

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA  
PROJETO DE GRADUAÇÃO**



**GABRIEL ROSSETO LEMOS**

**ESTUDO E MODELAGEM DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO  
DE ENERGIA ELÉTRICA DO CAMPUS DE GOIABEIRAS  
DA UFES POR MEIO DO SOFTWARE DE TRANSITÓRIOS  
ELETROMAGNÉTICOS**

VITÓRIA – ES  
12/2014

GABRIEL ROSSETO LEMOS

**ESTUDO E MODELAGEM DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO  
DE ENERGIA ELÉTRICA DO CAMPUS DE GOIABEIRAS  
DA UFES POR MEIO DO SOFTWARE DE TRANSITÓRIOS  
ELETROMAGNÉTICOS**

Parte manuscrita do Projeto de Graduação  
do aluno **Gabriel Rosseto Lemos**,  
apresentada ao Departamento de  
Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico  
da Universidade Federal do Espírito Santo,  
para obtenção o título de engenheiro  
eletricista.

GABRIEL ROSSETO LEMOS

**ESTUDO E MODELAGEM DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO  
DE ENERGIA ELÉTRICA DO CAMPUS DE GOIABEIRAS  
DA UFES POR MEIO DO SOFTWARE DE TRANSITÓRIOS  
ELETROMAGNÉTICOS**

COMISSÃO EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. Lucas Frizera Encarnação  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Orientador

---

Prof. Dra. Jussara Farias Fardin  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinadora

---

Engº Rodrigo Fiorotti  
Universidade Federal do Espírito Santo  
Examinador

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse meu trabalho para meus familiares, que me deram suporte ao longo de toda minha vida, em especial à minha mãe e ao meu pai, exemplos de vida para mim.

Dedico também a todos os estudantes de engenharia elétrica da UFES (antigos, atuais e futuros). Apenas vocês compreendem os desafios do percurso de graduação em engenharia elétrica. Sintam-se honrados por obter tal título.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à minha família, familiares e amigos, nos quais sempre me motivam a buscar os meus objetivos ao longo da minha vida.

Agradeço ao empenho, disponibilidade e excelência do meu orientador, Prof. Dr. Lucas Frizera Encarnação, que mesmo tendo muitos compromissos, sempre esteve à disposição quando requisitado.

Agradeço imensamente aos meus colegas de faculdade, pelas descontrações nos momentos oportunos, pelos estudos e apoio fornecidos ao longo de todo o curso.

Agradeço ainda aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Espírito Santo, os quais serei eternamente grato.

## RESUMO

Este trabalho consiste no estudo da rede de distribuição de energia elétrica do Campus de Goiabeiras, da Universidade Federal do Espírito Santo e a sua implementação no *software PSCAD/EMTDC*. A fim de se obter um sistema de confiabilidade adequada, os parâmetros e equipamentos (como transformadores, alimentadores e cargas) presentes no sistema deverão estar modelados de maneira coerente. A validação dos resultados do sistema modelado será realizada através da comparação com os dados obtidos oriundos de medições na rede física, bem como comparação dos resultados da simulação do mesmo sistema em outro *software*, o *SKM Power\*Tools for Windows*.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perdas técnicas e comerciais do sistema elétrico brasileiro .....	15
Figura 2 - Planta Baixa da Rede de Distribuição da UFES .....	20
Figura 3 - Ponto de Entrega do Campus de Goiabeiras da UFES .....	21
Figura 4 - Chave seccionadora .....	23
Figura 5 - Circuito Equivalente da impedância série de uma linha trifásica.....	25
Figura 6 - Vista interna de um cabo isolado de média tensão .....	27
Figura 7 - Curva de carga do T08 .....	31
Figura 8 - Curva semanal determinada para o T36.....	32
Figura 9 - Capacitores de média tensão .....	33
Figura 10 - Representação de fonte de tensão no PSCAD .....	34
Figura 11 - Parâmetros de modelagem de uma fonte de tensão no PSCAD .....	35
Figura 12 - Representação de uma linha modelo pi no <i>PSCAD</i> .....	36
Figura 13 - Parâmetros de modelagem de uma linha modelo pi no <i>PSCAD</i> .....	37
Figura 14 - Representação de um transformador no PSCAD.....	37
Figura 15 - Parâmetros de simulação de um transformador no PSCAD.....	38
Figura 16 - Representação da carga <i>Fixed Load</i> no <i>PSCAD</i> .....	39
Figura 17 - Parâmetros de simulação para uma carga <i>Fixed Load</i> no <i>PSCAD</i> .....	39
Figura 18 - Representação de medidores no <i>PSCAD</i> .....	40
Figura 19 - Parâmetros de simulação de medidores no <i>PSCAD</i> .....	41
Figura 20 - Parte do modelo criado no PSCAD .....	41
Figura 21 - Planta de distribuição da UFES detalhada -parte 1.....	48
Figura 22 - Planta de distribuição da UFES detalhada -parte 2.....	49
Figura 23 - Diagrama Unifilar - parte1 .....	51
Figura 24 - Diagrama Unifilar - parte 2 .....	52

## Lista de tabelas

Tabela 1 - Dados do T01 .....	21
Tabela 2 - Características dos condutores de alumínio .....	24
Tabela 3 - Características dos condutores de cobre .....	24
Tabela 4 - Parâmetros das linhas de distribuição aéreas .....	26
Tabela 5 - Características de cabos de cobre isolado.....	27
Tabela 6 - Parâmetros das linhas da rede de distribuição da UFES.....	57
Tabela 7 - Dados nominais dos transformadores da rede de distribuição da UFES.....	63
Tabela 8 - Potências ativas e reativas médias das cargas (por fase) .....	65
Tabela 9 - Resultados obtidos de P e Q e comparação com os valores medidos .....	67
Tabela 10 - Resultados para P e Q (monofásicos) calculados e comparação com os valores medidos para a situação de carga média .....	69
Tabela 11 - Resultados para P E Q (monofásicos) calculados e comparação com os valores medidos para a situação de carga pesada .....	71
Tabela 12 - Valores para V e $\theta$ obtidos pelo software SKM (Padua, 2011) .....	73
Tabela 13 - Comparação do PSCAD com os dados simulados por SKM (Padua, 2011) para o cenário de carga leve .....	77
Tabela 14 - Comparação do PSCAD com os dados simulados por SKM (Padua, 2011) para o cenário de carga média.....	81
Tabela 15 - Comparação do PSCAD com os dados simulados por SKM (Padua, 2011) para o cenário de carga pesada.....	85



## **Lista de Quadros**

Quadro 1 - Máscara do código de identificação de componentes da rede .....	50
Quadro 2 - Legenda de Cores da Planta de Distribuição .....	50
Quadro 3 - Informação gerais dos transformadores.....	60

## SIMBOLOGIA

C	Capacitância
L	indutância
f	Frequência
G	Condutância
P	Potência Ativa
Q	Potência Reativa
$\rho$	Resistividade do solo
R	Resistência elétrica
V	Tensão elétrica
$Z_{cc}$	Impedância de curto-circuito
$\theta$	Ângulo de fase

## **ABREVIATURAS**

ABRADEE	Associação Brasileira de Distribuidoras de Energia Elétrica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEFET/RJ	Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IFCE	Instituto Federal De Educação, Ciência e tecnologia do Ceará
MME	Ministério de Minas e Energia
SEP	Sistema Elétrico de Potência
PEE	Ponto de Entrega de Energia
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional
PUn	Prefeitura Universitária
PSCAD	Power Systems CAD
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1	Justificativa .....	16
1.2	Objetivo geral e objetivos específicos .....	17
1.3	Organização do texto .....	17
<b>2</b>	<b>REDE DE DISTRIBUIÇÃO DA UFES.....</b>	<b>19</b>
2.1	Ponto de Entrega .....	20
2.2	Subestações de transformadores .....	21
2.3	Chave de seccionamento .....	22
2.4	Linhas de Distribuição de Média Tensão .....	23
2.4.1	Conceito .....	23
2.4.2	Linhas aéreas .....	23
2.4.2.1	Composição .....	23
2.4.2.2	Parâmetros das linhas aéreas.....	24
2.4.3	Linhas subterrâneas .....	27
2.5	Transformadores de potência .....	28
2.5.1	Conceito .....	28
2.5.2	Características dos transformadores da UFES .....	28
2.6	Cargas.....	29
2.6.1	Conceito .....	29
2.6.2	Medição das cargas dos transformadores .....	30
2.6.2.1	Equipamentos utilizados.....	30
2.6.2.2	Períodos de medições .....	30
2.7	Banco de capacitores .....	32
<b>3</b>	<b>PSCAD/EMTDC .....</b>	<b>34</b>
3.1	Modelagem do sistema elétrico no PSCAD .....	34
3.1.1	Fonte de tensão .....	34
3.1.2	Linhas de Distribuição aéreas .....	35
3.1.3	Linhas de distribuição subterrâneas.....	37
3.1.4	Transformadores.....	37
3.1.5	Cargas .....	38

3.1.6 Medidores.....	40
3.2 Validação do modelo .....	42
3.2.1 Comparação da simulação PSCAD com os valores medidos.....	42
3.2.1.1 Carga leve .....	42
3.2.1.2 Carga média .....	44
3.2.1.3 Carga pesada .....	44
3.2.2 Comparação da simulação PSCAD com os SKM (Padua, 2011) .....	44
3.2.2.1 Carga Leve .....	45
3.2.2.2 Carga Média.....	45
3.2.2.3 Carga Pesada.....	46
<b>4 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXO A – PLANTA BAIXA DA UFES 2006 MAIS DETALHADA .....</b>	<b>48</b>
<b>ANEXO B DIAGRAMA UNIFILAR .....</b>	<b>51</b>
<b>ANEXO C – DADOS DAS LINHAS .....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXO D – PARÂMETROS DAS LINHAS DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DA UFES.....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXO E – INFORMAÇÃO GERAIS DOS TRANSFORMADORES.....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXO F – DADOS NOMINAIS DOS TRANSFORMADORES .....</b>	<b>63</b>
<b>ANEXO G – POTÊNCIAS ATIVAS E REATIVAS MÉDIAS DAS CARGAS .....</b>	<b>65</b>
<b>ANEXO H – RESULTADOS PARA P E Q (MONOFÁSICOS) CALCULADOS E COMPARAÇÃO COM OS VALORES MEDIDOS PARA A SITUAÇÃO DE CARGA LEVE .....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXO I – RESULTADOS PARA P E Q (MONOFÁSICOS) CALCULADOS E COMPARAÇÃO COM OS VALORES MEDIDOS PARA A SITUAÇÃO DE CARGA MÉDIA .....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO J – RESULTADOS PARA P E Q (MONOFÁSICOS) CALCULADOS E COMPARAÇÃO COM OS VALORES MEDIDOS PARA A SITUAÇÃO DE CARGA PESADA .....</b>	<b>71</b>
<b>ANEXO K – VALORES PARA V E <math>\theta</math> OBTIDOS PELO SOFTWARE SKM (PADUA, 2011).....</b>	<b>73</b>
<b>ANEXO L – COMPARAÇÃO DO PSCAD COM OS DADOS SIMULADOS POR SKM (PADUA, 2011) PARA O CENÁRIO DE CARGA LEVE.....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXO M – COMPARAÇÃO DO PSCAD COM OS DADOS SIMULADOS POR SKM (PADUA, 2011) PARA O CENÁRIO DE CARGA MÉDIA .....</b>	<b>81</b>

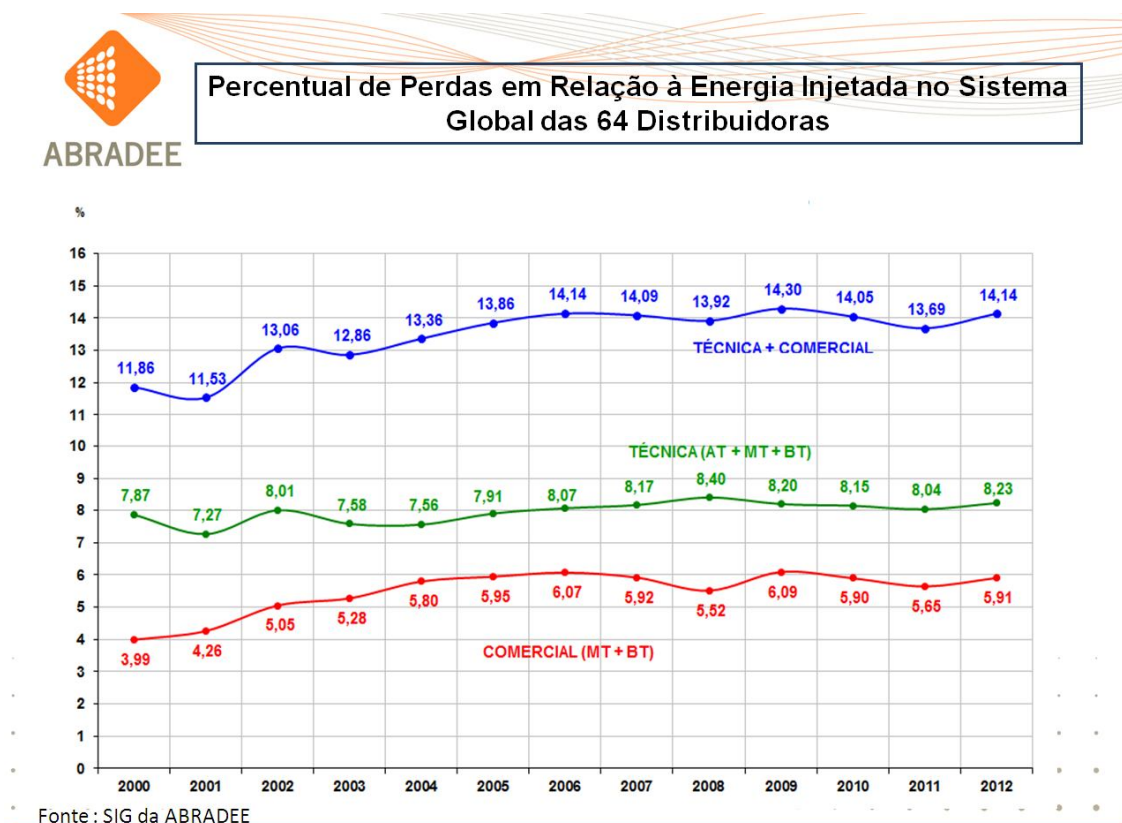
<b>ANEXO N – COMPARAÇÃO DO PSCAD COM OS DADOS SIMULADOS POR SKM PARA O CENÁRIO DE CARGA PESADA .....</b>	<b>85</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>89</b>

## ***1 INTRODUÇÃO***

A maneira e o formato da produção e da distribuição de energia elétrica sofrem profundas mudanças de acordo com o desenvolvimento tecnológico e o aumento da demanda energética. Como se pode notar na Figura 1, atualmente os fatores que são mais problemáticos no setor são: grandes perdas nas transmissões de energia elétrica (perdas técnicas), perdas comerciais (fraudes) nos sistemas de distribuição e a demora no reestabelecimento da energia dos consumidores devido às falhas que ocorrem no sistema. Esses entraves existem em qualquer tipo de sistema de energia ao redor do mundo, por isso a busca por soluções é realizada por vários centros de pesquisas internacionais.

A atual situação das redes elétricas brasileiras está dentro da regularidade e atendendo de maneira adequada os seus consumidores (MME,2014) e um estudo aponta que a demanda energética no país irá aumentar um total de 3,6 % até 2022 (EPE,2014), principalmente impulsionada pelas grandes indústrias. Além disso, as perdas técnicas e as perdas comerciais são muito consideráveis.

Figura 1 - Perdas técnicas e comerciais do sistema elétrico brasileiro



Fonte: ABRADEE

Devido a tais fatores, um conceito de rede inteligente, denominada de *Smart Grid*, está sendo testada em pequena escala em algumas cidades do mundo. “A *Smart grid* permitirá a automação integrada e segura das redes, por meio de sistemas de medição, geração e armazenamento distribuídos de energia, de modo a permitir que a rede, através de análises e diagnósticos em tempo real, se reconfigure automaticamente para atender, de forma otimizada, às necessidades da sociedade e do sistema elétrico”.

O conceito inclui ainda o gerenciamento pelo lado da demanda que possibilita aos consumidores se beneficiarem de tarifas diferenciadas, que variam de acordo com o horário que a energia é utilizada, tal como já acontece com a telefonia. Bem entendido, para serem colocadas em prática, tais tarifas devem ser regulamentadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) ou autorizadas para utilização em projetos-piloto, em caráter experimental.

Ao adequar seu comportamento de consumo de energia aos horários de tarifas menores, o cliente poderá se beneficiar reduzindo seus gastos com energia. Tais benefícios podem ainda



ser obtidos através da interação com fontes de geração e armazenamento distribuídos de energia, conectadas diretamente na rede ou nas unidades consumidoras. Enfim, ganhos sinérgicos serão alcançados através de interações entre diferentes elementos do sistema elétrico tais como: medição, dispositivos de rede, fontes de geração e armazenamento de energia e carga. Isto se traduzirá na oferta de novas tarifas, produtos, serviços e canais de interação com o consumidor” (LIGHT,2014).

O princípio básico para existir uma rede *Smart Grid* é de justamente conseguir modelar todo o sistema elétrico em questão em um software, foco do presente trabalho.

Existem vários *softwares* que podem ser utilizados para a análise de uma rede de energia: softwares de transitórios magnéticos, análises de curtos, fluxos de potência, entre outros.

Nesse contexto, para esse trabalho, o *PSCAD/EMTDC* será utilizado, visando a criação de um modelo no qual futuras análises de qualidade de energia, fluxo de potência e falta, podem ser realizadas. O *PSCAD/EMTDC* é um software de transitórios eletromagnéticos.

## 1.1 Justificativa

O levantamento dos dados da rede elétrica requer equipamentos específicos e pessoas com treinamento adequado. Infelizmente, os equipamentos em questão não estão disponíveis para utilização, nem os alunos da Engenharia Elétrica da UFES recebem o treinamento para operá-los. Logo, os dados utilizados foram baseados no Projeto de Graduação do ex-aluno do curso de Engenharia Elétrica Engº Danilo Blank Padua (Padua, 2011).

No trabalho de (Padua, 2011), o autor em questão modela a rede elétrica estudada no *software SKM Power\*Tools for Windows* e, de acordo com ele, teve um funcionamento satisfatório (Padua, 2011).

O *PSCAD/EMTDC*, por se tratar de um *software* de transitórios eletromagnéticos, pode modelar e observar fenômenos de frequências diferentes da de 60 Hz, o que geralmente não é possível de se verificar em softwares de simulação de plantas elétricas. Tal característica permite ao *PSCAD/EMTDC* analisar fenômenos como afundamento da tensão na rede elétrica e suas

possíveis consequências nos geradores de baixa potência que serão simulados, ilhamento dos geradores (e o seu controle de tensão e frequência). Como consequência, com a planta montada em ambiente de simulação, é possível também estudar estratégias anti-ilhamentos (requisito do PRODIST), entre outros diversos estudos.

Como dito anteriormente, a tendência é que as redes *Smart Grids* sejam implementadas em um número maior de cidades ao redor do mundo. Os resultados obtidos no presente trabalho poderão vir a contribuir na análise de como e quão custosa a instalação de uma rede *Smart Grid* no Campus de Goiabeiras seria. Além disso, com a rede já montada em ambiente de simulação, novos tipos de geradores de baixa potência poderão ser testados e analisados. Há ainda de se ressaltar que os estudos de qualidade de energia feitos neste trabalho poderão ser utilizados para qualquer trabalho futuro do tema em questão.

