

Maria Cecília Costa Lima

Geração Automática de Visões do Sistema Elétrico de Potência

João Pessoa - Paraíba

Novembro de 2018

Maria Cecilia Costa Lima

Geração Automática de Visões do Sistema Elétrico de Potência

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Universidade Federal da Paraíba como exi-
gência para a obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Elétrica.

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Energias Alternativas e Renováveis
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

Orientador: Dr. Helon David de Macêdo Braz

João Pessoa - Paraíba
Novembro de 2018

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

L732g Lima, Maria Cecilia Costa.

Geração Automática de Visões do Sistema Elétrico de
Potência / Maria Cecilia Costa Lima. - João Pessoa,
2018.

59 f. : il.

Orientação: Helon David Macêdo Braz.
Monografia (Graduação) - UFPB/CEAR.

1. Sistema Interligado Nacional. 2. Algoritmos de
Visualização do SEP. 3. ANAFAS. I. Braz, Helon David
Macêdo. II. Título.

UFPB/BC

Agradecimentos

Aos meus pais, Fernando e Maria do Carmo, por terem me dado todo o apoio, amor e incentivo necessários para que eu chegasse até aqui.

À minha irmã, Maria Luiza, por tornar minha vida mais leve nos momentos difíceis e me ajudar sempre que possível.

Ao meu amigo Handerson, pela companhia nas noites e madrugadas de estudos, por ter tantas vezes me ajudado pacientemente e pelo apoio nas horas difíceis, principalmente durante o último ano.

Ao professor Helon, a quem admiro muito, por aceitar ser meu orientador e pela paciência e didática nas explicações.

À todos os professores do departamento de Engenharia Elétrica da UFPB, por terem compartilhado o conhecimento comigo e terem contribuído, direta ou indiretamente com esse trabalho.

Resumo

O Sistema Interligado Nacional (SIN) é de imensa importância para a transmissão de energia no país e possui grande complexidade. A tarefa de analisar os dados de subestações e de circuitos contidos no SIN é feita manualmente por engenheiros de potência de entidades como o Operador Nacional do Sistema (ONS) e a Empresa de Pesquisa de Energia (EPE), que utilizam o programa de Análise de Falhas Simultâneas (ANAFAS) como banco de dados. Tal atividade é extremamente complicada e susceptível a erros, devido ao grande número de subestações e circuitos presentes no Brasil e aos dados que são disponibilizados pelo ANAFAS, que envolvem representações de equipamentos em forma de linhas de texto.

Neste trabalho são propostos algoritmos que possibilitam a visualização dos arquivos de dados do ANAFAS de maneira mais prática, permitindo a comparação dos mesmos com dados de subestações reais. Como resultado são mostrados equipamentos inseridos por subestação e um mapa de subestações, o que facilita o trabalho dos usuários do ANAFAS contribuindo para uma validação do sistema de forma mais objetiva e simples.

Palavras-chave: Sistema Interligado Nacional, Algoritmos de Visualização do SEP, ANAFAS.

Abstract

The Sistema Interligado Nacional (SIN) has great significance for the transmission of energy in the country and has great complexity. The analysis of substations and circuits data contained in the SIN is handled manually by power engineers of entities such as Operador Nacional do Sistema (ONS) and Empresa de Pesquisa de Energia (EPE), which use the Análise de Falhas Simultâneas (ANAFAS) program as database. Such activity is extremely complicated and susceptible to errors, due to the great number of substations and circuits present in Brazil and the data that are made available by ANAFAS, which involve representations of equipment in the form of lines of text.

In this work, algorithms to enable the visualization of ANAFAS data files in a more practical way are proposed, allowing the comparison of data with real substation data. As a result, the equipment inserted by substation and a map of substations are shown, which make the work of ANAFAS users easier and contributes to a more objective and simple system validation.

