018	linecode=4awg	length=0.6 units=km
New Line.linha12	bus1=1018	bus2=1019	linecode=4awg	length=0.5 units=km
New Line.linha13	bus1=1018	bus2=1021	linecode=4awg	length=0.5 units=km
New Line.linha14	bus1=1021	bus2=1023	linecode=4awg	length=0.6 units=km
New Line.linha15	bus1=1023	bus2=1025	linecode=4awg	length=0.4 units=km
New Line.linha16	bus1=1013	bus2=1027	linecode=2/0awg	length=3 units=km
New Line.linha17	bus1=1027	bus2=1028	linecode=4awg	length=1 units=km
New Line.linha18	bus1=1027	bus2=1030	linecode=2/0awg	length=3 units=km
New Line.linha19	bus1=1030	bus2=1031	linecode=4awg	length=2 units=km
New Line.linha20	bus1=1031	bus2=1033	linecode=4awg	length=0.3 units=km
New Line.linha21	bus1=1031	bus2=1035	linecode=4awg	length=0.4 units=km

/\*

//Cargas Manhã

New Load.carga1	bus1=1004	kV=0.38	kVA=14.6	PF=0.88	! Pomar I
New Load.carga2	bus1=1006	kV=0.38	kVA=20.67	PF=0.86	! Pomar II
New Load.carga3	bus1=1009	kV=0.38	kVA=52.1	PF=0.86	! Horta Velha
New Load.carga4	bus1=1012	kV=0.38	kVA=30.1	PF=0.88	! Floricultura
New Load.carga5	bus1=1015	kV=0.38	kVA=42.3	PF=0.95	! Vila Chaves
New Load.carga6	bus1=1017	kV=0.38	kVA= 48.3	PF=0.87	! UPC
New Load.carga7	bus1=1020	kV=0.38	kVA=9.9	PF=0.88	! Abrigo Aeroporto
New Load.carga8	bus1=1022	kV=0.38	kVA=16.7	PF=0.85	! Equinos
New Load.carga9	bus1=1024	kV=0.38	kVA=18.04	PF=0.87	! Viveiro Café I

```

New Load.carga10 bus1=1026 kV=0.38 kVA=12 PF=0.90 ! Viveiro Café II
New Load.carga11 bus1=1029 kV=0.38 kVA=11.2 PF=0.89 ! Aeroporto e Brigada
New Load.carga12 bus1=1032 kV=0.38 kVA=36.4 PF=0.88 ! Horta Nova I
New Load.carga13 bus1=1034 kV=0.38 kVA=10.25 PF=0.88 ! Horta Nova II
New Load.carga14 bus1=1036 kV=0.38 kVA=15.5 PF=0.89 ! Horta Nova III
*/
/*
//Cargas Tarde
New Load.carga1 bus1=1004 kV=0.38 kVA=3.8 PF=0.88 ! Pomar I
New Load.carga2 bus1=1006 kV=0.38 kVA=0.2 PF=0.86 ! Pomar II
New Load.carga3 bus1=1009 kV=0.38 kVA=23.6 PF=0.86 ! Horta Velha
New Load.carga4 bus1=1012 kV=0.38 kVA=14.8 PF=0.88 ! Floricultura
New Load.carga5 bus1=1015 kV=0.38 kVA= 9.9 PF=0.95 ! Vila Chaves
New Load.carga6 bus1=1017 kV=0.38 kVA=36.4 PF=0.87 ! UPC
New Load.carga7 bus1=1020 kV=0.38 kVA=2.1 PF=0.88 ! Abrigo Aeroporto
New Load.carga8 bus1=1022 kV=0.38 kVA=14.05 PF=0.85 ! Equinos
New Load.carga9 bus1=1024 kV=0.38 kVA=6.75 PF=0.87 ! Viveiro Café I
New Load.carga10 bus1=1026 kV=0.38 kVA=11.2 PF=0.90 ! Viveiro Café II
New Load.carga11 bus1=1029 kV=0.38 kVA= 15.4 PF=0.89 ! Aeroporto e Brigada
New Load.carga12 bus1=1032 kV=0.38 kVA=15.3 PF=0.88 ! Horta Nova I
New Load.carga13 bus1=1034 kV=0.38 kVA=8.6 PF=0.88 ! Horta Nova II
New Load.carga14 bus1=1036 kV=0.38 kVA=15.1 PF=0.89 ! Horta Nova III
*/
/*
//Cargas Noite
New Load.carga1 bus1=1004 kV=0.38 kVA=1.7 PF=0.88 ! Pomar I
New Load.carga2 bus1=1006 kV=0.38 kVA=0.2 PF=0.86 ! Pomar II
New Load.carga3 bus1=1009 kV=0.38 kVA=23.6 PF=0.86 ! Horta Velha
New Load.carga4 bus1=1012 kV=0.38 kVA=14.8 PF=0.88 ! Floricultura
New Load.carga5 bus1=1015 kV=0.38 kVA= 46.05 PF=0.95 ! Vila Chaves
New Load.carga6 bus1=1017 kV=0.38 kVA=0 PF=0.87 ! UPC
New Load.carga7 bus1=1020 kV=0.38 kVA=2.1 PF=0.88 ! Abrigo Aeroporto
New Load.carga8 bus1=1022 kV=0.38 kVA=10.5 PF=0.85 ! Equinos
New Load.carga9 bus1=1024 kV=0.38 kVA=6.75 PF=0.87 ! Viveiro Café I
New Load.carga10 bus1=1026 kV=0.38 kVA=11.2 PF=0.90 ! Viveiro Café II
New Load.carga11 bus1=1029 kV=0.38 kVA= 15.4 PF=0.89 ! Aeroporto e Brigada de
Incêndio
New Load.carga12 bus1=1032 kV=0.38 kVA=14.4 PF=0.88 ! Horta Nova I
New Load.carga13 bus1=1034 kV=0.38 kVA=3.6 PF=0.88 ! Horta Nova II
New Load.carga14 bus1=1036 kV=0.38 kVA=8.2 PF=0.89 ! Horta Nova III
*/

```

```
New EnergyMeter.sub element=Line.linha1 terminal=1
```

```

make bus list
calc voltage bases
solve
BusCoords Buscoords_ufv.dss

```

```

show powers
export powers
show voltages
export voltages
show losses
export losses

```

```
// Modo de faltas - executado após solução do modo padrão
```

```
set mode= faultstudy
```

```
calc voltage bases
```

```
solve
```

```
show faults
```

```
export faults
```

```
set nodewidth=2 markercode=29
```

```
plot circuit Power Max=100 dots=y labels=n subs=n
```

```
Plot Profile Phases=All
```