## **1.2 Objetivo geral e objetivos específicos**

O objetivo principal do presente trabalho é o de implementar a rede elétrica de distribuição do campus de Goiabeiras da Universidade Federal do Espírito Santo no software *PSCAD/EMTDC* para futuras análises de qualidade de energia e viabilidade de alocação de geradores elétricos de baixa potência.

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Obter os dados da planta energética da UFES
- Aprender a utilizar as ferramentas necessárias do software *PSCAD/EMTDC*
- Averiguar o melhor modelo de carga para o projeto
- Simular as diferentes cargas do Campus de Goiabeiras da UFES (Carga leve, carga média e carga pesada)

## **1.3 Organização do texto**

O tópico 1 desse trabalho apresenta os motivos e objetivos para a realização do presente trabalho

O tópico 2 relaciona as características e parâmetros do sistema de distribuição de energia elétrica do Campus de Goiabeiras da UFES. Nele, os componentes do sistema estudado serão

abordados sendo eles: ponto de entrega do Campus de Goiabeiras, chave seccionadora, subestações de transformadores, linhas de distribuição de média tensão, transformadores de potência, cargas e banco de capacitores

No tópico 3 é relacionado ao software *PSCAD/ EMTDC*, onde é citado suas características e como cada elemento descrito no tópico 2 deve ser modelado de maneira correta. Em seguida, os resultados obtidos através das simulações do modelo desenvolvido são comparados aos dados medidos no sistema físico da rede de Distribuição da UFES e dos dados simulados em *SKM* (Padua, 2011).

No tópico 4 estão as conclusões do trabalho e recomendações para trabalhos futuros.

Por fim, estão os anexos, contendo os dados dos elementos presentes na rede, resultados das simulações do modelo e as validações do modelo em questão.

## ***2 REDE DE DISTRIBUIÇÃO DA UFES***

As redes de distribuição podem ser separadas em circuitos primários de média tensão (MT) ou circuitos secundários de baixa tensão (BT). As redes primárias são circuitos elétricos trifásicos, normalmente a três fios (a maioria dos transformadores é ligada em sistema delta no primário), provenientes das subestações de distribuição, que rebaixam as tensões de subtransmissão em tensões de distribuição primárias (2,3 kV até 34,5 kV), até os transformadores, que interligam os circuitos primários e secundários.

A legislação tem padronizado os níveis de tensão para 13,8 kV e 34,5 kV, embora os demais níveis existam e continuem operando normalmente.

A Figura 2 apresenta a Planta Baixa da Rede de Distribuição da UFES.

Ela é mais detalhada no Anexo A.

Seu diagrama unifilar encontra-se no Anexo B.

Figura 2 - Planta Baixa da Rede de Distribuição da UFES



Fonte: Padua, 2011

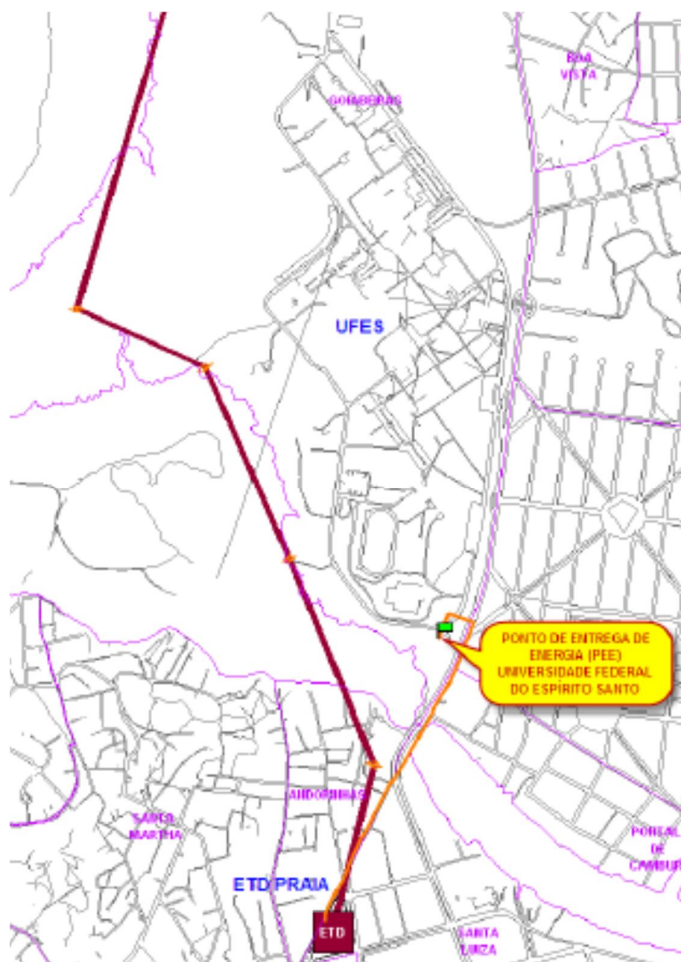
## 2.1 Ponto de Entrega

A EDP ESCELSA fornece energia elétrica ao campus da UFES Goiabeiras com tensão de 34,5 kV. No ponto de entrega, há um transformador abaixador (T01), cuja tensão no ramal primário é de 34,5 kV, e 11,4kV em seu ramal secundário. Os dados de T01 encontram-se na Tabela 1. O ponto de entrega da UFES é mostrado na Figura 3.

Tabela 1 - Dados do T01

ID	$S_{nom}$ (MVA)	$Z_{cc}$ (%)	$I_{mag}$ (%)	Tap(%)	$Z_{eq}$ (pu)
T01	5	6,21	1,0041	-5	$0,0051571 + 0,06189i$

Figura 3 - Ponto de Entrega do Campus de Goiabeiras da UFES



Fonte: Padua, 2011

## 2.2 Subestações de transformadores

Uma subestação é um conjunto de equipamentos de manobra e/ou transformação e ainda eventualmente de compensação de reativos usado para dirigir o fluxo de energia em um sistema

de potência e possibilitar a sua diversificação através de rotas alternativas, possuindo dispositivos de proteção capazes de detectar os diferentes tipos de faltas que ocorrem no sistema e de isolar os trechos onde estas faltas ocorrem (CEFET/RJ, 1999).

Elas podem ser classificadas quanto à função do sistema (subestação transformadora, seccionadora, de manobra ou de chaveamento) e quanto ao modo de instalação do equipamento perante o meio ambiente (externa ou ao tempo e interna ou abrigada). Elas podem ser construídas em alvenaria ou invólucro metálico (Padua, 2011).

Os principais equipamentos presentes nas subestações são: transformadores, condutores, chaves seccionadoras, isoladores e muflas, e seus aparelhos consistem de disjuntores, fusíveis e chaves gerais.

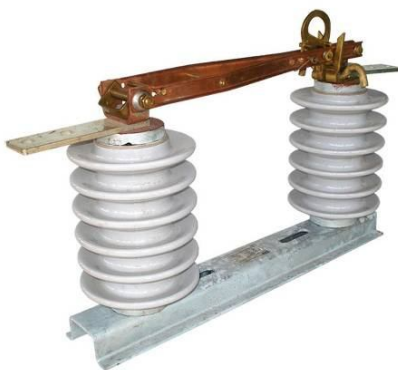
No total, há 13 subestações abrigadas no Campus de Goiabeiras, sendo que todas são alimentadas por ramal de entrada subterrâneo.

### **2.3 Chave seccionadora**

É utilizado para desligar e manobrar a rede permitindo que determinados trechos sejam desligados. Um exemplo de chave seccionadora é ilustrada na Figura 4.

O sistema elétrico do Campus de Goiabeiras possui 6 pontos de seccionamento, localizadas nos postes P03, P06, P22, P48, P68 e P86, que permitem o sistema de distribuição alterar de configuração, além de isolar trechos, caso seja necessário. Atualmente, a chave do poste P48 está aberta, deixando o sistema em uma configuração radial dupla.

Figura 4 - Chave seccionadora



Fonte: IFCE

## 2.4 Linhas de Distribuição de Média Tensão

### 2.4.1 Conceito

Os componentes da rede de distribuição da UFES são interligados através de cabos de média tensão, podendo esses ser aéreos ou subterrâneos. O Anexo C contém informações a respeito dos pontos interligados pelas linhas, o comprimento, o material e a bitola do condutor utilizado em cada trecho.

### 2.4.2 Linhas aéreas

#### 2.4.2.1 Composição

Estão presentes nas linhas aéreas da UFES condutores de alumínio e de cobre.

Os cabos de alumínio (ASC – *Alluminum Stranded Conductor*) são formados integralmente por fios de alumínio encordados concêntricamente (Padua, 2011). Há apenas 1 condutor por fase. Suas características podem ser encontradas na Tabela 2.



Tabela 2 - Características dos condutores de alumínio

Bitola do condutor (AWG)	Diâmetro externo (cm)	RMG(cm)	Resistência do condutor [60hz, 50°C] ( $\Omega$ /fase/km)	Ampacidade (A)
1/0	0,93472	0,33924	0,60461	242
2	0,74168	0,26914	0,96315	180
4	0,58928	0,21336	1,52861	134

Fonte: Padua, 2011

Os cabos de cobre presentes no sistema elétrico da UFES são constituídos de apenas por fios de cobre, encordados concentricamente com 7 fios (Padua, 2011). Seus dados são encontrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Características dos condutores de cobre

Bitola do condutor ( $mm^2$ )	Diâmetro externo (cm)	RMG (cm)	Resistência do condutor[60hz,50°C] ( $\Omega$ /fase/km)	Ampacidade (A)
35	0,74168	0,26914	0,59902	230
10	0,36652	0,14265	1,87038	110

Fonte: Pádua, 2011

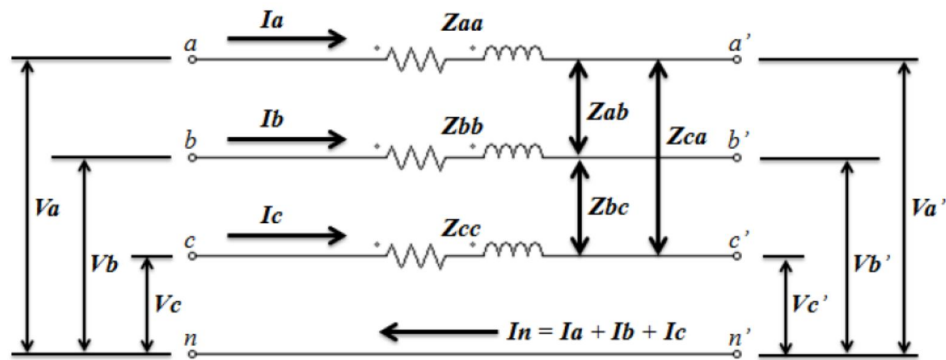
Além dos condutores, outros parâmetros que também caracterizam as linhas aéreas são as características físicas, como a diferença dos condutores de fases diferentes. No presente trabalho, esses parâmetros não foram necessários, pois por serem linhas muito curtas (menos de 15 km de comprimento), uma representação simplificada foi suficiente.

Caso seja do interesse do leitor, no trabalho do Danilo Pádua (Padua, 2011) encontram-se todas as características físicas das linhas.

#### 2.4.2.2 Parâmetros das linhas aéreas

Uma linha aérea que não sofre transposições e não possui seus condutores igualmente espaçados, pode ser representada como é mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Circuito Equivalente da impedância série de uma linha trifásica



Fonte: Padua, 2011

 $Z_{aa}, Z_{bb}, Z_{cc}$  : impedâncias próprias $Z_{ab}, Z_{bc}, Z_{ca}$  : impedâncias mútuas

$$[Z_{abc}] = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \quad [\Omega/\text{km}]$$

Para calcular as impedâncias de sequência zero, positiva e negativa, tem-se que:

$$[Z_{012}] \triangleq [A]^{-1}[Z_{abc}][A] \quad [\Omega/\text{km}]$$

Onde

$$[A] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

$$a = 1 \angle 120^\circ$$

Logo:

$$[Z_{012}] = \begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \quad [\Omega/\text{km}]$$

 $Z_0 = Z_{00}$ : impedância de sequência zero  $[\Omega/\text{km}]$  $Z_1 = Z_{11}$ : impedância de sequência positiva  $[\Omega/\text{km}]$  $Z_2 = Z_{22}$ : impedância de sequência negativa  $[\Omega/\text{km}]$

A matriz de capacitância de sequência será:

$$[C_{012}] = \begin{bmatrix} C_{00} & C_{01} & C_{02} \\ C_{10} & C_{11} & C_{12} \\ C_{20} & C_{21} & C_{22} \end{bmatrix} \quad [\text{F/m}]$$

$C_0 = C_{00}$ : capacitância de sequência zero [F/m];

$C_1 = C_{11}$ : capacitância de sequência positiva [F/m];

$C_2 = C_{22}$ : capacitância de sequência negativa [F/m];

Considerando as características físicas e elétricas das linhas aéreas e realizando os cálculos supracitados, obtém-se os dados apresentados na Tabela 4 (Padua, 2011):

Tabela 4 - Parâmetros das linhas de distribuição aéreas

Condutor	Estrutura da Cruzeta	Impedância de Sequência		Capacitância de Sequência	
		$Z_0 [\Omega/\text{km}]$	$Z_1 [\Omega/\text{km}]$	$C_0 [\text{nF/m}]$	$C_1 [\text{nF/m}]$
ASC 1/0 AWG	N1, N2	0,78224+1,91156i	0,60461+0,4496i	0,00413	0,01000
ASC 1/0 AWG	N3, N4	0,78224+1,91154i	0,60461+0,44966i	0,00412	0,00992
ASC 1/0 AWG	M1, M2, M4	0,78224+1,97266i	0,60461+0,419i	0,00390	0,0170
ASC 2 AWG	N1, N2	1,14078+1,9291i	0,96315+0,46705i	0,00406	0,00960
ASC 4 AWG	N1, N2	1,70624+1,9466i	1,52861+0,48456i	0,00399	0,00923
ASC 4 AWG	N4	1,70624+1,94649i	1,52861+0,48461i	0,00399	0,00916
ASC 4 AWG	M1	1,70624+2,00761i	1,52861+0,45405i	0,00377	0,00982
CU 35 $\text{mm}^2$	B1, B2, M1, M2, M4	0,77665+1,99011i	0,59902+0,43655i	0,00383	0,01024
CU 10 $\text{mm}^2$	N1, N2	2,04801+1,97695i	1,87038+0,5149i	0,00386	0,00854
CU 10 $\text{mm}^2$	M1, M2, M4	2,04801+2,03795i	1,87038+0,4844i	0,00365	0,00905

Fonte: Padua, 2011

Para um maior detalhamento a respeito de como os dados na Tabela 4 foram obtidos, o leitor deve consultar (Padua, 2011). Os parâmetros das linhas são apresentados no apêndice D. Vale observar que o formato de dados que devem ser inseridos no *PSCAD* não é exatamente como

os apresentados na Tabela 4. Para ser mais específico, o software pede como parâmetro de entrada a reatância capacitiva, ao invés da capacitância. Para tal, basta utilizar a equação:

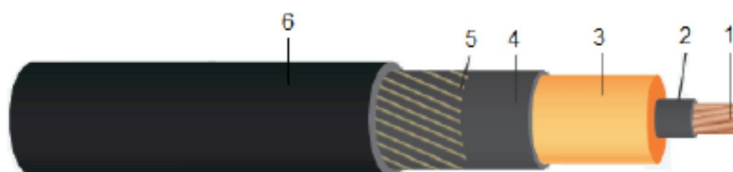
$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} \quad (1)$$

A tabela do apêndice D já apresenta os dados prontos para serem inseridos no *PSCAD*.

### 2.4.3 Linhas subterrâneas

A rede subterrânea da UFES possui apenas um condutor por fase. O núcleo do cabo é constituído por um condutor de cobre de  $35 \text{ mm}^2$  (1), encoberto por uma blindagem (fita semicondutora) (2). Uma camada isolante de borracha etilenopropeno (EPR) reveste a blindagem (3), garantindo isolamento elétrico. Recobrindo a isolação, há a blindagem de isolação (4), que objetiva corrigir o campo elétrico sobre a superfície de isolação. Para garantir o escoamento das correntes de falta para a terra, um conjunto de fios de cobre (blindagem metálica) é aplicada sobre a blindagem de isolação (5). Encobrindo a blindagem metálica, há uma capa externa de PVC (6), para garantir proteção mecânica. A Figura 6 representa um cabo subterrâneo de média tensão. As características dos cabos de cobre subterrâneos são encontrados na Tabela 5.

Figura 6 - Vista interna de um cabo isolado de média tensão



Fonte: Padua, 2011

Tabela 5 - Características de cabos subterrâneos de cobre isolado

Bitola do condutor ( $\text{mm}^2$ )	Diâmetro do condutor (cm)	Diâmetro externo (cm)	Espessura de isolação (cm)	DMG (cm)	RMG (cm)	Resistência do confutor [60hz, 50°C] ( $\Omega/\text{fase/km}$ )	Ampacidade (A)
35	0,69000	2,40000	0,45000	2,4	0,26924	0,58762	151

Os Anexos C e D apresentam os dados e os parâmetros das linhas presentes na rede de distribuição do Campus de Goiabeiras da UFES.

## **2.5 Transformadores de potência**

### **2.5.1 Conceito**

“Essencialmente, um transformador consiste em dois ou mais enrolamentos acoplados por meio de um fluxo magnético comum. Se um desses enrolamentos, o primário, for conectado a uma fonte de tensão alternada, então será produzido um fluxo alternado cuja amplitude dependerá da tensão do primário, da frequência da tensão aplicada e do número de espiras. O fluxo comum estabelece um enlace com o outro enrolamento, o secundário, induzindo neste uma tensão cujo valor depende do número de espiras do secundário, assim como da magnitude do fluxo comum e da frequência. Ao se estabelecer uma proporção adequada entre os números de espiras do primário e do secundário, praticamente qualquer relação de tensões ou relação de transformação, pode ser obtida” (Fitzgerald, 2006).

“As diferenças de um transformador real em relação a um ideal devem ser incluídas em grau maior ou menor na maioria das análises de desempenho dos transformadores. Um modelo mais completo deve levar em consideração os efeitos das resistências dos enrolamentos, os fluxos dispersos e as correntes finitas de excitação devidas à permeabilidade finita (não linear) do núcleo. Em alguns casos, as capacitâncias dos enrolamentos também têm efeitos importantes, notavelmente em problemas que envolvem o comportamento do transformador em frequências acima da faixa de áudio ou durante condições transitórias com variações muito rápidas, como as encontradas em transformadores de sistemas de potência, resultantes de surtos de tensão causados por raios ou transitórios de chaveamento” (Fitzgerald, 2006).

### **2.5.2 Características dos transformadores da UFES**

A rede de Distribuição da UFES é composta por 64 transformadores de potência trifásicos abaixadores. De acordo com (Padua, 2011), há transformadores com a configuração  $\Delta - Y$ , com o secundário aterrado e  $Y - Y$ , com o secundário aterrado. Entretanto, ele não especifica quais transformadores estão com cada ligação. Logo, uma consulta ao trabalho de um outro engenheiro (Dos Santos, 2012) foi realizada, visto que também estava presente nas medições.

No trabalho do Vinícius existem catálogos dos variados transformadores presentes na UFES, e sua ligação do primário e secundário. Neles, apenas a ligação  $\Delta - Y$  com secundário aterrado foi citada. Logo, essa foi a adotada para todos os transformadores presentes no sistema de distribuição da UFES.