Keywords: Sistema Interligado Nacional, SEP Visualization Algorithms, ANAFAS

Lista de ilustrações

Figura 1.1 – Mapa do Sistema Interligado Nacional.	13
Figura 2.1 – Exemplo de arquivo de dados do ANAFAS.	17
Figura 2.2 – Exemplo de bloco de barras do ANAFAS.	18
Figura 2.3 – Exemplo de bloco de circuitos do ANAFAS.	21
Figura 2.4 – Trafo de dois enrolamentos.	21
Figura 2.5 – Representação do trafo de dois enrolamentos no bloco de circuitos do ANAFAS.	22
Figura 2.6 – Gerador.	22
Figura 2.7 – Representação do gerador no bloco de circuitos do ANAFAS.	22
Figura 2.8 – Shunt.	23
Figura 2.9 – Representação do reator no bloco de circuitos do ANAFAS.	23
Figura 2.10 – Trafo de três enrolamentos.	24
Figura 2.11 – Representação do trafo de três enrolamentos no bloco de circuitos do ANAFAS.	24
Figura 2.12 – Exemplo de bloco de impedâncias mútuas do ANAFAS.	25
Figura 2.13 – Exemplo de bloco de proteção MOV do ANAFAS.	26
Figura 2.14 – Exemplo de bloco de shunt de linha do ANAFAS.	28
Figura 2.15 – Exemplo de bloco de geradores eólicos síncronos do ANAFAS.	29
Figura 2.16 – Exemplo de bloco de área do ANAFAS.	29
Figura 2.17 – Busca em largura feita em um grafo.	31
Figura 2.18 – Diagrama da subestação Pau-Ferro.	34
Figura 2.19 – Exemplo de aplicação da biblioteca Folium.	35
Figura 3.1 – Fluxograma utilizado na implementação da classe CAnaDocument.	37
Figura 3.2 – Fluxograma utilizado na implementação das classes DBAR, DEOL, DARE.	38
Figura 3.3 – Fluxograma utilizado na implementação das classes DMOV, DMUT, DSHL.	39
Figura 3.4 – Fluxograma utilizado na implementação da classe DCIR.	40
Figura 3.5 – Fluxograma utilizado na implementação da rotina Infere Circuitos.	41
Figura 3.6 – Fluxograma utilizado na implementação da rotina Infere Circuitos.	42
Figura 3.7 – Fluxograma utilizado na implementação da rotina Infere Circuitos.	43
Figura 3.8 – Arquivo de entrada com dados de subestações.	44
Figura 3.9 – Fluxograma utilizado para implementação da rotina Identifica Subestações.	45
Figura 4.1 – Interface gráfica utilizada para entrada de arquivo de dados do ANAFAS pelo usuário.	46

Figura 4.2 – Interface gráfica utilizada para entrada de arquivo de subestações pelo usuário.	47
Figura 4.3 – Coluna com o tipo de circuito no bloco de circuitos.	49
Figura 4.4 – Bloco DBAR após inferir subestações	51
Figura 4.5 – Bloco DBAR da subestação Pau-Ferro (PFE)	52
Figura 4.6 – Bloco DCIR da subestação Pau-Ferro (PFE)	53
Figura 4.7 – Bloco DMUT da subestação Pau-Ferro (PFE)	54
Figura 4.8 – Bloco DSHL da subestação Pau-Ferro (PFE)	54
Figura 4.9 – Mapa incluindo subestações, obtido como resultado do programa.	55
Figura 4.10–Visão aproximada do mapa de subestações.	56
Figura 4.11–Sigla da subestação no mapa.	56

Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Dados de barra	18
Tabela 2.2 – Dados de circuito	19
Tabela 2.3 – Dados de impedância mútua	25
Tabela 2.4 – Dados de proteção MOV	26
Tabela 2.5 – Dados de shunt de linha	27
Tabela 2.6 – Dados de geradores eólicos síncronos	28
Tabela 2.7 – Dados de geradores eólicos síncronos	29

Lista de abreviaturas e siglas

<i>ANAFAS</i>	Programa de Análise de Falhas Simultâneas comercializado pelo CEPEL
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BFS	<i>Breadth-First Search</i>
CEPEL	Centro de Pesquisas em Engenharia Elétrica
CHESF	Companhia Hidrelétrica do São Francisco
DBAR	Dados de Barra
DCIR	Dados de Circuitos
DMUT	Dados de Impedância Mútua
DMOV	Dados de Proteção MOV
DSHL	Dados de Shunt de Linha
DEOL	Dados de Geradores Eólicos Síncronos
DARE	Dados de Área
EPE	Empresa de Planejamento Energético
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
SIN	Sistema Interligado Nacional