Todos os transformadores são isolados por meio da imersão de seu núcleo e enrolamentos em óleo mineral isolante (tipo “óleo natural” - ONAN) (Mamede,2010). A respeito do resfriamento, ele se dá através da circulação interna natural desse óleo, transferindo o calor gerado pelas partes internas para as paredes, sendo essas resfriadas através da circulação externa do ar. Vale ressaltar que alguns dos transformadores em questão encontram-se defeituosos ou inoperantes.

Os transformadores estão divididos da maneira que se segue:

- 22 transformadores em subestações abrigadas, com potências nominais de 5000, 500, 300, 225 e 150 kVA;
- 37 transformadores em subestações ao tempo, fixados em postes, com potências nominais de 300, 225, 150, 112,5, 75, 45 e 30 kVA;
- 5 transformadores em subestações ao tempo, fixados em postes, com potências nominais desconhecidas.

O Anexo E apresenta as características gerais dos transformadores localizados no Campus de Goiabeiras, enquanto que o Anexo F apresenta seus dados de placa. Vale observar que alguns transformadores não foram considerados na simulação realizada pelo autor, por diversos motivos (Padua, 2011).

## **2.6 Cargas**

### **2.6.1 Conceito**

Para diferentes tipos de cargas, utiliza-se diferentes modelagens, a fim de se calcular o carregamento de alimentadores (amplitude da corrente) e as quedas de tensão de um determinado circuito para verificar se os limites mínimos e máximos de tensão atendem às normas, além dos níveis de perdas do circuito (Encarnação, 2013).

Os modelos possíveis para carga são: potência constante com a tensão (ex: motores elétricos de indução), impedância constante com a tensão (ex: bancos de capacitores) e corrente constante com a tensão (ex: lâmpadas fluorescentes). Há ainda cargas que são o conjunto dos modelos supracitados. Para tais cargas, pode-se afirmar que:

$$P = P_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^a \quad (2)$$

$$Q = Q_0 \left(\frac{V}{V_0}\right)^b \quad (3)$$

Onde  $P_0$ ,  $Q_0$  e  $V_0$  são os valores nominais da carga ativa e reativa e da tensão, enquanto que  $P$  e  $Q$  são os valores dessas cargas para a tensão  $V$ .

Caso

- Expoente = 0: modelo de potência constante
- Expoente = 1: modelo de corrente constante
- Expoente = 2: modelo de impedância constante

## **2.6.2 Medição das cargas dos transformadores**

### **2.6.2.1 Equipamentos utilizados**

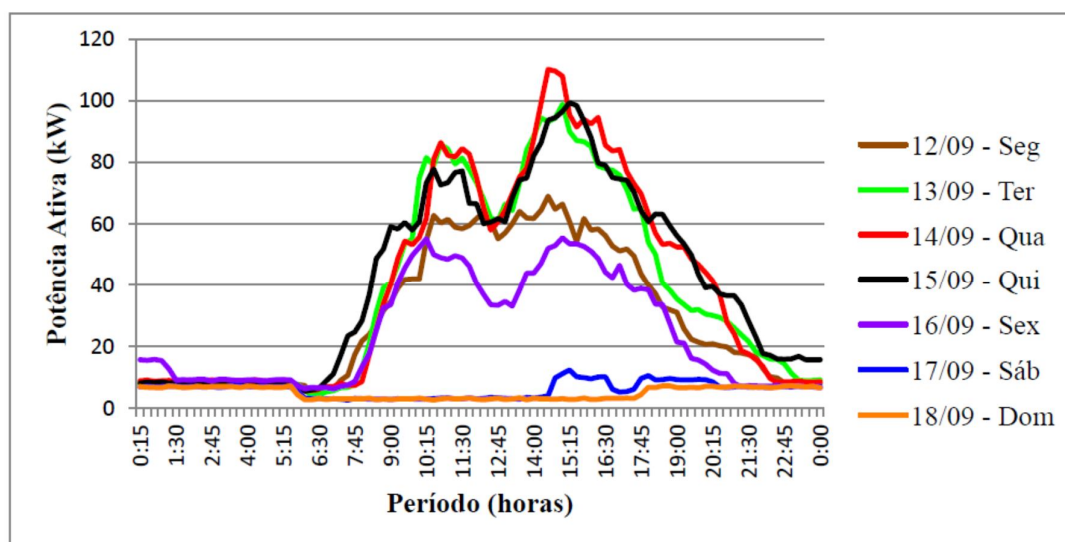
As medições dos transformadores foi efetuada por uma equipe técnica especializada da PUn e uma equipe especializada da EDP ESCELSA. Ambas utilizaram equipamentos da EDP ESCELSA. Os equipamentos utilizados foram os medidores SAGA 4500, da Landis+Gyr (medição de transformadores em postes), o RE6000, da Embrasul (medição de transformadores em subestações abrigadas), o ELO.2113, da ELO (medição na agência da Caixa Econômica Federal) e o ELO.2180, da ELO (medição do T01) (Padua,2011).

### **2.6.2.2 Períodos de medições**

As medições foram realizadas em um período aproximadamente de 2 meses, sendo que a primeira medição ocorreu no dia 2 de Setembro de 2011 e a última no dia 8 de Novembro de 2011, com um tempo médio de 1 semana de medição dos dados de carga de cada transformador. Devido ao número limitado de equipamentos e equipes técnicas, os transformadores foram medidos em períodos diferentes. O período de medições e o equipamento utilizado para realizar as medições em cada transformador estão disponíveis no Projeto de Graduação do Danilo (Padua, 2011)

Cada conjunto de dados gerou um arquivo digital, os quais foram analisados e organizados em tabelas de EXCEL. Em seguida, as curvas de carga (potência ativa e reativa) foram geradas. Tais curvas são similares a que está na Figura 7:

Figura 7 - Curva de carga do T08

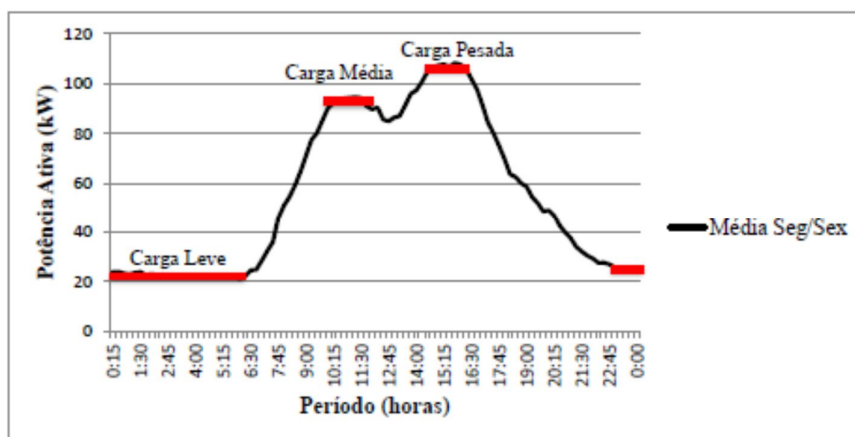


Fonte: Padua, 2011

A partir dessa curva diária, uma curva de carga média semanal foi determinada, levando em consideração apenas os dias úteis da semana (Padua, 2011). Um exemplo de curva média semanal está mostrada na Figura 8.



Figura 8 - Curva semanal determinada para o T36



Fonte: Padua, 2011

Todas as curvas diárias e curvas médias semanais determinadas podem ser encontradas em (Padua, 2011) bem como em (Dos Santos, 2012).

Todas as curvas médias de cargas (Pádua, 2011) foram analisadas e concluiu-se que elas podem ser divididas em 3 períodos: carga leve (22:30-5:30), carga média (9:45-11:45) e carga pesada (14:00-16:00).

“Para cada um desses períodos, foi calculada a média dos pontos da curva média de carga de potência ativa e reativa” (Padua, 2011). Essa média foi a utilizada na simulação.

Uma tabela com a média das potências ativas e reativas, para os períodos de carga leve, média e pesada estão disponível no Anexo G.

## 2.7 Banco de capacitores

Os capacitores podem ser instalados em paralelo em qualquer carga com baixo fator de potência, a fim de suprir a energia reativa indutiva exigida por essa carga, que pode ser um simples motor ou uma grande indústria. Um exemplo de capacitor pode ser encontrado na Figura 9.

Estes capacitores podem ser instalados na entrada ou então perto das cargas individuais, reduzindo as perdas e aumentando a capacidade disponível do sistema, bem como melhorando o nível de tensão.

Muitos fatores influenciam na escolha da localização dos capacitores, tais como os circuitos da instalação, seu comprimento, as variações da carga, tipos de motores e distribuição das cargas. De forma geral, os capacitores ou bancos de capacitores podem estar localizados:

- ponto de entrega de energia (PEE)
- no secundário do transformador
- no quadro de distribuição de agrupamentos de cargas
- junto à carga

Eles devem ser instalados o mais perto possível das cargas, de forma a:

- reduzir as perdas nos circuitos, entre as cargas e o ponto de medição,
- melhorar o nível de tensão junto à carga (devido a redução da queda de tensão nos alimentadores)
- melhorar o aproveitamento da potência dos transformadores (CEFET/RJ, 2000).

Figura 9 - Capacitores de média tensão



Fonte: SHREEM AMERICA

A rede elétrica da UFES conta com a presença de um banco trifásico de capacitores, de potência reativa nominal de 25 kVar por fase e tensão de linha nominal de 11,4 kV (Padua, 2011).

### 3 PSCAD/EMTDC

*PSCAD/EMTDC* é uma ferramenta de simulação poderosa para análise de sistemas, principalmente os elétricos de potência. É considerado o mais apropriado para respostas instantâneas no domínio do tempo (transitórios).

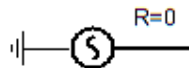
O *PSCAD* é a interface gráfica do usuário, enquanto que o *EMTDC* é o *software* de simulação.

#### 3.1 Modelagem do sistema elétrico no *PSCAD*

##### 3.1.1 Fonte de tensão

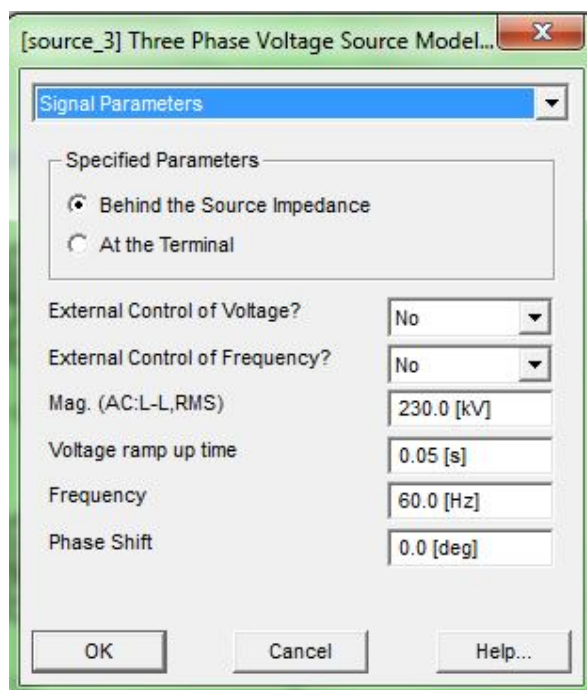
O *PSCAD* oferece várias componentes que representam as diferentes fontes de tensão possíveis. No trabalho em questão, a fonte de tensão que alimenta o Campus de Goiabeiras da UFES será considerada como uma fonte de tensão ideal, representada na Figura 10.

Figura 10 - Representação de fonte de tensão no PSCAD



Os parâmetros a serem inseridos da fonte estão representados na Figura 11. Nota-se que há duas opções de escolha: “*behind the source impedance*” e “*at the terminal*”.

Figura 11 - Parâmetros de modelagem de uma fonte de tensão no PSCAD



Utilizando o *help* do componente, descobriu-se que a opção “*behind the source impedance*” é a qual o usuário irá entrar com os parâmetros da fonte, enquanto que a opção “*at the terminal*” o usuário irá inserir os parâmetros do terminal. No trabalho em questão, analisa-se a tensão do ponto de entrega, não a fonte geradora em si. Assim sendo, a opção “*at the terminal*” foi a escolhida.

### 3.1.2 Linhas de Distribuição aéreas

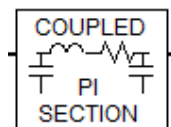
Como foi dito anteriormente, a utilização do modelo de linha se deve, basicamente, ao comprimento da mesma. O *PSCAD* contém ferramentas muito poderosas para a modelagem das linhas através dos parâmetros construtivos das mesmas, o que é extremamente eficiente e útil, principalmente quando se trata de linhas longas.

Porém, vale ressaltar que no sistema de distribuição da UFES, as linhas são da ordem de dezenas de metros, sendo apenas algumas, centenas de metros, como pode ser visto no apêndice D. Considerando o que foi dito no tópico 4.6 desse mesmo trabalho, conclui-se que a modelagem mais apropriada para as linhas de distribuição aéreas seria a modelagem de linhas curtas, na qual as capacitâncias podem ser desconsideradas.

Porém, vale ressaltar que esse projeto servirá de base para estudos futuros em que se analisará os transitórios das tensões e a qualidade de energia do SEP. Assim sendo, o modelo pi equivalente será adotado. O próprio *PSCAD* recomenda a utilização do modelo pi para linhas com comprimento inferiores a 15 km. A representação da linha está na Figura 12, e os parâmetros que são inseridos estão ilustrados na Figura 13.

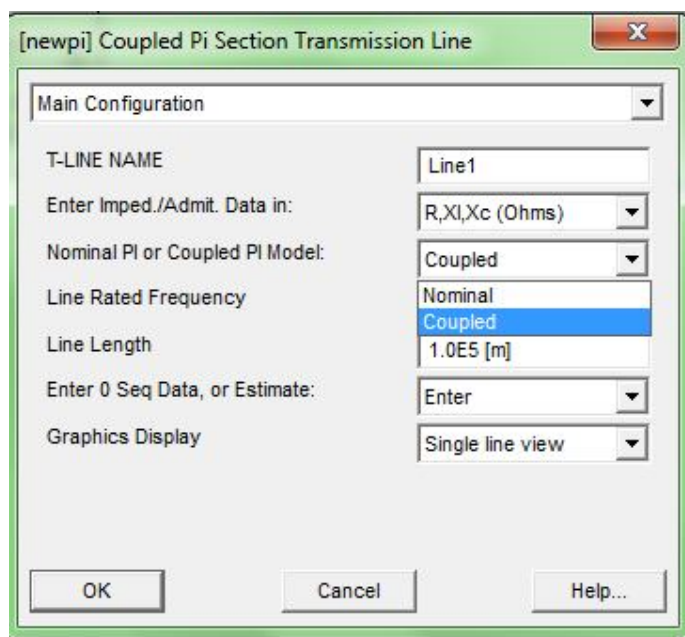
Apenas para o critério de cautela, simulou-se no *PSCAD* uma linha do SEP do Campus de Goiabeiras da UFES a partir de seus dados estruturais (utilizando as ferramentas “*transmission lines*”) e comparou-se com a mesma linha, dessa vez simulada pelo modelo pi. A diferença entre eles se dá na quarta casa decimal, e é significativamente menos trabalhosa de ser implementada.

Figura 12 - Representação de uma linha modelo pi no *PSCAD*



Quando se aplica uma linha pi no *PSCAD*, deve-se colocar o nome da mesma, o modo de entrada dos parâmetros, o tipo do modelo pi (nominal ou *Coupled*) e o comprimento da linha.

Figura 13 - Parâmetros de modelagem de uma linha modelo pi no PSCAD



A respeito do modelo da linha pi, o *PSCAD* ressalva que sempre que possível, deve-se utilizar a opção *Coupled*, pois essa opção faz a modelagem dos efeitos da sequência zero de maneira automática, não necessitando ao usuário verificar se a sequência zero está aterrada.

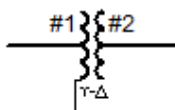
### 3.1.3 Linhas de distribuição subterrâneas

Assim como foi feito na simulação em *SKM* (Padua, 2011), as linhas subterrâneas foram simuladas igualmente às linhas aéreas, porém com seus parâmetros elétricos distintos.

### 3.1.4 Transformadores

O *PSCAD* disponibiliza ao usuário componentes que representam o transformador trifásico. A representação está ilustrada na Figura 14 e os parâmetros a serem inseridos estão mostrados na Figura 15.

Figura 14 - Representação de um transformador no PSCAD



Cabe ao usuário inserir os parâmetros Potência nominal, frequência base de operação, tipos de ligação dos terminais primário e secundário, reatância de sequência positiva, perdas sem carga, perda no cobre e tap.

Figura 15 - Parâmetros de simulação de um transformador no PSCAD

The screenshot shows the 'Configuration' window for a '3 Phase 2 Winding Transformer' in PSCAD. The parameters are as follows:

Parameter	Value
Transformer Name	T1
3 Phase Transformer MVA	100.0 [MVA]
Base operation frequency	60.0 [Hz]
Winding #1 Type	Y
Winding #2 Type	Delta
Delta Lags or Leads Y	Lags
Positive sequence leakage reactance	0.1 [pu]
Ideal Transformer Model	No
No load losses	0.0 [pu]
Copper losses	0.0 [pu]
Tap changer on winding	None
Graphics Display	Single line (windings)
Display Details?	No

Buttons at the bottom: OK, Cancel, Help...

Caso tenha tap, uma opção irá aparecer conectando o transformador a um ponto em vazio no esquemático. Basta colocar um sinal de valor real conectado a essa linha para se escolher o tap do transformador em questão.

### 3.1.5 Cargas

As cargas foram modeladas como sendo de potência constante. A primeiro momento, acreditou-se que não existia um componente único que poderia simular tal carga. Porém, através de buscas na internet, encontrou-se um trabalho (Almada, 2010) no qual o autor modelava cargas de potência constante utilizando um componente disponível no *PSCAD*, denominado “*fixed load*”.

A representação dessa carga está na Figura 16 e os parâmetros a serem inseridos são mostrados na Figura 17.

Figura 16 - Representação da carga *Fixed Load* no PSCAD



Fixed Load

Os parâmetros que devem ser preenchidos são: potência ativa de fase (P), potência reativa de fase (Q), tensão nominal de fase (V), variação de P por V (NP), variação de Q por V (NQ), variação de P por f ( $K_{PF}$ ), variação de Q por f ( $K_{QF}$ ) e a frequência fundamental.

Figura 17 - Parâmetros de simulação para uma carga *Fixed Load* no PSCAD

[fixed_load] Fixed Load	
Parameters	
Rated Real Power per phase	100 [MW]
Rated Reactive Power(+inductive) per phase	25 [MVAR]
Rated Load Voltage (rms L-G)	230 [kV]
Volt Index for Power (dP/dV)	2
Volt Index for Q (dQ/dV)	2
Freq Index for Power (dP/dF)	0
Freq Index for Q (dQ/dF)	0
Fundamental Frequency	60 [Hz]
Display details?	No
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/> <input type="button" value="Help..."/>	

Para entender melhor como o *software* realiza os cálculos desse componente, foi realizado um estudo no manual para se obter mais detalhes a respeito do modelo.



$$P = P_0 \left( \frac{V}{V_0} \right)^{NP} \cdot (1 + K_{PF} \cdot dF) \quad (4)$$

$$Q = Q_0 \left( \frac{V}{V_0} \right)^{NQ} \cdot (1 + K_{QF} \cdot dF) \quad (5)$$

Comparando com as equações (2) e (3) com as (4) e (5), quando  $NP=0$  e  $NQ=0$ , o modelo em questão é o de potência constante.

Para a representação do banco de capacitores,  $NP = NQ = 2$ , pois um banco de capacitores é representado como carga de impedância constante.

O banco de capacitores dos sistema elétrico da UFES encontra-se entre as linhas L72 e L73.

### 3.1.6 Medidores

Para realizar as medições, o *PSCAD* oferece um medidor denominado de “*multimeter*”. Sua representação está ilustrada na Figura 18 e seus parâmetros são mostrados na Figura 19.

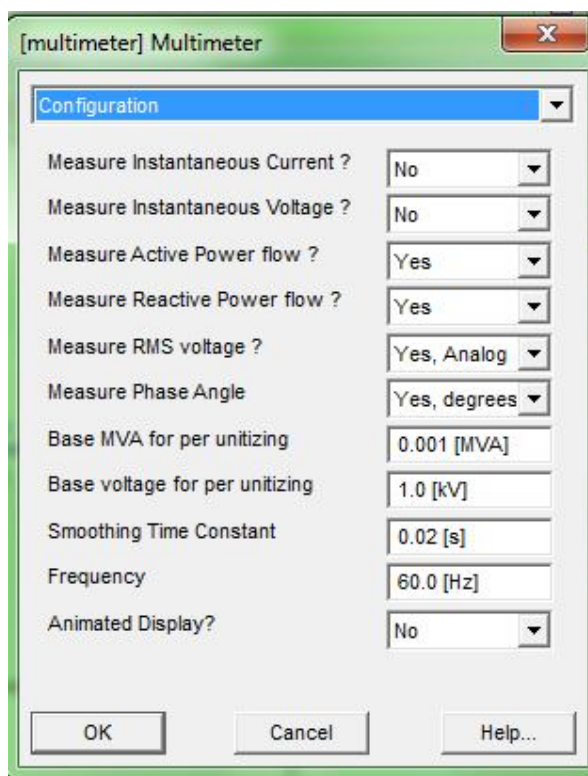
Figura 18 - Representação de medidores no *PSCAD*



Após inserir o medidor na parte do circuito desejada, deve-se escolher quais sinais irão ser medidos, a base para a potência medida, a base para a tensão medida, o período de medição e a frequência. Após escolher o que será medido, deve-se inserir um nome para as medições (chamadas pelo programa de “*signal name*”).

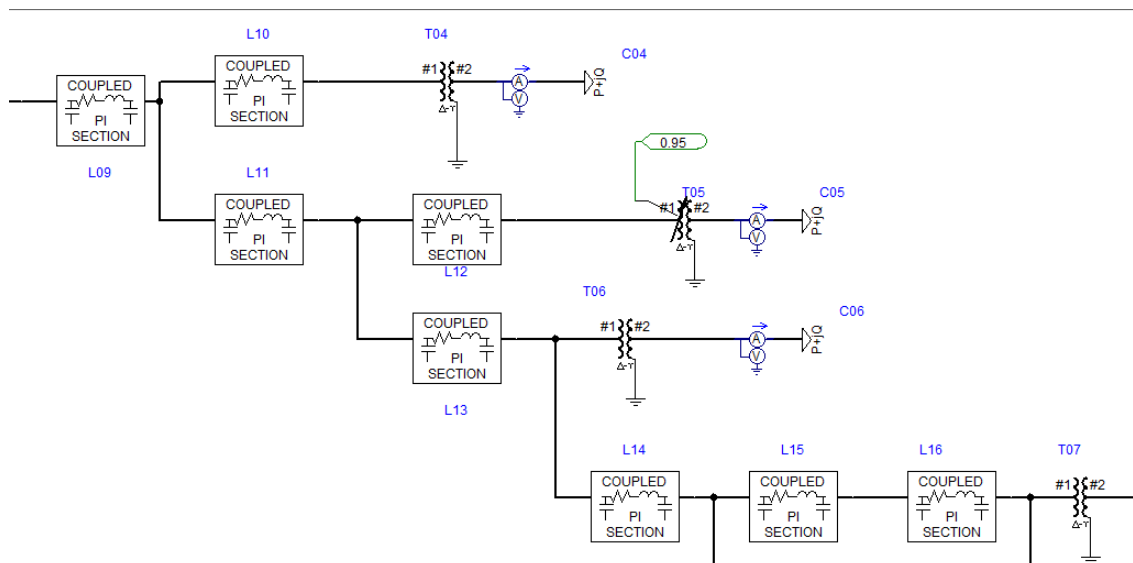
Para visualizar as medições, deve-se inserir um “*signal name*” no projeto e conectá-lo a um “*output channel*” (está representado na figura 18 como sendo o componente conectado ao “*signal name*”)

Figura 19 - Parâmetros de simulação de medidores no PSCAD



O modelo completo criado no PSCAD é de um tamanho demasiadamente grande para poder ser totalmente apresentado nesse trabalho. Entretanto, parte do modelo está representado na Figura 20.

Figura 20 - Parte do modelo criado no PSCAD



## 3.2 Validação do modelo

A fim de se validar o modelo criado no ambiente *PSCAD*, comparou-se P e Q obtidos pela simulação no *PSCAD/EMTDC* com os dados que foram coletados. Além disso, também se comparou V e ângulo( $\theta$ ) obtidos pelo *software PSCAD/EMTDC*, realizado pelo autor desse trabalho, com os dados obtidos em (Padua, 2011), que utilizou o *software SKM*.

Para o cálculo do desvio, a fórmula implementada foi:

$$Desvio(\%) = \left( \frac{valor\ real - valor\ calculado}{valor\ real} \right) * 100 \quad (6)$$

### 3.2.1 Comparação da simulação *PSCAD* com os valores medidos

Os valores das potências ativa e reativa obtidos através da simulação do modelo no *software PSCAD/EMTDC* foi comparado aos dados obtidos através da medição em campo realizada na UFES (Padua, 2011).

Os valores medidos podem ser encontrados no apêndice G.

#### 3.2.1.1 Carga leve

Para o período de carga leve, observou-se um desvio maior que 1000% para a potência ativa e para a potência reativa em algumas cargas quando comparadas às potências medidas pelos medidores reais.

As cargas C04, C07, C16, C25, C28, C32, C43, C46, C52, C53, C61 e C64 apresentaram tais desvios, enquanto que todas as outras cargas apresentaram desvios de ordem de 0,01%.

Como foi observado no tópico 3.1.5, o modelo *Fixed Load* possui uma limitação. Sua resposta não linear só é possível em  $\pm 20\%$  da tensão nominal e  $\pm DF\%$ , onde DF é definido como o mínimo de 10,  $\frac{90}{K_{PF}}$  e  $\frac{90}{K_{QF}}$ . Como a frequência não se altera, suspeitou-se que a variação da tensão nessas cargas estaria sendo responsável pelos dados incongruentes.

Dessa maneira, as cargas problemáticas foram simuladas de maneira isolada, e as tensões de fornecimento foram variadas em  $\pm 10\%$  (uma margem dentro dos limites de tensão).

Os resultados encontrados apontaram que a variação da tensão não é a responsável pelos resultados incongruentes.

O próximo passo foi comparar as cargas com resultados coerentes com as cargas problemáticas. Foi averiguado que as cargas problemáticas possuíam valores muito baixos de Q e/ou P (abaixo de 0,0001 Mvar ou MW). Assim sendo, a hipótese de que valores muito baixos poderiam causar problemas na representação das cargas foi levantada.

Para averiguar tal situação, a carga C02, que gerou resultados coerentes, foi simulada à parte, em duas simulações distintas: com P zerada e Q inalterada na primeira simulação, e P inalterada e Q zerada na segunda simulação. Os resultados obtidos foram congruentes com os especificados, ou seja, o software convergiu quando P ou Q são zerados.

Outra hipótese levantada seria a de que caso valores muito próximos de zero pudessem ocasionar algum problema de cálculo. Novamente, a carga C02 foi simulada à parte por duas vezes, similar ao procedimento anterior, com a única diferença de que, ao invés de inserir os valores de P e Q como nulo, o valor inserido foi muito baixo (na ordem de 0,00001). Os resultados apontaram P e Q bem diferentes comparados aos obtidos quando P e Q foram zerados. Ou seja, há uma limitação no cálculo quando valores muito próximos à zero são inseridos.

Alguns testes foram realizados e os resultados apontam que, para valores abaixo de 0,00001, há erros de cálculos substanciais. Logo, para solucionar o problema das cargas C04, C07, C16, C25, C28, C32, C43, C46, C52, C53, C61 e C64, os valores de P e Q que forem muito pequenos (iguais ou menores que de 0,0001) foram zerados.

Os resultados obtidos para P e Q e a comparação com os resultados medidos estão no Anexo H.

Os resultados obtidos após tal consideração apontaram um erro percentual máximo de 0,29346% (C46) para P e de 0,2468 % para Q (C14), confirmando então o circuito implementado.

#### **3.2.1.2 Carga média**

Os valores obtidos da simulação e sua comparação com os valores medidos encontram-se no Anexo I.

Para a situação de carga média, os valores medidos não estão abaixo da precisão supracitada. Sendo assim, nenhum erro de cálculo por parte da precisão do software ocorreu. Os resultados mostram que o modelo condiz com o modelo real do sistema de distribuição da UFES, visto que a grande maioria das cargas possuem um erro percentual em sua casa centesimal. O erro máximo percentual para P foi de -0,15694 % (C31) e 0,313653 % para Q (C64).

#### **3.2.1.3 Carga pesada**

Os valores obtidos da simulação e sua comparação com os valores medidos encontram-se no Anexo J.

Similar a situação de carga média, para a situação de carga pesada o nível de precisão do software não foi responsável por erros de cálculo, visto que os valores das potências das cargas em questão estavam bem acima dele.

Pode-se afirmar que o sistema é condizente com o real, visto que o erro máximo percentual para P foi de 0,818611 % (C41) e -0,16486 % (C46), e a grande maioria das outras cargas apresentaram erros em suas casas centesimais.

### **3.2.2 Comparação da simulação *PSCAD* com os *SKM* (Padua, 2011)**

Os valores de  $V$  e  $\theta$  encontrados utilizando o *software SKM* (Padua, 2011), encontram-se no Anexo K.

Os valores obtidos para a tensão e os ângulos de carga foram comparados aos obtidos pela simulação realizada utilizando o *software SKM*.

#### **3.2.2.1 Carga Leve**

Os valores obtidos da simulação e sua comparação com os valores medidos encontram-se no Anexo L.

Analisando os valores obtidos pela simulação *PSCAD/EMTDC* e os obtidos pelo *SKM*, as tensões obtidas são, em sua ampla maioria, bem condizentes, visto que a maioria dos erros apresentados estão compreendidos entre 1 e 2%, com erro máximo de -2,5180901% (C62).

A respeito dos ângulos de cargas, os erros são em sua ampla maioria menores que 10% (apenas seis cargas apresentam erros superiores, sendo que quatro delas apresentam erros inferiores a 12%). Apenas a carga C62 teve um erro considerável.

Mesmo considerando as observações acima citadas, o modelo, em sua ampla maioria, obteve resultados aproximados ao modelo em *SKM*.

#### **3.2.2.2 Carga Média**

Os valores obtidos da simulação e sua comparação com os valores medidos encontram-se no Anexo M.

Apenas uma carga apresenta erro superior a 2%, tendo erro de 3,36831% (C09).

Em relação ao ângulo de carga, apenas sete cargas possuem erro superior acima de 10%. Apenas a carga C46 teve um erro mais drástico (32,9218%).

Novamente, a maioria dos erros nesse cenário podem ser considerados aceitáveis, permitindo a validação do modelo.

### **3.2.2.3 Carga Pesada**

Os valores obtidos da simulação e sua comparação com os valores medidos encontram-se no Anexo N.

A única carga que teve erro de tensão superior a 2% foi a C16, que apresentou um erro de -2,02729%.

Quanto ao erro de ângulo de carga, apenas sete cargas apresentam erros superiores a 10%, sendo o maior apresentado pela carga C46, com um erro de -32,8736 %.

Novamente, a maioria dos erros encontrados é plausível, podendo assim o modelo ser classificado como condizente com o real.

#### **4 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS**

O sistema de distribuição do campus de Goiabeiras da UFES é composta por 64 transformadores, 160 barras, 96 linhas de distribuição, um banco de capacitores e 13 subestações abrigadas, podendo ser classificado como de médio porte.

Da comparação do modelo em *PSCAD/ETMDC* com os dados medidos no campus de Goiabeiras e com os dados obtidos pela simulação em *SKM* (Padua, 2011), apesar da diferença em cargas pontuais, no quesito de ângulo de carga, serem superiores à 15%, é possível concluir que o modelo em questão é bem próximo ao sistema real, sendo possível ser utilizado futuramente para simular os mais variados cenários, como inserção de novas cargas, instalação de micro geradores, etc.

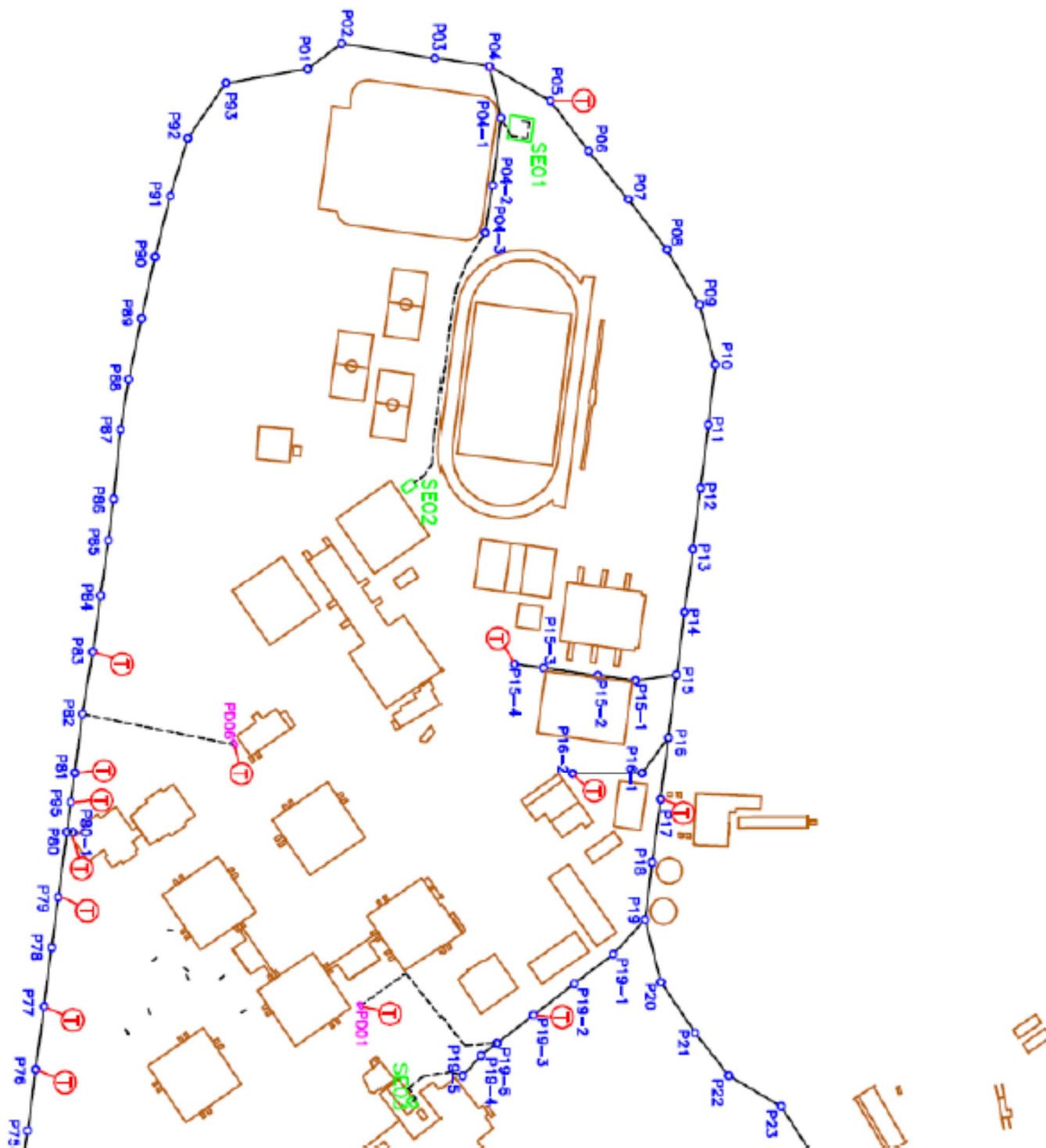
O *software PSCAD/ETMDC* foi utilizado pois o objetivo era implementar a rede de distribuição da UFES em um modelo que seja capaz medir e analisar as variáveis nas respostas instantâneas no domínio do tempo (transitórios).

Como sugestões para trabalhos futuros, uma seria a realização de simulações de instalação de micro geradores elétricos (como painéis voltaicos e aero geradores) ao longo da rede de distribuição da UFES afim de se analisar a qualidade da energia, os locais mais propícios para as instalações e como a rede se comportaria em tais cenários. Sugere-se também como complementação do presente trabalho o mapeamento e o levantamento das novas cargas que estão presentes no atual sistema de distribuição do Campus de Goiabeiras da UFES mas que não foram incluídas no trabalho, cujos dados são de 2011.