Sumário

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Sistema Interligado Nacional (SIN)	12
1.2	ANAFAS	13
1.3	Motivação	14
1.4	Objetivos	15
1.4.1	Objetivo geral	15
1.4.2	Objetivos específicos	15
1.5	Organização	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	ANAFAS	16
2.1.1	Dados de Barra (DBAR)	17
2.1.2	Dados de Circuitos (DCIR)	19
2.1.2.1	Trafo de dois enrolamentos	21
2.1.2.2	Gerador	22
2.1.2.3	Shunt	23
2.1.2.4	Trafo de três enrolamentos	24
2.1.3	Dados de Impedância Mútua (DMUT)	24
2.1.4	Dados de proteção MOV (DMOV)	25
2.1.5	Dados de Shunt de Linha (DSHL)	26
2.1.6	Dados de Geradores Eólicos Síncronos (DEOL)	28
2.1.7	Dados de Área (DARE)	29
2.2	Busca em Largura	29
2.3	Fundamentos de Subestação	31
2.3.1	Equipamentos de uma Subestação	32
2.3.1.1	Equipamentos de Transformação	32
2.3.1.2	Equipamentos de Manobra	32
2.3.1.3	Equipamentos para Compensação de Reativos	33
2.3.1.4	Equipamentos de Proteção	33
2.3.1.5	Equipamentos de Medição	33
2.4	Python	34
2.4.1	Folium	35
3	IMPLEMENTAÇÃO	37
3.1	Organização do projeto	37
3.2	Leitura de dados	38

3.3	Classes DBAR, DEOL e DARE	38
3.4	Classes DMOV, DMUT, DSHL	38
3.5	Classe DCIR	39
3.6	Inferre Tipo	40
3.7	Inferre Subestações	43
3.8	Identifica Subestações	43
3.9	Imprime Subestações	45
3.10	Desenha Mapa	45
4	RESULTADOS	46
4.1	Entrada de dados	46
4.2	Primeiros resultados: Relatório de informações do SIN	47
4.3	Executando Inferre Tipos	48
4.4	Executando Inferre Subestação	51
4.5	Executando Identifica Subestação	51
4.6	Executando Desenha Mapa	54
5	CONCLUSÃO	57
	REFERÊNCIAS	58

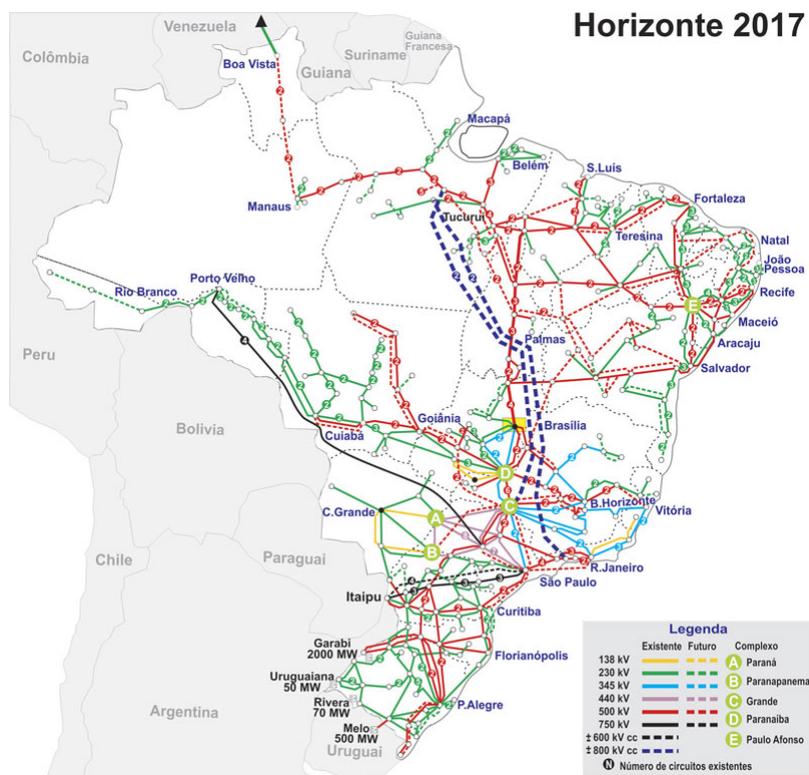
1 Introdução

Este capítulo é dividido em cinco seções. Primeiramente, uma visão geral sobre o Sistema Interligado Nacional e a base de dados do ANAFAS são apresentados. Na terceira seção, é descrita a motivação para realização do trabalho, sendo mostrado em seguida os objetivos gerais e específicos. Ao final é feita uma descrição resumida da organização do trabalho.