## ANEXO A – PLANTA BAIXA DA UFES 2006 MAIS DETALHADA

Figura 21 - Planta de distribuição da UFES detalhada -parte 1





Quadro 1 - Máscara do código de identificação de componentes da rede

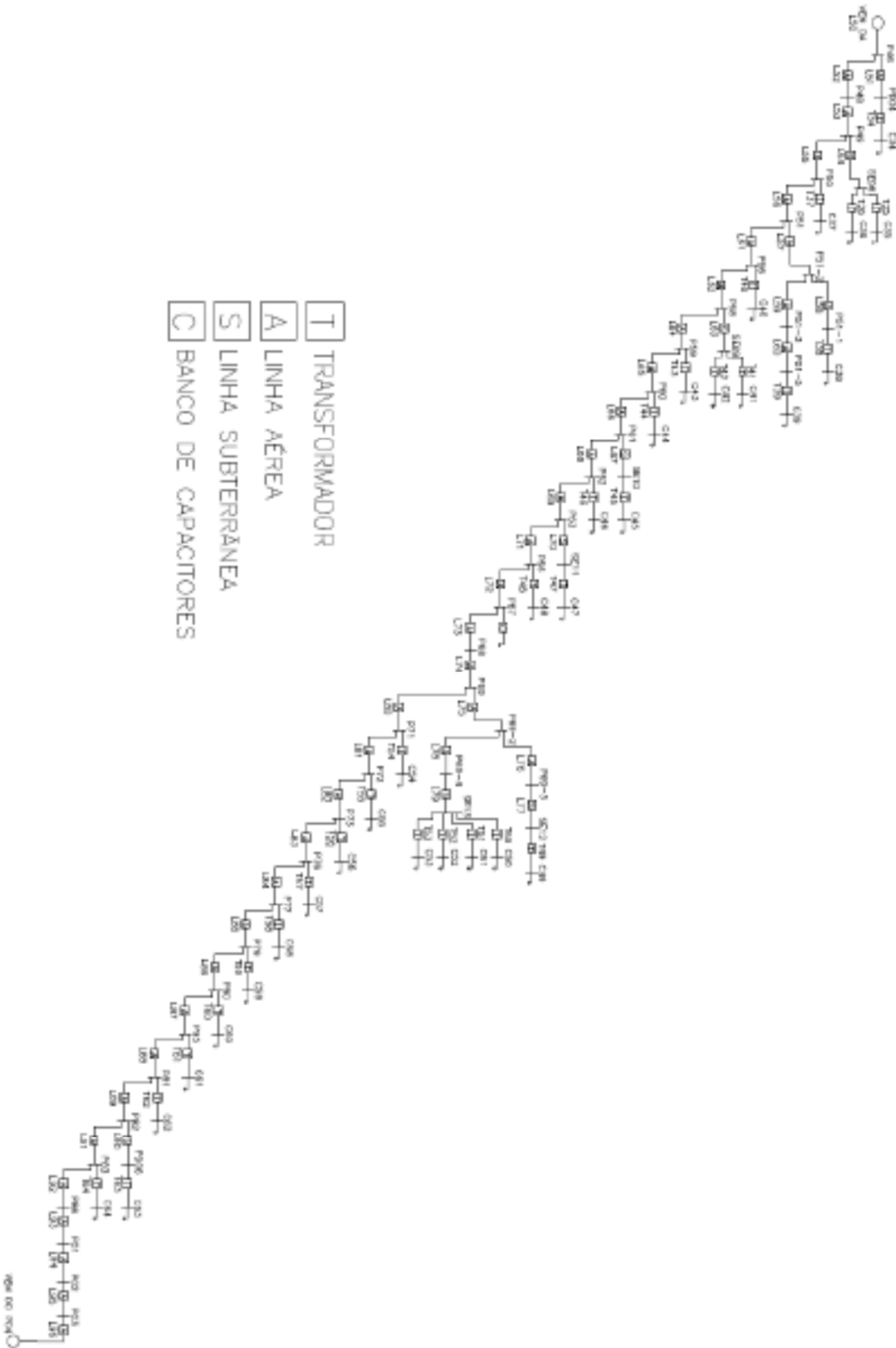
<b>Componente</b>	<b>Máscara do Código de Identificação(ID)</b>
Poste Simples (Anel/Ramal)	PXX/PXX-X
Poste Duplo	PDXX
Subestação	SEXX
Transformador	TXX
Linha de Distribuição	LXX
Carga	CXX
Ponto de Entrega	PE

Quadro 2 - Legenda de Cores da Planta de Distribuição

<b>Cor</b>	<b>Componente</b>
Azul	Poste Simples
Rosa	Poste Duplo
Verde	Subestação
Vermelho	Transformador
Preto Contínuo	Linha de Distribuição Aérea
Preto Tracejado	Linha de Distribuição Subterrânea
Roxo	Banco de Capacitores
Marrom	Edificações



Figura 24 - Diagrama Unifilar - parte 2



## ANEXO C – DADOS DAS LINHAS

Tabela 6 - Dados das linhas do sistema de distribuição

Linha	Interligação		Comprimento[m]	Condutor
L01	SE01	P04-1	35	CU 35mm <sup>2</sup>
L02	P04-1	P04-2	36	ASC 1/0 AWG
L03	P04-2	P04-3	35	ASC 1/0 AWG
L04	P04-3	SE02	170	CU 35mm <sup>2</sup>
L05	P04	P04-1	36	ASC 1/0 AWG
L06	P04	P05	40	ASC 1/0 AWG
L07	P05	P06	40	ASC 1/0 AWG
L08	P06	P07	40	ASC 1/0 AWG
L09	P07	P08	40	ASC 1/0 AWG
L09	P08	P09	40	ASC 1/0 AWG
L09	P09	P10	39	ASC 1/0 AWG
L09	P10	P11	39	ASC 1/0 AWG
L09	P11	P12	40	ASC 1/0 AWG
L09	P12	P13	40	ASC 1/0 AWG
L09	P13	P14	40	ASC 1/0 AWG
L09	P14	P15	40	ASC 1/0 AWG
L10	P15	P15-1	25	ASC 2/0 AWG
L10	P15-1	P15-2	28	ASC 2/0 AWG
L10	P15-2	P15-3	28	ASC 2/0 AWG
L10	P15-3	P15-4	29	ASC 2/0 AWG
L11	P15	P16	40	ASC 1/0 AWG
L12	P16	P16-1	29	CU 10 mm <sup>2</sup>
L12	P16-1	P16-2	43	CU 10 mm <sup>2</sup>
L13	P16	P17	40	ASC 1/0 AWG
L14	P17	P18	40	ASC 1/0 AWG
L14	P18	P19	37	ASC 1/0 AWG
L15	P19	P19-1	35	CU 10 mm <sup>2</sup>
L16	P19-1	P19-2	35	CU 10 mm <sup>2</sup>
L16	P19-2	P19-3	35	CU 10 mm <sup>2</sup>
L17	P19-3	P19-6	32	CU 10 mm <sup>2</sup>
L18	P19-6	PD01	105	CU 35 mm <sup>2</sup>
L19	P19-6	P19-4	3	CU 10 mm <sup>2</sup>
L19	P19-4	P19-5	17	CU 10 mm <sup>2</sup>
L20	P19-5	SE03	45	CU 35 mm <sup>2</sup>

L21	P19	P20	39	ASC 1/0 AWG
L22	P20	P21	40	ASC 1/0 AWG
L22	P21	P22	34	ASC 1/0 AWG
L23	P22	P23	38	ASC 1/0 AWG
L23	P23	P24	40	ASC 1/0 AWG
L23	P24	P25	40	ASC 1/0 AWG
L24	P25	P26	38	ASC 1/0 AWG
L25	P26	P27	42	ASC 1/0 AWG
L26	P27	P28	21	ASC 1/0 AWG
L26	P28	P29	19	ASC 1/0 AWG
L26	P29	P30	41	ASC 1/0 AWG
L27	P30	P31	37	ASC 1/0 AWG
L28	P31	P32	41	ASC 1/0 AWG
L29	P32	P33	39	ASC 1/0 AWG
L30	P33	P34	40	ASC 1/0 AWG
L30	P34	P35	30	ASC 1/0 AWG
L30	P35	P36	30	ASC 1/0 AWG
L31	P36	P36-1	19	ASC 1/0 AWG
L32	P36-1	P36-6	37	ASC 1/0 AWG
L33	P36-6	SE04	20	CU 35 mm <sup>2</sup>
L34	P36-6	P36-2	33	ASC 4/0 AWG
L35	P36-2	P36-3	13	ASC 4/0 AWG
L36	P36-3	P36-4	48	ASC 4/0 AWG
L37	P36-4	SE05	30	CU 35 mm <sup>2</sup>
L38	P36-4	P36-7	12	ASC 4/0 AWG
L39	P36-7	P36-5	7	ASC 4/0 AWG
L40	P36-5	SE06	60	CU 35 mm <sup>2</sup>
L41	P36-5	P36-8	5	ASC 4/0 AWG
L42	P36	P37	34	CU 35 mm <sup>2</sup>
L43	P37	SE07	95	CU 35 mm <sup>2</sup>
L44	P37	P38	31	CU 35 mm <sup>2</sup>
L45	P38	P39	37	CU 35 mm <sup>2</sup>
L46	P39	P40	40	CU 35 mm <sup>2</sup>
L47	P40	P94	17	CU 35 mm <sup>2</sup>
L48	P94	L41	25	CU 35 mm <sup>2</sup>
L49	P41	P42	40	CU 35 mm <sup>2</sup>
L49	P42	P43	38	CU 35 mm <sup>2</sup>
L49	P43	P44	40	CU 35 mm <sup>2</sup>

L49	P44	P45	22	CU 35 mm <sup>2</sup>
L50	P45	P46	23	CU 35 mm <sup>2</sup>
L51	P46	PD04	20	ASC 2/0 AWG
L52	P46	P47	26	CU 35 mm <sup>2</sup>
L52	P47	P48	37	CU 35 mm <sup>2</sup>
L53	P48	P49	40	CU 35 mm <sup>2</sup>
L54	P49	SE08	100	CU 35 mm <sup>2</sup>
L55	P49	P50	38	CU 35 mm <sup>2</sup>
L56	P50	P51	38	CU 35 mm <sup>2</sup>
L57	P51	P51-1	16	CU 10 mm <sup>2</sup>
L58	P51-1	P51-2	18	CU 10 mm <sup>2</sup>
L59	P51-2	P51-3	41	CU 10 mm <sup>2</sup>
L60	P51-3	P51-4	42	CU 10 mm <sup>2</sup>
L60	P51-4	P51-5	24	CU 10 mm <sup>2</sup>
L61	P51	P52	26	CU 35 mm <sup>2</sup>
L61	P52	P53	24	CU 35 mm <sup>2</sup>
L61	P53	P54	40	CU 35 mm <sup>2</sup>
L61	P54	P55	41	CU 35 mm <sup>2</sup>
L61	P55	P56	40	CU 35 mm <sup>2</sup>
L62	P56	P57	40	CU 35 mm <sup>2</sup>
L62	P57	P58	42	CU 35 mm <sup>2</sup>
L63	P58	SE09	80	CU 35 mm <sup>2</sup>
L64	P58	P59	41	CU 35 mm <sup>2</sup>
L65	P59	P60	41	CU 35 mm <sup>2</sup>
L66	P60	P61	40	CU 35 mm <sup>2</sup>
L67	P61	SE10	80	CU 35 mm <sup>2</sup>
L68	P61	P62	40	CU 35 mm <sup>2</sup>
L69	P62	P63	41	CU 35 mm <sup>2</sup>
L70	P63	SE11	40	CU 35 mm <sup>2</sup>
L71	P63	P64	39	CU 35 mm <sup>2</sup>
L71	P64	P65	41	CU 35 mm <sup>2</sup>
L71	P65	P66	39	CU 35 mm <sup>2</sup>
L72	P66	P67	43	CU 35 mm <sup>2</sup>
L73	P67	P68	40	CU 35 mm <sup>2</sup>
L74	P68	P69	40	CU 35 mm <sup>2</sup>
L75	P69	P69-1	40	CU 10 mm <sup>2</sup>
L75	P69-1	P69-2	35	CU 10 mm <sup>2</sup>



L76	P69-2	P69-3	35	CU 10 mm <sup>2</sup>
L77	P69-3	SE12	55	CU 35 mm <sup>2</sup>
L78	P69-2	P69-4	75	CU 10 mm <sup>2</sup>
L79	P69-4	SE13	60	CU 35 mm <sup>2</sup>
L80	P69	P70	40	CU 35 mm <sup>2</sup>
L80	P70	P71	39	CU 35 mm <sup>2</sup>
L81	P71	P72	39	CU 35 mm <sup>2</sup>
L82	P72	P73	37	CU 35 mm <sup>2</sup>
L83	P73	P74	40	CU 35 mm <sup>2</sup>
L83	P74	P75	38	CU 35 mm <sup>2</sup>
L83	P75	P76	40	CU 35 mm <sup>2</sup>
L84	P76	P77	40	CU 35 mm <sup>2</sup>
L85	P77	P78	38	CU 35 mm <sup>2</sup>
L85	P78	P79	36	CU 35 mm <sup>2</sup>
L86	P79	P80	38	CU 35 mm <sup>2</sup>
L87	P80	P95	16	CU 35 mm <sup>2</sup>
L88	P95	P81	22	CU 35 mm <sup>2</sup>
L89	P81	P82	38	CU 35 mm <sup>2</sup>
L90	P82	PD06	115	CU 35 mm <sup>2</sup>
L91	P82	P83	40	CU 35 mm <sup>2</sup>
L92	P83	P84	30	CU 35 mm <sup>2</sup>
L92	P84	P85	40	CU 35 mm <sup>2</sup>
L92	P85	P86	30	CU 35 mm <sup>2</sup>
L93	P86	P87	40	ASC 1/0 AWG
L93	P87	P88	39	ASC 1/0 AWG
L93	P88	P89	40	ASC 1/0 AWG
L93	P89	P90	40	ASC 1/0 AWG
L93	P90	P91	40	ASC 1/0 AWG
L93	P91	P92	40	ASC 1/0 AWG
L93	P92	P93	40	ASC 1/0 AWG
L93	P93	P01	33	ASC 1/0 AWG
L94	P01	P02	20	ASC 1/0 AWG
L95	P02	P03	40	ASC 1/0 AWG
L96	P03	P04	39	ASC 1/0 AWG

## **ANEXO D – PARÂMETROS DAS LINHAS DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DA UFES**

Tabela 7 - Parâmetros das linhas da rede de distribuição da UFES

<b>R1(Ω/m)</b>	<b>X<sub>l</sub>(Ω/m)</b>	<b>X<sub>c</sub> (MΩm)</b>	<b>R0(Ω/m)</b>	<b>X<sub>l</sub>0(Ω/m)</b>	<b>X<sub>c</sub> 0(MΩm)</b>	<b>Linha</b>	<b>D(m)</b>
0,000587714	0,00016486	12,6091393	0,00076514	0,002534	12,60913926	L01	35
0,000604722	0,00044972	266,323758	0,00078222	0,0019117	642,2723064	L02	36
0,000604571	0,00044971	266,323758	0,00078229	0,00191171	643,0285489	L03	35
0,000587647	0,00016488	12,6091393	0,00076524	0,00253394	12,60913926	L04	170
0,000604722	0,00044972	266,323758	0,00078222	0,00191167	643,0508183	L05	36
0,0006045	0,0004495	265,258463	0,00078225	0,00191175	642,2723064	L06	40
0,0006045	0,00044975	266,323758	0,00078225	0,0019115	643,0508183	L07	40
0,0006045	0,00044975	266,323758	0,00078225	0,0019115	643,0508183	L08	40
0,000604623	0,00044959	265,258463	0,00078223	0,00191164	642,2723064	L09	318
0,000963182	0,00046709	276,310898	0,00114082	0,00192909	653,3459668	L10	110
0,0006045	0,0004495	265,258463	0,00078225	0,00191175	642,2723064	L11	40
0,001870417	0,00049958	301,601436	0,00204806	0,0020075	706,4140148	L12	72
0,0006045	0,0004495	265,258463	0,00078225	0,00191175	642,2723064	L13	40
0,000604545	0,00044961	265,258463	0,00078221	0,00191169	642,2723064	L14	77
0,001870286	0,00049971	301,596537	0,002048	0,00200743	706,3871406	L15	35
0,001870429	0,00048443	293,103274	0,002048	0,002038	726,7355138	L16	70
0,001870313	0,00049969	301,601436	0,00204813	0,0020075	706,4140148	L17	32
0,000587619	0,00016486	12,6091393	0,00076524	0,0025339	12,60913926	L18	105
0,0018705	0,000515	310,607099	0,002048	0,001977	687,1980895	L19	20
0,000587556	0,00016489	12,6091393	0,00076511	0,002534	12,60913926	L20	45
0,000604615	0,00043436	256,28837	0,00078231	0,00194205	660,647534	L21	39
0,000604595	0,00041905	247,90105	0,0007823	0,0019727	680,149904	L22	74
0,000604576	0,00041907	247,905105	0,0007822	0,00197263	680,149904	L23	118
0,000604737	0,00041921	247,905105	0,00078237	0,00197263	680,149904	L24	38
0,000604524	0,00041905	247,905105	0,00078214	0,00197262	680,149904	L25	42
0,000604568	0,00041914	247,905105	0,00078222	0,00197272	680,149904	L26	81
0,000604595	0,00041919	247,905105	0,00078216	0,0019727	680,149904	L27	37
0,00060434	0,00041902	247,905105	0,0007822	0,00197268	680,149904	L28	41
0,000604615	0,00041897	247,905105	0,00078231	0,00197256	680,149904	L29	39
0,0006046	0,0004191	247,905105	0,0007822	0,0019727	680,149904	L30	100
0,000604737	0,00044947	266,323758	0,00078211	0,00191158	643,0097969	L31	19
0,000604595	0,00044973	267,397644	0,00078216	0,00191162	643,8312198	L32	37

0,0005875	0,000165	12,6091393	0,000765	0,002534	12,60913926	L33	20
0,001528485	0,00048455	288,476446	0,00170636	0,00194667	664,8081768	L34	33
0,001528462	0,00046923	278,47533	0,00170615	0,00197692	683,6558313	L35	13
0,001528542	0,00046938	278,486575	0,00170625	0,00197708	683,6558313	L36	48
0,000587667	0,000165	12,6091393	0,00076533	0,002534	12,609133926	L37	30
0,001528333	0,00048417	287,387283	0,00170583	0,00194667	664,8081768	L38	12
0,001528571	0,00048429	287,387283	0,00170571	0,00194714	664,8081768	L39	7
0,000587667	0,00016483	12,6091393	0,00076517	0,002534	12,60913926	L40	60
0,001528	0,000484	287,387283	0,001706	0,001946	664,8081768	L41	5
0,000599118	0,00043647	259,041467	0,00077676	0,00199	692,5808421	L42	34
0,000587579	0,00016484	12,6091393	0,00076526	0,00253389	12,60913926	L43	95
0,000599032	0,00043645	259,041467	0,00077677	0,00199	692,5808421	L44	31
0,00059819	0,00043649	259,041467	0,00077676	0,00199	692,5808421	L45	37
0,000599	0,0004365	259,041467	0,00077675	0,00199	692,5808421	L46	40
0,000598824	0,00043647	259,041467	0,00077647	0,00199	692,5808421	L47	17
0,0005992	0,000436	259,041467	0,0007768	0,00199	692,5808421	L48	25
0,000599	0,00043657	259,041467	0,00077664	0,00199014	692,5808421	L49	140
0,00059913	0,00043652	259,041467	0,00077652	0,00199	692,5808421	L50	23
0,000963	0,000467	276,310898	0,001141	0,001929	653,3459668	L51	20
0,000599048	0,00043651	259,041467	0,00077667	0,00199016	692,5808421	L52	63
0,000599	0,0004365	259,041467	0,00077675	0,00199	692,5808421	L53	40
0,0005876	0,0001649	12,6091393	0,0007652	0,0025339	12,60913926	L54	100
0,000598947	0,00043658	259,041467	0,00077658	0,00199	692,5808421	L55	38
0,000598947	0,00043658	259,041467	0,00077658	0,00199	692,5808421	L56	38
0,001870625	0,000515	310,607099	0,00204813	0,00197688	687,1980895	L57	16
0,001870556	0,000515	310,607099	0,00204778	0,00197722	687,1980895	L58	18
0,001870488	0,00049976	301,597254	0,00204805	0,00200756	706,3910733	L59	41
0,001870455	0,00051485	310,607099	0,00204803	0,00197697	687,1980895	L60	66
0,000599006	0,00043655	259,041467	0,00077667	0,00199006	692,5808421	L61	171
0,000599024	0,00043659	259,041467	0,00077671	0,00199012	692,5808421	L62	82
0,000587625	0,00016488	12,6091393	0,00076525	0,00253388	12,60913926	L63	80
0,000599024	0,00043659	259,041467	0,00077659	0,00199	692,5808421	L64	41
0,000599024	0,00043659	259,041467	0,00077659	0,00199	692,5808421	L65	41
0,000599	0,0004365	259,041467	0,00077675	0,00199	692,5808421	L66	40
0,000587625	0,00016488	12,6091393	0,00076525	0,00253388	12,60913926	L67	80
0,000599	0,0004365	259,041467	0,00077675	0,00199	692,5808421	L68	40
0,000599024	0,00043659	259,041467	0,00077659	0,00199	692,5808421	L69	41
0,005875	0,000165	12,6091393	0,00076525	0,002534	12,60913926	L70	40

0,000598992	0,00043655	259,041467	0,00077664	0,00199008	692,5808421	L71	119
0,00059907	0,00043651	259,041467	0,00077674	0,00199	692,5808421	L72	43
0,000599	0,0004365	259,041467	0,00077675	0,00199	692,5808421	L73	40
0,000599	0,0004365	259,041467	0,00077675	0,00199	692,5808421	L74	40
0,0018704	0,00051493	310,607099	0,002048	0,00197693	687,1980895	L75	75
0,001870286	0,00051486	310,607099	0,002048	0,00197686	687,1980895	L76	35
0,000587636	0,00016491	12,6091393	0,00076527	0,002534	12,60913926	L77	55
0,0018704	0,00051493	310,607099	0,002048	0,00197693	687,1980895	L78	75
0,000587667	0,00016483	12,6091393	0,00076517	0,002534	12,60913926	L79	60
0,000598987	0,00043658	259,041467	0,00077671	0,00199013	692,5808421	L80	79
0,000598974	0,00043667	259,041467	0,00077667	0,00199	692,5808421	L81	39
0,000598919	0,00043649	259,041467	0,00077676	0,00199	692,5808421	L82	37
0,000598983	0,00043653	259,041467	0,00077661	0,00199008	692,5808421	L83	118
0,000599	0,0004365	259,041467	0,00077675	0,00199	692,5808421	L84	40
0,000599054	0,00043649	259,041467	0,00077662	0,00199014	692,5808421	L85	74
0,000598947	0,00043658	259,041467	0,00077658	0,00199	692,5808421	L86	38
0,00050875	0,00043625	259,041467	0,00077688	0,00199	692,5808421	L87	16
0,000599091	0,00043636	259,041467	0,00077682	0,00199	692,5808421	L88	22
0,000598947	0,00043658	259,041467	0,00077658	0,00199	692,5808421	L89	38
0,000587652	0,00016487	12,6091393	0,00076522	0,00253391	12,60913926	L90	115
0,000599	0,0004365	259,041467	0,00077675	0,00199	692,5808421	L91	40
0,000599	0,004366	259,041467	0,0007767	0,0019901	692,5808421	L92	100
0,000604615	0,0004191	247,905105	0,00078224	0,00197266	680,149904	L93	312
0,0006045	0,0004345	257,282699	0,000782	0,001942	661,4924253	L94	20
0,0006045	0,00044975	267,397644	0,00078225	0,0019115	643,8312198	L95	40
0,000604615	0,00044974	266,323758	0,00078231	0,00191154	643,0308329	L96	39

## ANEXO E – Informação gerais dos transformadores

Quadro 3 - Informação gerais dos transformadores

ID	Poste alimentador	Localização	Situação	Carga	Subestação
T01	-	SE01	Operante	UFES	Abrigada
T02	P04-3	SE02	Operante	Centro de Educação Física, Copes (Petrobrás)	Abrigada
T03	P05	P05	Operante	Iluminação do anel viário e das piscinas, equipamentos da SE01	Ao tempo
T04	P15-4	P15-4	Operante	Academia	Ao tempo
T05	P16-2	P16-2	Operante	Pré-Escola Criarte	Ao tempo
T06	P17	P17	Operante	NTS, Iluminação do anel viário	Ao tempo
T07	P19-3	P19-3	Operante	Caixa Econômica Federal	Ao tempo
T08	P19-6	PD01	Operante	CEMUNI 1,2 e 3	Ao tempo
T09	P19-5	SE03	Operante	RU, Banco do Brasil	Abrigada
T10	P25	P25	Operante	Laboratório de Ecologia	Ao tempo
T11	P26	P26	Operante	Planetário	Ao tempo
T12	P27	P27	Operante	Auditório CCJE, ED3 e ED4	Ao tempo
T13	P30	P30	Operante	Prédio em obra	Ao tempo
T14	P31	P31	Operante	Gemologia, Economia	Ao tempo
T15	P32	P32	Operante	Secretaria e cantina do CCJE	Ao tempo
T16	P33	P33	Operante	ED1, ED2	Ao tempo
T17	P36-6	SE04	Operante	CCJE	Abrigada
T18	P36-6	SE04	Operante	CCJE	Abrigada
T19	P36-6	SE04	Operante	Prédio em obra	Abrigada
T20	P36-6	SE04	Operante	Prédio em obra	Abrigada
T21	P36-3	PD02	Operante	NPJ	Ao tempo
T22	P36-4	SE05	Operante	Laboratórios de Física e Química	Abrigada
T23	P36-7	P36-7	Operante	Anexo do ED5	Ao tempo
T24	P36-5	SE06	Operante	Biblioteca Central	Abrigada
T25	P36-8	P36-8	Operante	Pós-Graduação da Física	Ao tempo
T26	P37	SE07	Operante	Núcleo de Óleos Pesados	Abrigada
T27	P37	SE07	Operante	Núcleo de Óleos Pesados	Abrigada
T28	P38	P38	Operante	PPGE	Ao tempo
T29	P39	P39	Operante	Iluminação, Laboratório de aprendizagem	Ao tempo
T30	P40	P40	Defeituoso	Iluminação do anel viário	Ao tempo

T31	P94	P94	Operante	CT 10	Ao tempo
T32	P41	P41	Operante	CT 9	Ao tempo
T33	P45	PD03	Operante	Prédio da Petrobrás	Ao tempo
T34	P46	PD04	Operante	Prédio da Petrobrás	Ao tempo
T35	P49	SE08	Operante	CT1, CT2, CT3, CT5, Laboratórios do CT	Abrigada
T36	P49	SE08	Operante	CT1, CT2, CT3, CT5, Laboratórios do CT	Abrigada
T37	P50	P50	Operante	CT ambiental, ETE	Ao tempo
T38	P51-1	P51-1	Operante	Laboratório de Precipitação Estática, Gráfica Universitária	Ao tempo
T39	P51-5	P51-5	Operante	Prefeitura Universitária	Ao tempo
T40	P56	P56	Operante	Nexem, Castelinho, Iluminação interna	Ao tempo
T41	P58	SE09	Operante	NPD	Abrigada
T42	P58	SE09	Operante	NPD (Sem carga)	Abrigada
T43	P59	P59	Operante	Centro de Línguas	Ao tempo
T44	P60	P60	Defeituoso	Iluminação do anel viário	Ao tempo
T45	P61	SE10	Operante	Prédio de Estrutura Metálica, IC3, IC4, Cantina do IC	Abrigada
T46	P62	P62	Operante	Adufes	Ao tempo
T47	P63	SE11	Operante	FCAA	Abrigada
T48	P66	PD05	Operante	CCE – Administração	Ao tempo
T49	P69-3	SE12	Operante	Reitoria	Abrigada
T50	P69-4	SE13	Operante	Teatro Banco Central	Abrigada
T51	P69-4	SE13	Operante	Teatro Banco Central	Abrigada
T52	P69-4	SE13	Operante	Teatro Banco Central	Abrigada
T53	P69-4	SE13	Operante	Teatro Banco Central	Abrigada
T54	P71	P71	Operante	Prograd	Ao tempo
T55	P72	P72	Operante	Núcleo de Ciências	Ao tempo
T56	P73	P73	Operante	Prograd	Ao tempo
T57	P76	P76	Operante	Cine Metrôpolis, Centro de Vivências, CEMUNI 6	Ao tempo
T58	P77	P77	Operante	Eventos (feiras, festas e exposições)	Ao tempo
T59	P79	P79	Operante	CEMUNI 4, 5 e 6	Ao tempo
T60	P80	P80	Desligado	Prédio em obra	Ao tempo
T61	P95	P95	Operante	Multimeios	Ao tempo

T62	P81	P81	Operante	Iluminação Interna	Ao tempo
T63	P82	PD06	Operante	Prédio em obra	Ao tempo
T64	P83	P83	Operante	Galpão de Centro de Artes	Ao tempo

## ANEXO F – Dados nominais dos transformadores

Tabela 8 - Dados nominais dos transformadores da rede de distribuição da UFES

ID	$S_{nom}$ (MVA)	Perdas à vazio(pu)	Perdas com carga(pu)	$I_{mag}$ (%)	Tap(%)	$Z_{eq}$ (pu)
T02	0,3	0,0031667	0,0112	2,2		0,019399 + 0,030918i
T03	0,075	0,0044	0,0152	3,1		0,0263272 + 0,025998i
T04	0,1125	0,0039111	0,01378	2,8		0,0238638 + 0,025603i
T05	0,1125	0,0039111	0,01378	2,8	-5	0,0238638 + 0,022938i
T06	0,075	0,0044	0,0152	3,1		0,0263272 + 0,023063i
T07	0,1125	0,0039111	0,01378	2,8		0,0238638 + 0,02009i
T08	0,225	0,0034	0,012	2,3		0,0207846 + 0,039912i
T09	0,5	0,0021	0,0189	1,2		0,0327358 + 0,030877i
T10	0,1125	0,003911	0,013778	2,8		0,0238638 + 0,025603i
T11	0,075	0,0044	0,0152	3,1		0,0263272 + 0,021515i
T12	0,1125	0,0039111	0,013778	2,8		0,0238638 + 0,022356i
T13	0,15*	0,0036	0,12733	2,6		0,0220548 + 0,025745i
T14	0,1125	0,0391111	0,013778	2,8		0,0238638 + 0,022648i
T15	0,075	0,0044	0,0152	3,1		0,0263272 + 0,025998i
T16	0,1125	0,00391111	0,013778	2,8		0,0238638 + 0,027087i
T17	0,5	0,0021	0,0189	1,2		0,0327358 + 0,034142i
T18	0,5	0,0021	0,0189	1,2		0,0327358 + 0,034142i
T19	0,225*	0,0034	0,012	2,3		0,0207846 + 0,04025i
T20	0,3*	0,0031667	0,0112	2,2		0,019399 + 0,040826i
T21	0,15	0,0036	0,012733	2,6		0,0220548 + 0,028453i
T22	0,3	0,00316667	0,0112	2,2		0,019399 + 0,039158i
T23	*					
T24	0,225	0,0034	0,012	2,3		0,0207846 + 0,036956i
T25	0,1125	0,00391111	0,013778	2,8		0,0238638 + 0,025603i
T26	0,5	0,0021	0,0189	1,2		0,0327358 + 0,039627i
T27	0,5	0,0021	0,0189	1,2		0,0327358 + 0,039107i
T28	0,1125	0,00391111	0,013778	2,8		0,0238638 + 0,026417i
T29	0,1125	0,00391111	0,013778	2,8		0,0238638 + 0,026012i
T30	*					
T31	0,1125	0,00391111	0,013778	2,8		2,38638 + 0,02682i
T32	0,15	0,0036	0,012733	2,6		2,20548 + 0,024548i
T33	0,3	0,00316667	0,0112	2,2		0,019399 + 0,043139i
T34	0,3	0,00316667	0,0112	2,2		0,019399 + 0,03927i



T35	0,3	0,0031667	0,0112	2,2		0,019399 + 0,03927i
T36	0,5	0,0021	0,0189	1,2		0,019399 + 0,030918i
T37	0,1125	0,00391111	0,013778	2,8		0,0327358 + 0,030291i
T38	0,075	0,0044	0,0152	3,1	5,36	0,0238638 + 0,025603i
T39	0,075	0,0044	0,0152	3,1		0,0263272 + 0,020553i
T40	0,1125	0,00391111	0,013778	2,8		0,0263272 + 0,021356i
T41	0,225	0,0034	0,012	2,3		0,0207846 + 0,04025i
T42	0,15	0,0036	0,012733	2,6		0,0220548 + 0,046539i
T43	0,1125	0,00391111	0,013778	2,8		0,0238638 + 0,023795i
T44	*					
T45	0,3	0,00316667	0,0112	2,2		0,019399 + 0,030918i
T46	0,0045	0,00488889	0,017333	3,7		0,0300222 + 0,011915i
T47	0,15	0,0036	0,012733	2,6		0,0220548 + 0,029957i
T48	0,15	0,0036	0,012733	2,6		0,0220548 + 0,027306i
T49	0,5	0,0021	0,0189	1,2		0,0327358 + 0,032174i
T50	0,5	0,0021	0,0189	1,2		0,0327358 + 0,032174i
T51	0,15	0,0036	0,012733	2,6		0,0220548 + 0,028073i
T52	0,15	0,0036	0,012733	2,6		0,0220548 + 0,030329i
T53	0,15	0,0036	0,012733	2,6		0,0220548 + 0,027945i
T54	0,1125	0,00391111	0,013778	2,8		0,0238638 + 0,016827i
T55	0,045	0,00488889	0,017333	3,7		0,0300222 + 0,022135i
T56	0,075	0,0044	0,0152	3,1		0,0263272 + 0,023815i
T57	0,1125	0,00391111	0,013778	2,8		0,0238638 + 0,019787i
T58	*					
T59	0,1125	0,00391111	0,013778	2,8		0,0238638 + 0,025191i
T60	*					
T61	0,15	0,0036	0,0127333	2,6		0,0220548 + 0,02666i
T62	0,03	0,00566667	0,019	4,1		0,032909 + 0,008137i
T63	0,225*	0,0034	0,012	2,3		0,0207846 + 0,039912i
T64	0,045	0,00488889	0,017333	3,7		0,030022 + 0,016794i

\*transformadores que não foram medidos: desligado (T60), defeituosos (T30, T44), cargas baixíssimas (T13, T19, T20, T63), cargas nulas (T42 e T58), não pode ser medido pela presença de abelhas (T23).

Todos os transformadores supracitados foram desconsiderados na simulação.

## Anexo G – Potências ativas e reativas médias das cargas

Tabela 9 - Potências ativas e reativas médias das cargas (por fase)

Carga	P (kW)			Q (kVar)		
	C. leve	C. média	C. pesada	C. leve	C. média	C. pesada
C02	7,263333	21,555	25,173	2,455333	6,712333	8,437333
C03	9,41	9,603667	7,312667	5,2	3,499333	2,138333
C04	0,392333	4,167333	9,225667	0,053667	1,219333	2,855333
C05	1,828667	7,019	10,68267	1,409333	2,071333	2,614
C06	6,619667	6,997667	8,351333	4,772667	2,825333	3,075333
C07	2,986667	14,38433	15,452	0,046	5,545333	6,308667
C08	3,035	22,49467	26,67633	1,158	3,998667	5,031333
C09	9,266667	55,13867	29,753	5,847667	11,50233	10,186
C10	2,382333	4,831	6,502667	0,477	0,667667	0,904667
C11	1,162667	2,141667	2,108667	1,323333	1,569333	1,717667
C12	1,327	9,2	14,06433	0,233333	2,845667	4,247333
C13	-----	-----	-----	-----	-----	-----
C14	0,173333	2,034	2,230667	0,161667	0,405	0,105
C15	2,584333	7,688333	9,470333	1,512333	1,494667	1,574
C16	0,040333	1,070333	2,429	0,362	0,161333	0,935667
C17	5,900667	23,33233	36,419	2,047	4,278333	7,029
C18	8,459	26,37867	32,57967	2,755333	4,926	6,612333
C19	-----	-----	-----	-----	-----	-----
C20	-----	-----	-----	-----	-----	-----
C21	0,607667	2,772	4,53	0,257333	0,923333	1,271667
C22	17,39233	28,35533	29,09233	-4,706	2,971333	3,221667
C23	-----	-----	-----	-----	-----	-----
C24	2,690667	27,56733	25,14667	1,173	1,783667	-1,32967
C25	0,925	2,507667	3,445	0,034	0,260333	0,243333
C26	3,565333	5,363	5,575	0,735667	1,461	1,461
C27	3,587667	3,948	3,803333	0,191667	0,646	0,579667
C28	0,373333	3,978333	4,478	0,076	0,937667	1,126667
C29	4,516	3,303667	2,565	4,219	0,559667	0,604333
C30	-----	-----	-----	-----	-----	-----
C31	0,771333	1,535667	1,392333	-5,12233	-5,98833	-5,91967
C32	2,137	8,704667	11,77033	0,06	0,974667	1,894333
C33	56,524	70,24267	73,18967	23,08033	24,98167	25,631
C34	59,67233	74,25767	77,42267	27,89467	30,73667	31,659
C35	7,445333	30,501	36,917	2,86	5,777	7,099667
C36	7,764667	31,004	35,42133	1,157	5,382333	6,192
C37	1,466333	6,542333	7,808667	0,726	0,93	1,277667
C38	1,104	8,466	6,536	0,574667	2,648667	1,618333
C39	4,929	15,624	16,981	2,558333	2,895667	3,085
C40	7,374	9,003667	9,272667	2,845667	0,919333	1,121333

C41	25,26567	35,85567	38,11333	7,061	8,535	9,036
C42	-----	-----	-----	-----	-----	-----
C43	0,934667	12,34767	14,06233	-0,07967	0,442333	0,641
C44	-----	-----	-----	-----	-----	-----
C45	8,664	13,41167	20,61667	3,670667	3,182333	3,654667
C46	0,137667	1,316667	1,452333	0,014333	0,178333	0,227667
C47	2,527333	19,27	21,738	1,317333	9,163333	10,163
C48	0,975667	4,237667	5,535667	0,719667	0,628333	1,391333
C49	3,847	25,10767	25,769	1,733333	4,415333	4,092667
C50	2,477333	24,82533	23,45533	0,378667	22,45367	21,594
C51	3,413667	17,37567	19,271	1,674	5,252667	5,848667
C52	1,426667	9,832	9,181333	-0,04867	4,168	3,763333
C53	0,025333	4,396667	5,443	-0,00233	1,249	1,534333
C54	0,974333	8,686333	11,302	0,264667	0,844667	1,511333
C55	0,303333	1,464	1,724	0,168667	0,333	0,317
C56	1,868333	8,489	8,805	0,229667	1,626	1,952333
C57	2,848333	12,26367	17,575	0,987	1,849333	3,412
C58	-----	-----	-----	-----	-----	-----
C59	1,921	5,844333	8,560667	0,913333	2,621333	3,418333
C60	-----	-----	-----	-----	-----	-----
C61	0,553667	4,844333	7,037333	0,070667	0,33	0,932333
C62	6,443667	2,568333	1,627667	5,8	0,508667	0,661667
C63	-----	-----	-----	-----	-----	-----
C64	0,220667	0,913333	0,796667	-0,07667	-0,36133	-0,38

## Anexo H – Resultados para P e Q (monofásicos) calculados e comparação com os valores medidos para a situação de carga leve

Tabela 10 - Resultados obtidos de P e Q e comparação com os valores medidos

<b>Carga</b>	<b>P (kW)</b>	<b>Desvio (%)</b>	<b>Q (kVAr)</b>	<b>Desvio (%)</b>
C02	7,267	-0,05048	2,45644	-0,04507
C03	9,415867	-0,06235	5,20146667	-0,02821
C04	0,392197	0,03484	Zerado	Desconsiderado
C05	1,830213	-0,08458	1,40975333	-0,0298
C06	6,6245	-0,07301	4,7741	-0,03003
C07	2,988577	-0,06395	Zerado	Desconsiderado
C08	3,036873	-0,06172	1,15855333	-0,04778
C09	9,2728	-0,06619	5,850133333	-0,04218
C10	2,383343	-0,0424	0,47721667	-0,04542
C11	1,16391	-0,10694	1,32344333	-0,00831
C12	1,32767	-0,05049	0,233094	0,10257
C13	-----	-----	-----	-----
C14	0,173124	0,12058	0,162065667	-0,2468
C15	2,585797	-0,05275	1,512506667	-0,01146
C16	Zerado	Desconsiderado	0,361533333	0,12891
C17	5,904567	-0,06609	2,04786667	-0,04136
C18	8,463967	-0,05871	2,75608333	-0,02722
C19	-----	-----	-----	-----
C20	-----	-----	-----	-----
C21	0,608347	-0,1119	0,257096667	0,09197
C22	17,40177	-0,05424	-4,7125	-0,13812
C23	-----	-----	-----	-----
C24	2,692673	-0,07458	1,17348	-0,04092
C25	0,9255	-0,05405	Zerado	Desconsiderado
C26	3,567033	-0,04768	0,73632	-0,08881
C27	3,5899	-0,06225	0,192086667	-0,21861
C28	0,373183	0,04018	Zerado	Desconsiderado
C29	4,5194	-0,07529	4,220166667	-0,02765
C30	-----	-----	-----	-----
C31	0,772653	-0,17113	-5,1228	-0,00911
C32	2,138133	-0,05303	Zerado	Desconsiderado
C33	56,55767	-0,05956	23,0845	-0,01805
C34	59,71067	-0,06424	27,90083333	-0,02211