1.1 Sistema Interligado Nacional (SIN)

O Brasil é um país com dimensões continentais cuja geração de energia elétrica é majoritariamente proveniente de usinas hidrelétricas localizadas longe dos grandes centros urbanos e dos polos industriais, onde ocorre a maior parte do consumo. Para suprir a grande demanda energética, é feita a interconexão dos sistemas elétricos por meio de uma malha de transmissão, que propicia a transferência de energia entre subsistemas, permite a obtenção de ganhos sinérgicos e explora a diversidade entre os regimes hidrológicos de diferentes bacias (ONS, 2018a). Esse sistema interligado é denominado Sistema Interligado Nacional (SIN) (Figura 1.1). Atualmente, existem 237 localidades supridas por sistemas isolados do SIN no Brasil, no entanto, o consumo nessas localidades é baixo e representa menos de 1% da carga total do país (ONS, 2018b).

Figura 1.1 – Mapa do Sistema Interligado Nacional.



Fonte: Operador Nacional do Sistema (ONS), 2018.

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é o órgão responsável pela coordenação e controle da operação das instalações de geração e transmissão de energia elétrica no SIN e pelo planejamento da operação dos sistemas isolados do país, sob a fiscalização e regulação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) (ONS, 2018a). A operação e o planejamento de grandes sistemas como o SIN são atividades extremamente complexas que demandam estudos elétricos realizados continuamente, seja considerando o sistema íntegro ou sob contingências. Para cada tipo de estudo, são utilizados modelos matemáticos recomendados para os equipamentos que compõem o sistema de potência, resultando na existência simultânea de várias bases de dados. Uma dessas bases de dados é disponibilizada pelo Centro de Pesquisas em Engenharia Elétrica (CEPEL), através do programa computacional ANAFAS.

1.2 ANAFAS

O programa ANAFAS (Análise de Falhas Simultâneas) é utilizado para cálculo de curtos-circuitos na rede elétrica. Permite a execução automática de grande número de falhas,

inclusive deslizantes, resultados orientados a pontos de falta ou de monitoração, estudo automático de superação de disjuntores, obtenção de equivalentes e cálculo automático da evolução dos níveis de curto (CEPEL, 2018).

A base de dados utilizada pelo ANAFAS é um banco de dados de equipamentos mantido na forma de um arquivo de texto. O sistema elétrico é modelado por redes de sequência positiva e zero, através de seis grupos de dados:

- Dados de barra (DBAR);
- Dados de circuitos (DCIR);
- Dados de mútua (DMUT);
- Dados de shunt de linha (DSHL);
- Dados de MOVs (DMOV);
- Dados de geradores eólicos síncronos com conversor de frequência (DEOL).

A sequência negativa é modelada de forma análoga à sequência positiva.

Os dados dos circuitos são classificados pelo ANAFAS em sete tipos:

- Linha de transmissão;
- Transformador (ramo série e ramo shunt);
- Gerador;
- Capacitor/reator série;
- Capacitor/reator shunt (ligados a uma barra);
- Carga (impedância constante);
- Transformador de aterramento;

1.3 Motivação

Em geral, bases de dados de referência, como o ANAFAS são atualizadas e disponibilizadas aos agentes do setor por entidades de grande porte como o ONS ou a Empresa de Planejamento Energético (EPE). A base de dados usada pelo ANAFAS é um banco de dados de equipamentos mantido na forma de um arquivo de texto em que dentro de um bloco de dados \mathbf{B} , cada linha representa um elemento b da coleção \mathbf{B} que integra o modelo do sistema, onde intervalos fixos de colunas devem conter os vários atributos desses elementos. Trabalhar com esse arquivo de texto é extremamente trabalhoso, exaustivo e improdutivo.

Quando se trata do SIN, em que há milhares de barras e circuitos, fica evidente a dificuldade de manter as bases de dados de referência atualizadas e corretas. Em geral, o trabalho é manual e exaustivo, dificultando assim a análise dos dados e conseqüentemente aumentando as chances de erro. Além disso, esse problema tende a se agravar ao longo do tempo, pois o SIN tende a continuar crescendo.

Dessa forma, o presente trabalho visa contribuir para solucionar este problema, auxiliando os engenheiros na consistência dos dados de entrada que utilizam em estudos de simulação e análise.

1.4 Objetivos

Nesta seção os objetivos gerais e específicos serão descritos.