C35	7,449633	-0,05775	2,86122	-0,04266
C36	7,769233	-0,05881	1,15751	-0,04408
C37	1,46695	-0,04206	0,72631	-0,0427
C38	1,104737	-0,06673	0,0575173333	-0,08817
C39	4,932067	-0,06222	2,55869	-0,01394
C40	7,3785	-0,06103	2,846963333	-0,04557
C41	25,28093	-0,06042	7,0634	-0,03399
C42	-----	-----	-----	-----
C43	0,935483	-0,08738	Zerado	Desconsiderado
C44	-----	-----	-----	-----
C45	8,6692	-0,06002	3,672466667	-0,04904
C46	0,138071	-0,29346	Zerado	Desconsiderado
C47	2,529843	-0,09931	1,317566667	-0,01771
C48	-----	-----	-----	-----
C49	3,8495	-0,06499	1,733833333	-0,02885
C50	2,478287	-0,03848	0,37917	-0,13292
C51	3,416167	-0,07324	1,674706667	-0,04221
C52	1,427733	-0,007477	Zerado	Desconsiderado
C53	Zerado	Desconsiderado	Zerado	Desconsiderado
C54	0,974543	-0,02155	0,265120667	-0,17154
C55	0,303194	0,04593	0,169074	-0,2415
C56	1,869013	-0,0364	0,230109	-0,1926
C57	2,849753	-0,04985	0,987466667	-0,04728
C58	-----	-----	-----	-----
C59	1,922167	-0,06073	0,913403333	-0,00766
C60	-----	-----	-----	-----
C61	0,553993	-0,059	Zerado	Desconsiderado
C62	6,448867	-0,0807	5,801466667	-0,02529
C63	-----	-----	-----	-----
C64	0,221119	-0,20498	Zerado	Desconsiderado

## Anexo I – Resultados para P e Q (monofásicos) calculados e comparação com os valores medidos para a situação de carga média

Tabela 11 - Resultados para P e Q (monofásicos) calculados e comparação com os valores medidos para a situação de carga média

Carga	P (kW)	Desvio (%)	Q (kVar)	Desvio (%)
C02	21,56713	-0,05629	6,715166667	-0,04221
C03	9,6095	-0,06074	3,500133333	-0,02286
C04	4,1693	-0,04719	1,219513333	-0,01476
C05	7,022667	-0,05224	2,071983333	-0,03138
C06	7,002033	-0,0624	2,825843333	-0,01805
C07	14,3925	-0,05677	5,5466	-0,02284
C08	22,50613	-0,05098	4,0003	-0,04085
C09	55,16767	-0,05259	11,50536667	-0,02637
C10	4,833667	-0,0552	0,668283333	-0,09236
C11	2,143373	-0,07969	1,56953	-0,01253
C12	9,205033	-0,05471	2,846873333	-0,0424
C13	-----	-----	-----	-----
C14	2,035097	-0,05392	0,40516	-0,03951
C15	7,6922	-0,05029	1,49547	-0,05375
C16	1,070573	-0,02242	0,161064667	0,166529
C17	23,34513	-0,05486	4,279566667	-0,02883
C18	26,39353	-0,05636	4,9277	-0,03451
C19	-----	-----	-----	-----
C20	-----	-----	-----	-----
C21	2,77352	-0,05483	0,923323333	0,001083
C22	28,3684	-0,04608	2,971886667	-0,01862
C23	-----	-----	-----	-----
C24	27,5816	-0,05175	1,784646667	-0,05494
C25	2,509267	-0,0638	0,260092667	0,092446
C26	5,3659	-0,05407	1,46154	-0,03696
C27	3,9501	-0,05319	0,64625	-0,0387
C28	3,9801	-0,04441	0,938303333	-0,0679
C29	3,305863	-0,06649	0,56022	-0,09887
C30	-----	-----	-----	-----
C31	1,538077	-0,15694	-6,0021	-0,22989
C32	8,709467	-0,05514	0,975333333	-0,0684
C33	70,28133	-0,05505	24,9863	-0,01855
C34	74,3	-0,05701	30,7421	-0,01768

C35	30,51723	-0,05322	5,778733333	-0,03
C36	31,02003	-0,05171	5,3836	-0,02353
C37	6,5454	-0,04687	0,9303	-0,03226
C38	8,4705	-0,05315	2,64931	-0,02429
C39	15,6324	-0,05376	2,896653333	-0,03407
C40	9,0105	-0,0759	0,919306667	0,002901
C41	35,87533	-0,05485	8,5372	-0,02578
C42	-----	-----	-----	-----
C43	12,35383	-0,04994	0,44214	0,043708
C44	-----	-----	-----	-----
C45	13,41953	-0,05866	3,183186667	-0,02681
C46	1,317713	-0,07949	0,178040667	0,164112
C47	19,28123	-0,05829	9,164966667	-0,01782
C48	4,240333	-0,06293	0,628256667	0,012202
C49	25,12173	-0,05603	4,4166	-0,02869
C50	24,84227	-0,06821	22,4594	-0,02553
C51	17,3849	-0,05314	5,254166667	-0,02856
C52	9,8377	-0,05797	4,169233333	-0,02959
C53	4,399567	-0,06596	1,249483333	-0,0387
C54	8,690533	-0,04835	0,84532	-0,07735
C55	1,46479	-0,05396	0,333122667	-0,03684
C56	8,493433	-0,05222	1,626496667	-0,03055
C57	12,2704	-0,0549	1,849656667	-0,01748
C58	-----	-----	-----	-----
C59	5,847533	-0,05475	2,62199	-0,02505
C60	-----	-----	-----	-----
C61	4,846467	-0,04404	0,330148667	-0,04505
C62	2,569443	-0,04322	0,509186667	-0,10223
C63	-----	-----	-----	-----
C64	0,913553	-0,02409	-0,3602	0,313653

## Anexo J – Resultados para P e Q (monofásicos) calculados e comparação com os valores medidos para a situação de carga pesada

Tabela 12 - Resultados para P E Q (monofásicos) calculados e comparação com os valores medidos para a situação de carga pesada

Carga	P(kW)	Desvio (%)	Q (kVAr)	Desvio (%)
C02	25,187	-0,055615	8,440633	-0,039112
C03	7,317067	-0,06017	2,138807	-0,022136
C04	9,231133	-0,059255	2,856003	-0,023465
C05	10,68873	-0,05679	2,615203	-0,046034
C06	8,3559	-0,054682	3,075913	-0,01886
C07	15,4611	-0,058892	6,3106	-0,030646
C08	26,6902	-0,051981	5,0327	-0,027163
C09	29,77007	-0,057361	10,18933	-0,032725
C10	6,506467	-0,058438	0,90535	-0,075534
C11	2,110453	-0,08473	1,718593	-0,053949
C12	14,07157	-0,05143	4,248067	-0,017266
C13	-----	-----	-----	-----
C14	2,232177	-0,067693	0,105043	-0,040952
C15	9,474633	-0,045405	1,57439	-0,024778
C16	2,430417	-0,058323	0,93634	-0,071963
C17	36,43833	-0,053086	7,031067	-0,029402
C18	32,59707	-0,053408	6,613933	-0,024197
C19	-----	-----	-----	-----
C20	-----	-----	-----	-----
C21	4,532667	-0,058867	1,272477	-0,063696
C22	29,10783	-0,053279	3,223143	-0,045835
C23	-----	-----	-----	-----
C24	25,15963	-0,051564	-1,33069	-0,077212
C25	3,4469	-0,055152	0,243095	0,0978082
C26	5,578133	-0,056203	1,46155	-0,037645
C27	3,805067	-0,045574	0,580227	-0,096607
C28	4,480567	-0,057317	1,127397	-0,064793
C29	2,566407	-0,054841	0,604213	0,0198566
C30	-----	-----	-----	-----
C31	1,39396	-0,11683	-5,9231	-0,057999
C32	11,77623	-0,050126	1,8946	-0,014077
C33	73,2321	-0,057977	25,63587	-0,018987
C34	77,46633	-0,0564	31,6638	-0,015162
C35	36,935	-0,048758	7,101667	-0,02817
C36	35,44	-0,052699	6,193833	-0,029608
C37	7,8132	-0,058055	1,278403	-0,057657



C38	6,5396	-0,05508	1,618273	0,0037075
C39	16,98993	-0,052608	3,085613	-0,019881
C40	9,2775	-0,052125	1,121317	0,0014863
C41	37,80133	0,8186112	9,038367	-0,026192
C42	-----	-----	-----	-----
C43	14,0692	-0,04883	0,641217	-0,033801
C44	-----	-----	-----	-----
C45	20,62817	-0,05578	3,656267	-0,04378
C46	1,45277	-0,030067	0,228042	-0,164861
C47	21,75097	-0,05965	10,16507	-0,020335
C48	5,539	-0,060216	1,39148	-0,010541
C49	25,78223	-0,051354	4,094333	-0,040723
C50	23,47123	-0,067788	21,59873	-0,02192
C51	19,28173	-0,055697	5,850433	-0,030206
C52	9,186133	-0,05228	3,764	-0,017715
C53	5,446	-0,055117	1,534513	-0,011731
C54	11,30777	-0,051023	1,511497	-0,010807
C55	1,724947	-0,054911	0,317119	-0,037434
C56	8,809767	-0,054136	1,952573	-0,012293
C57	17,5842	-0,052347	3,412967	-0,028331
C58	-----	-----	-----	-----
C59	8,5657	-0,058796	3,419	-0,019503
C60	-----	-----	-----	-----
C61	7,040667	-0,047366	0,932397	-0,006793
C62	1,628937	-0,078026	0,662207	-0,081612
C63	-----	-----	-----	-----
C64	0,79749	-0,103347	-0,38021	-0,054386

## Anexo K – Valores para $V$ e $\theta$ obtidos pelo *software SKM* (Padua, 2011)

Tabela 13 - Valores para  $V$  e  $\theta$  obtidos pelo *software SKM* (Padua, 2011)

Barra	Grandeza	Carga Leve	Carga Média	Carga Pesada
C02	$V(\%)$	102,65	102,24	102,22
	$\theta(^{\circ})$	-0,71	-1,81	-1,99
C03	$V(\%)$	101,32	101,42	101,91
	$\theta(^{\circ})$	-0,85	-1,88	-1,96
C04	$V(\%)$	102,64	102,14	101,79
	$\theta(^{\circ})$	-0,64	-1,69	-1,97
C05	$V(\%)$	107,87	107,31	107,14
	$\theta(^{\circ})$	-0,64	-1,73	-1,97
C06	$V(\%)$	101,52	101,44	101,35
	$\theta(^{\circ})$	-0,69	-1,78	-1,98
C07	$V(\%)$	102,42	101,13	101,1
	$\theta(^{\circ})$	-0,72	-1,83	-1,97
C08	$V(\%)$	102,46	101,49	101,4
	$\theta(^{\circ})$	-0,7	-2,2	-2,45
C09	$V(\%)$	102,31	99,47	101,64
	$\theta(^{\circ})$	-0,66	-2,04	-1,93
C10	$V(\%)$	102,35	101,9	101,84
	$\theta(^{\circ})$	-0,71	-1,78	-1,97
C11	$V(\%)$	102,29	101,87	101,92
	$\theta(^{\circ})$	-0,62	-1,63	-1,77
C12	$V(\%)$	102,41	101,46	101,12
	$\theta(^{\circ})$	-0,68	-1,83	-2,08
C13	$V(\%)$	-----	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----	-----
C14	$V(\%)$	102,41	101,99	102,05
	$\theta(^{\circ})$	-0,65	-1,69	-1,85
C15	$V(\%)$	102,03	101,17	101,01
	$\theta(^{\circ})$	-0,71	-1,99	-2,24
C16	$V(\%)$	102,41	101,46	101,12
	$\theta(^{\circ})$	-0,64	-1,68	-1,85
C17	$V(\%)$	102,25	101,5	101,23
	$\theta(^{\circ})$	-0,7	-1,87	-2,14

C18	V(%)	102,19	101,43	101,31
	$\theta(^{\circ})$	-0,72	-1,89	-2,1
C19	V(%)	-----	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----	-----
C20	V(%)	-----	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----	-----
C21	V(%)	102,36	101,86	101,8
	$\theta(^{\circ})$	-0,66	-1,71	-1,91
C22	V(%)	102,25	101,36	101,37
	$\theta(^{\circ})$	-1,08	-2,23	-2,4
C23	V(%)	-----	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----	-----
C24	V(%)	102,27	101,17	101,42
	$\theta(^{\circ})$	-0,71	-2,38	-2,5
C25	V(%)	102,34	101,85	101,83
	$\theta(^{\circ})$	-0,69	-1,74	-1,92
C26	V(%)	102,32	101,9	101,94
	$\theta(^{\circ})$	-0,69	-1,7	-1,85
C27	V(%)	102,33	101,95	102
	$\theta(^{\circ})$	-0,7	-1,69	-1,84
C28	V(%)	102,37	101,72	101,72
	$\theta(^{\circ})$	-0,66	-1,77	-1,93
C29	V(%)	101,82	101,78	101,86
	$\theta(^{\circ})$	-0,68	-1,76	-1,88
C30	V(%)	-----	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----	-----
C31	V(%)	102,68	102,33	102,37
	$\theta(^{\circ})$	-0,86	-1,92	-2,06
C32	V(%)	102,28	101,58	101,43
	$\theta(^{\circ})$	-0,71	-1,87	-2,08
C33	V(%)	100,23	99,48	99,43
	$\theta(^{\circ})$	-1,77	-3,1	-3,31
C34	V(%)	100,07	99,26	99,2
	$\theta(^{\circ})$	-1,67	-2,97	-3,18
C35	V(%)	102,35	101,3	101,15
	$\theta(^{\circ})$	-0,72	-2,11	-2,36
C36	V(%)	102,4	101,37	101,28
	$\theta(^{\circ})$	-0,69	-1,9	-2,09

C37	V(%)	102,44	101,6	101,52
	$\theta(^{\circ})$	-0,66	-1,86	-2,05
C38	V(%)	97,28	95,82	96,14
	$\theta(^{\circ})$	-0,64	-1,9	-2,03
C39	V(%)	101,85	100,18	100,03
	$\theta(^{\circ})$	-0,71	-2,22	-2,43
C40	V(%)	101,91	101,47	101,46
	$\theta(^{\circ})$	-0,84	-1,99	-2,15
C41	V(%)	101,52	100,66	100,59
	$\theta(^{\circ})$	-1,26	-2,57	-2,79
C42	V(%)	-----	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----	-----
C043	V(%)	102,54	101,32	101,23
	$\theta(^{\circ})$	-0,66	-2,05	-2,26
C44	V(%)	-----	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----	-----
C45	V(%)	102,33	101,8	101,67
	$\theta(^{\circ})$	-0,73	-1,82	-2,1
C46	V(%)	102,58	101,89	101,89
	$\theta(^{\circ})$	-0,63	-2,05	-2,26
C47	V(%)	102,43	100,78	100,64
	$\theta(^{\circ})$	-0,67	-2,04	-2,25
C48	V(%)	102,55	101,99	101,93
	$\theta(^{\circ})$	-0,63	-1,73	-1,9
C49	V(%)	102,53	101,64	101,68
	$\theta(^{\circ})$	-0,64	-1,82	-1,99
C50	V(%)	102,58	101,31	101,39
	$\theta(^{\circ})$	-0,64	-1,6	-1,75
C51	V(%)	102,4	101,14	101,06
	$\theta(^{\circ})$	-0,68	-2,01	-2,21
C52	V(%)	102,58	101,51	101,6
	$\theta(^{\circ})$	-0,67	-1,83	-1,97
C53	V(%)	102,64	101,93	101,91
	$\theta(^{\circ})$	-0,62	-1,7	-1,88
C54	V(%)	102,59	101,7	101,55
	$\theta(^{\circ})$	-0,64	-1,79	-1,98
C55	V(%)	102,58	101,97	101,97
	$\theta(^{\circ})$	-0,63	-1,68	-1,86

C56	V(%)	102,46	101,29	101,27
	$\theta(^{\circ})$	-0,7	-1,95	-2,1
C57	V(%)	102,47	101,52	101,15
	$\theta(^{\circ})$	-0,67	-1,88	-2,31
C58	V(%)	-----	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----	-----
C59	V(%)	102,53	101,9	101,74
	$\theta(^{\circ})$	-0,66	-1,7	-1,92
C60	V(%)	-----	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----	-----
C61	V(%)	102,7	102,25	102,18
	$\theta(^{\circ})$	-0,63	-1,71	-1,9
C62	V(%)	100,13	101,61	101,97
	$\theta(^{\circ})$	0,15	-1,59	-1,67
C63	V(%)	-----	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----	-----
C64	V(%)	102,71	102,39	102,48
	$\theta(^{\circ})$	-0,64	-1,66	-1,8

## Anexo L – Comparação do *PSCAD* com os dados simulados por *SKM* (Padua, 2011) para o cenário de carga leve

Tabela 14 - Comparação do *PSCAD* com os dados simulados por *SKM* (Padua, 2011) para o cenário de carga leve

Carga	Grandeza	Calculado	Desvio (%)
C02	V(%)	104,415455	-1,719877784
	$\theta(^{\circ})$	-0,7242	-2
C03	V(%)	103,424545	-2,077127373
	$\theta(^{\circ})$	-0,969	-14
C04	V(%)	103,655	-0,988893219
	$\theta(^{\circ})$	-0,6449	-0,76562
C05	V(%)	109,629545	-1,631172202
	$\theta(^{\circ})$	-0,6576	-2,75
C06	V(%)	103,443636	-1,894834874
	$\theta(^{\circ})$	-0,8016	-16,1739
C07	V(%)	103,485	-1,03983597
	$\theta(^{\circ})$	-0,7192	0,111111111
C08	V(%)	104,089091	-1,589977463
	$\theta(^{\circ})$	-0,7144	-2,057142857
C09	V(%)	104,017727	-1,669169458
	$\theta(^{\circ})$	-0,6937	-5,106060606
C10	V(%)	104,010909	-1,622773904
	$\theta(^{\circ})$	-0,7189	-1,25352
C11	V(%)	103,935455	-1,608617211
	$\theta(^{\circ})$	-0,6508	-4,96774
C12	V(%)	104,038182	-1,589866046
	$\theta(^{\circ})$	-0,6811	-0,16176
C13	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C14	V(%)	104,034545	-1,586315257
	$\theta(^{\circ})$	-0,6506	-0,092307692
C15	V(%)	103,719091	-1,655484572
	$\theta(^{\circ})$	-0,7413	-4,408450704
C16	V(%)	103,358636	-0,926312239
	$\theta(^{\circ})$	-0,6439	-0,609375
C17	V(%)	103,881818	-1,595910202
	$\theta(^{\circ})$	-0,7096	-1,371428571
C18	V(%)	103,839545	-1,614194593
	$\theta(^{\circ})$	-0,7331	-1,819444444
C19	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C20	V(%)	-----	-----

	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C21	V(%)	103,934545	-1,538242922
	$\theta(^{\circ})$	-0,6711	-1,681818182
C22	V(%)	103,933636	-1,646588131
	$\theta(^{\circ})$	-1,0479	2,972222222
C23	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C24	V(%)	103,852273	-1,547152369
	$\theta(^{\circ})$	-0,719	-1,267605634
C25	V(%)	103,296364	-0,93449642
	$\theta(^{\circ})$	-0,6883	0,246376812
C26	V(%)	103,921818	-1,565498614
	$\theta(^{\circ})$	-0,6987	-1,260869565
C27	V(%)	103,934091	-1,567566607
	$\theta(^{\circ})$	-0,7016	-0,228571429
C28	V(%)	103,315455	-0,923566031
	$\theta(^{\circ})$	-0,669	-1,363636364
C29	V(%)	103,503182	-1,65309548
	$\theta(^{\circ})$	-0,7399	-8,808823529
C30	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C31	V(%)	104,255455	-1,534334384
	$\theta(^{\circ})$	-0,7857	8,639534884
C32	V(%)	103,445455	-1,139474526
	$\theta(^{\circ})$	-0,7144	-0,61971831
C33	V(%)	102,258182	-2,023527704
	$\theta(^{\circ})$	-1,8374	-3,807909605
C34	V(%)	102,125909	-2,054470961
	$\theta(^{\circ})$	-1,7585	-5,299401198
C35	V(%)	103,883636	-1,498423413
	$\theta(^{\circ})$	-0,7956	-10,5
C36	V(%)	103,993182	-1,555841619
	$\theta(^{\circ})$	-0,7712	-11,76811594
C37	V(%)	103,968636	-1,492226048
	$\theta(^{\circ})$	-0,7477	-13,28787879
C38	V(%)	98,6418182	-1,399895335
	$\theta(^{\circ})$	-0,69896	-9,2125
C39	V(%)	103,591364	-1,709733565
	$\theta(^{\circ})$	-0,7824	-10,1972
C40	V(%)	103,679091	-1,735934559
	$\theta(^{\circ})$	-0,8198	2,404762
C41	V(%)	103,311818	-1,764990329
	$\theta(^{\circ})$	-1,3199	-4,75397
C42	V(%)	-----	-----

	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C43	V(%)	103,445455	-0,883025693
	$\theta(^{\circ})$	-0,6831	-3,5
C44	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C45	V(%)	103,910455	-1,544468431
	$\theta(^{\circ})$	-0,7751	-6,17808
C46	V(%)	103,915909	-1,3023095
	$\theta(^{\circ})$	-0,7002	-11,1429
C47	V(%)	103,982727	-1,515891119
	$\theta(^{\circ})$	-0,7137	-6,52239
C48	V(%)	100,2282	2,264066309
	$\theta(^{\circ})$	-0,669	-6,19048
C49	V(%)	104,087273	-1,518845925
	$\theta(^{\circ})$	-0,6802	-6,28125
C50	V(%)	104,104091	-1,485758344
	$\theta(^{\circ})$	-0,6733	-5,20312
C51	V(%)	103,945	-1,508789062
	$\theta(^{\circ})$	-0,7273	-6,95588
C52	V(%)	103,643182	-1,036441624
	$\theta(^{\circ})$	-0,6943	-3,62687
C53	V(%)	103,243636	-0,588110253
	$\theta(^{\circ})$	-0,6483	-4,56452
C54	V(%)	104,152727	-1,523274464
	$\theta(^{\circ})$	-0,6674	-4,28125
C55	V(%)	104,130909	-1,511902019
	$\theta(^{\circ})$	-0,6572	-4,31746
C56	V(%)	104,071818	-1,573119444
	$\theta(^{\circ})$	-0,7359	-5,12857
C57	V(%)	104,092273	-1,583168466
	$\theta(^{\circ})$	-0,7127	-2,0639
C58	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C59	V(%)	104,138636	-1,568942128
	$\theta(^{\circ})$	-0,7049	-6,80303
C60	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C61	V(%)	103,405455	-0,686908029
	$\theta(^{\circ})$	-0,6722	-6,69841
C62	V(%)	102,651364	-2,518090119
	$\theta(^{\circ})$	-0,3331	322,0667
C63	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C64	V(%)	102,355	0,345633337



	$\theta(^{\circ})$	-0,6619	-3,42188
--	--------------------	---------	----------

## Anexo M – Comparação do *PSCAD* com os dados simulados por *SKM* (Padua, 2011) para o cenário de carga média

Tabela 15 - Comparação do *PSCAD* com os dados simulados por *SKM* (Padua, 2011) para o cenário de carga média

Carga	Grandeza	Calculado	Desvio (%)
C02	V(%)	103,7364	-1,4635795
	$\theta(^{\circ})$	-1,8305	-1,1325967
C03	V(%)	103,1709	-1,7263943
	$\theta(^{\circ})$	-1,9439	-3,3989362
C04	V(%)	103,5727	-1,4027093
	$\theta(^{\circ})$	-1,7041	-0,8343195
C05	V(%)	108,8691	-1,452885
	$\theta(^{\circ})$	-1,748	-1,0404624
C06	V(%)	103,0802	-1,6169433
	$\theta(^{\circ})$	-1,8379	-3,252809
C07	V(%)	102,8459	-1,696736
	$\theta(^{\circ})$	-1,8994	-3,7923497
C08	V(%)	103,0532	-1,5402324
	$\theta(^{\circ})$	-2,2074	-0,3363636
C09	V(%)	102,8205	-3,3683066
	$\theta(^{\circ})$	-2,0782	-1,872549
C10	V(%)	103,3436	-1,4167187
	$\theta(^{\circ})$	-1,7778	0,12359551
C11	V(%)	103,2855	-1,3894714
	$\theta(^{\circ})$	-1,6624	-1,9877301
C12	V(%)	103,0259	-1,5433758
	$\theta(^{\circ})$	-1,8588	-1,5737705
C13	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C14	V(%)	103,3641	-1,34728
	$\theta(^{\circ})$	-1,6873	0,15976331
C15	V(%)	102,8168	-1,6277732
	$\theta(^{\circ})$	-2,0125	-1,1306533
C16	V(%)	103,3632	-1,8757952
	$\theta(^{\circ})$	-1,6742	0,3452381
C17	V(%)	103,0241	-1,5015674
	$\theta(^{\circ})$	-1,8804	-0,5561497
C18	V(%)	102,9768	-1,5250105
	$\theta(^{\circ})$	-1,9102	-1,0687831
C19	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C20	V(%)	-----	-----

	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C21	V(%)	103,2232	-1,3382896
	$\theta(^{\circ})$	-1,72	-0,5847953
C22	V(%)	102,8923	-1,5117134
	$\theta(^{\circ})$	-2,2319	-0,0852018
C23	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C24	V(%)	102,7923	-1,6035116
	$\theta(^{\circ})$	-2,3682	0,49579832
C25	V(%)	103,2241	-1,349132
	$\theta(^{\circ})$	-1,734	0,34482759
C26	V(%)	103,2718	-1,3462396
	$\theta(^{\circ})$	-1,7081	-0,4764706
C27	V(%)	103,3068	-1,3308663
	$\theta(^{\circ})$	-1,6943	-0,2544379
C28	V(%)	102,5732	-0,8387552
	$\theta(^{\circ})$	-1,7781	-0,4576271
C29	V(%)	103,1764	-1,3719431
	$\theta(^{\circ})$	-1,7595	0,02840909
C30	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C31	V(%)	103,6732	-1,3125983
	$\theta(^{\circ})$	-1,8263	4,88020833
C32	V(%)	103,0505	-1,4475827
	$\theta(^{\circ})$	-1,8682	0,09625668
C33	V(%)	101,3714	-1,9012501
	$\theta(^{\circ})$	-3,1643	-2,0741935
C34	V(%)	101,1982	-1,9526313
	$\theta(^{\circ})$	-3,0691	-3,3367003
C35	V(%)	102,7514	-1,432738
	$\theta(^{\circ})$	-2,3934	-13,4313
C36	V(%)	102,8995	-1,5088739
	$\theta(^{\circ})$	-2,056	-8,21053
C37	V(%)	103,0195	-1,3971904
	$\theta(^{\circ})$	-2,0409	-9,72581
C38	V(%)	97,26909	-1,5123053
	$\theta(^{\circ})$	-2,2024	-15,9158
C39	V(%)	102,1591	-1,9755349
	$\theta(^{\circ})$	-2,3742	-6,94595
C40	V(%)	103,0473	-1,5544227
	$\theta(^{\circ})$	-2,0666	-3,8492462
C41	V(%)	102,3827	-1,7114318
	$\theta(^{\circ})$	-2,7413	-6,66537
C42	V(%)	-----	-----

	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C43	V(%)	102,9673	-1,625812
	$\theta(^{\circ})$	-2,177	-6,19512
C44	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C45	V(%)	103,2168	-1,3917664
	$\theta(^{\circ})$	-1,9659	-8,01648
C46	V(%)	101,8409	0,0481803
	$\theta(^{\circ})$	-2,2065	-32,9217
C47	V(%)	102,4432	-1,6503094
	$\theta(^{\circ})$	-2,2529	-10,4363
C48	V(%)	103,3786	-1,3615417
	$\theta(^{\circ})$	-1,8634	-7,71098
C49	V(%)	103,1732	-1,5084433
	$\theta(^{\circ})$	-1,9741	-8,46703
C50	V(%)	102,8173	-1,4877828
	$\theta(^{\circ})$	-1,856	-16
C51	V(%)	102,7709	-1,6125263
	$\theta(^{\circ})$	-2,1886	-8,88557
C52	V(%)	103,0009	-1,4687312
	$\theta(^{\circ})$	-1,9977	-9,16393
C53	V(%)	103,3182	-1,3618972
	$\theta(^{\circ})$	-1,8476	-8,68235
C54	V(%)	103,2527	-1,5267721
	$\theta(^{\circ})$	-1,9282	-7,72067
C55	V(%)	103,3864	-1,3890003
	$\theta(^{\circ})$	-1,8222	-8,46429
C56	V(%)	102,9632	-1,6518727
	$\theta(^{\circ})$	-2,1128	-8,34872
C57	V(%)	103,1509	-1,6064904
	$\theta(^{\circ})$	-2,0639	-9,7819149
C58	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C59	V(%)	103,3572727	-1,65187
	$\theta(^{\circ})$	-1,877	10,4118
C60	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C61	V(%)	103,6264	-1,3460769
	$\theta(^{\circ})$	-1,8717	-9,4561404
C62	V(%)	103,2777	-1,6413023
	$\theta(^{\circ})$	-1,7606	-10,7296
C63	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C64	V(%)	103,7541	-1,3322501

	$\theta(^{\circ})$	-1,7954	-8,1566265
--	--------------------	---------	------------

## Anexo N – Comparação do *PSCAD* com os dados simulados por *SKM* para o cenário de carga pesada

Tabela 16 - Comparação do *PSCAD* com os dados simulados por *SKM* (Padua, 2011) para o cenário de carga pesada

Carga	Grandeza	Calculado	Desvio (%)
C02	V(%)	103,5882	-1,33847
	$\theta(^{\circ})$	-2,0224	-1,62814
C03	V(%)	103,3873	-1,44959
	$\theta(^{\circ})$	-2,0038	-2,23469
C04	V(%)	103,2091	-1,39414
	$\theta(^{\circ})$	-2,0043	-1,74112
C05	V(%)	108,6286	-1,38943
	$\theta(^{\circ})$	-1,9937	-1,20305
C06	V(%)	102,8982	-1,52756
	$\theta(^{\circ})$	-2,0447	-3,26768
C07	V(%)	102,7027	-1,58529
	$\theta(^{\circ})$	-2,0621	-4,67513
C08	V(%)	102,8686	-1,44836
	$\theta(^{\circ})$	-2,466	-0,65306
C09	V(%)	103,0736	-1,4105
	$\theta(^{\circ})$	-1,9785	-2,51295
C10	V(%)	103,1855	-1,32115
	$\theta(^{\circ})$	-1,9859	-0,80711
C11	V(%)	103,1918	-1,24786
	$\theta(^{\circ})$	-1,8076	-2,12429
C12	V(%)	102,6818	-1,54452
	$\theta(^{\circ})$	-2,1408	-2,92308
C13	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C14	V(%)	103,2864	-1,21153
	$\theta(^{\circ})$	-1,8533	-0,17838
C15	V(%)	102,6109	-1,5849
	$\theta(^{\circ})$	-2,2657	-1,14732
C16	V(%)	103,17	-2,02729
	$\theta(^{\circ})$	-1,8664	-0,88649
C17	V(%)	102,7268	-1,47863
	$\theta(^{\circ})$	-2,1659	-1,21028
C18	V(%)	102,7786	-1,44965
	$\theta(^{\circ})$	-2,1258	-1,22857
C19	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----

C20	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C21	V(%)	103,0655	-1,24308
	$\theta(^{\circ})$	-1,9259	-0,83246
C22	V(%)	102,7805	-1,39139
	$\theta(^{\circ})$	-2,4046	-0,19167
C23	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C24	V(%)	102,8877	-1,44718
	$\theta(^{\circ})$	-2,4886	0,456
C25	V(%)	103,0977	-1,24494
	$\theta(^{\circ})$	-1,9259	-0,30729
C26	V(%)	103,1777	-1,21417
	$\theta(^{\circ})$	-1,8668	-0,90811
C27	V(%)	103,2182	-1,1943
	$\theta(^{\circ})$	-1,8488	-0,47826
C28	V(%)	103,0118	-1,26997
	$\theta(^{\circ})$	-1,9497	-1,02073
C29	V(%)	103,1077	-1,22494
	$\theta(^{\circ})$	-1,8873	-0,3883
C30	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C31	V(%)	103,5805	-1,18243
	$\theta(^{\circ})$	-1,978	3,980583
C32	V(%)	102,8359	-1,38609
	$\theta(^{\circ})$	-2,094	-0,67308
C33	V(%)	101,2091	-1,78929
	$\theta(^{\circ})$	-3,3922	-2,48338
C34	V(%)	101,0255	-1,84018
	$\theta(^{\circ})$	-3,2936	-3,57233
C35	V(%)	102,4927	-1,32746
	$\theta(^{\circ})$	-2,7107	-14,8602
C36	V(%)	102,7023	-1,4043
	$\theta(^{\circ})$	-2,2818	-9,17703
C37	V(%)	102,8155	-1,27606
	$\theta(^{\circ})$	-2,2755	-11
C38	V(%)	97,37227	-1,28175
	$\theta(^{\circ})$	-2,3041	-13,5025
C39	V(%)	101,622727	-1,59225
	$\theta(^{\circ})$	-2,6165	-7,6749
C40	V(%)	102,8491	-1,3691
	$\theta(^{\circ})$	-2,2143	-2,9907
C41	V(%)	102,14	-1,54091
	$\theta(^{\circ})$	-2,9905	-7,18638

C42	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C43	V(%)	102,7164	-1,4683
	$\theta(^{\circ})$	-2,417	-6,9469
C44	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C45	V(%)	102,9482	-1,25719
	$\theta(^{\circ})$	-2,2674	-7,97132
C46	V(%)	101,47	0,412209
	$\theta(^{\circ})$	-2,4183	-32,8736
C47	V(%)	102,1468	-1,49724
	$\theta(^{\circ})$	-2,5036	-11,2711
C48	V(%)	103,1409	-1,18798
	$\theta(^{\circ})$	-2,0721	-9,05789
C49	V(%)	103,0109	-1,30892
	$\theta(^{\circ})$	-2,1631	-8,69849
C50	V(%)	102,6873	-1,27949
	$\theta(^{\circ})$	-2,0267	-15,8114
C51	V(%)	102,5273	-1,45188
	$\theta(^{\circ})$	-2,4195	-9,47964
C52	V(%)	102,88	-1,25984
	$\theta(^{\circ})$	-2,162	-9,47964
C53	V(%)	103,1168	-1,1842
	$\theta(^{\circ})$	-2,0552	-9,31915
C54	V(%)	102,9723	-1,40056
	$\theta(^{\circ})$	-2,1574	-8,9596
C55	V(%)	103,205	-1,21114
	$\theta(^{\circ})$	-2,0218	-8,69892
C56	V(%)	102,7605	-1,47176
	$\theta(^{\circ})$	-2,2968	-9,37143
C57	V(%)	102,7291	-1,56114
	$\theta(^{\circ})$	-2,3344	-9,59624
C58	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C59	V(%)	103,0641	-1,30145
	$\theta(^{\circ})$	-2,1341	-11,151
C60	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----
C61	V(%)	103,4036	-1,19753
	$\theta(^{\circ})$	-2,0778	-9,35789
C62	V(%)	103,3041	-1,30832
	$\theta(^{\circ})$	-1,8764	-12,3593
C63	V(%)	-----	-----
	$\theta(^{\circ})$	-----	-----



C64	V(%)	103,6391	-1,13104
	$\theta(^{\circ})$	-1,9428	7,93333

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMADA, J. B. **Análise de impactos e soluções na integração da geração distribuída ao sistema elétrico.** 2010. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Colegiado de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. **Perdas na distribuição: baixa tensão, altos prejuízos – Reportagem Especial Canal Energia.**

Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/imprensa/artigos-e-releases/1018-perdas-na-distribuicao-baixa-tensao-altos-prejuizos-reportagem-especial-canal-energia>>

Acesso: 06 mar. 2014

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA FONSECA. **Subestações: tipos, equipamentos e proteção.** Rio de Janeiro, Novembro 1999.

GARCIA, D. A. A.; DUZZI JR., F. E. Tópicos de sistemas de transmissão e de distribuição de energia elétrica. **O Setor Elétrico**, São Paulo, 2012, Ed.74, p. 52-63, mar. 2012.

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA FONSECA. **Capacitores: instalação e correção do fator de potência.** Rio de Janeiro, Janeiro 2000.

DOS SANTOS, V.K. **Avaliação do desempenho dos transformadores do sistema de distribuição de energia elétrica do Campus de Goiabeiras da UFES.** 2012. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Colegiado de Engenharia Elétrica, Vitória 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2013-2022).** Rio de Janeiro, dezembro de 2012.

ENCARNAÇÃO, L.F. **Notas de aula de distribuição de energia elétrica.** Vitória, Novembro de 2013.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY Jr., C.; UMANS, S. D. **Máquinas Elétricas.** 6. ed. Porto

Alegre: Bookman, 2006.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO CEARÁ.

**Apostila de construção de redes de distribuição.** Cedro, 2011.

LIGHT. **Conceitos Smart Grid.**

Disponível em: <<http://smartgridlight.com.br/conceitos-smart-grid/>>

Acesso: 06 mar. 2014

MAMED FILHO, J. **Instalações Elétricas Industriais.** 8. ed. Rio de Janeiro, LTC 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **CMSE: abastecimento elétrico está garantido.**

Disponível em:

<[http://www.mme.gov.br/mme/noticias/lista\\_destaque/destaque\\_999063.html](http://www.mme.gov.br/mme/noticias/lista_destaque/destaque_999063.html)>

Acesso: 06 mar. 2014

PADUA, D. B. **Modelagem e análise do sistema elétrico de distribuição de 11,4 kV do Campus de Goiabeiras da UFES.** 2011. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Colegiado de Engenharia Elétrica, Vitória 2011.

SHREEM AMERICA

Disponível em: <<http://shreemla.com/productos-condensadores-altatension-br.htm>>

Acesso: 06 mar. 2014