1.4.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver uma ferramenta computacional utilizando a linguagem de programação Python, com o propósito de auxiliar os engenheiros de sistemas de potência que trabalham diretamente na consistência e atualização das bases de dados de referência usadas nos estudos de curto-circuito, bem como auxiliar em análises ou simulações específicas desses modelos.

1.4.2 Objetivos específicos

- Criar de forma automática relatórios e visões do sistema elétrico de potência;
- Relatório de equipamentos por subestações (número de transformadores, geradores, linhas de transmissão, reatores, bancos de capacitores, etc.);
- Contribuição para uma melhor validação dos dados do sistema elétrico de potência brasileiro.

1.5 Organização

Este trabalho foi organizado em cinco capítulos. No primeiro capítulo é apresentada uma introdução sobre o Sistema Interligado Nacional, como também as motivações e objetivos do trabalho. No capítulo dois é feita uma fundamentação teórica sobre os blocos de dados presentes no arquivo de texto do ANAFAS. No terceiro capítulo é mostrada a implementação dos algoritmos utilizados para o desenvolvimento do programa. No capítulo quatro, os resultados são expostos. No capítulo cinco, são trazidas as conclusões do trabalho.

2 Fundamentação Teórica

Neste capítulo encontra-se toda a fundamentação teórica necessária para o desenvolvimento deste trabalho. Ele é dividido em quatro seções. Inicialmente é feita uma introdução sobre o ANAFAS. Na segunda seção é descrito o algoritmo de busca em largura utilizado na implementação do algoritmo que identifica equipamentos de subestações. Na terceira seção são apresentados conceitos de subestações e seus equipamentos. Por fim, na quarta seção é feita uma breve introdução sobre Python, linguagem de programação utilizada no desenvolvimento deste trabalho.

2.1 ANAFAS

Nesta seção serão introduzidos resumidamente os parâmetros utilizados em cada bloco do arquivo de texto do ANAFAS. Mais detalhes de cada bloco podem ser obtidos no manual do programa, disponibilizado *online* pelo CEPEL.

Os dados do sistema elétrico são compostos pelos seguintes blocos:

- Formato do arquivo;
- Título (opcional);
- Comentários (opcional);
- Base de Potência (opcional se a base for 100 MVA);
- **Dados de Barra;**
- **Dados de Circuito;**
- **Dados de Mútua (se houver);**
- **Dados de MOVs (se houver);**
- **Dados de Shunts de Linha (se houver);**
- **Dados de Geradores Eólicos Síncronos com Conversor (se houver);**
- **Dados de Área.**

Os blocos "Formato do arquivo", "Título", "Comentários" e "Base de Potência" são utilizados para descrição do arquivo. Os blocos destacados em negrito são utilizados na implementação dos algoritmos propostos, onde cada bloco é composto por parâmetros, descritos nas seções a seguir.

Na Figura 2.1 é mostrado um exemplo do arquivo de dados do ANAFAS.

Figura 2.1 – Exemplo de arquivo de dados do ANAFAS.

```

TITU      1
*** CASO EXEMPLO 1 DO PROGRAMA ANAFAS ***
  2      1
      : *** EXEMPLO 1 ***
  2      2
      : *** SISTEMA EM REPOUSO ***
DBAR
(NB  CEM      BN              VBAS DISJUN          DDMMAAADDMMAAAA IA  SA
(-----
  1   B.HUM    230              230                10
  2   B.DOIS   230              230                20
  3   B.TRES   230              230                30
  4   B.QUATRO 230              230                30
  5   B.CINCO  230              230                30
  6   B.SEIS   230              230                20
  7   B.SETE   230              230                10
  8   B.OITO   230              230                30
  9   1 FICT.HUM
 10   GER.HUM  6.6              6.6                10
 11   1 FICT.DOIS
 12   GER.DOIS 6.6              6.6                20
 12   GER.DOIS 6.6              6.6                20
99999
DCIR
(BF  CE  BT  NCT  R1    X1    R0    X0    CN              TB  TCIA DEF  KM
(-----
 10   0   1          5279999999999999GER.1          10
 10   9   1          2299999999999999TRF.1          10
  1   9   1          229          229TRF.1          10
  0   9   1 999999999999          229TRF.1          10
 12   0   1          4479999999999999GER.2          20
 12   11  1          1899999999999999TRF.2          20
  2   11  1          189          189TRF.2          20
  0   11  1 999999999999          189TRF.2          20
  1   3   1          12  280          22  480LT.13          30
  1   7   1          12  280          22  480LT.17          10
  2   4   1          10  192          20  392LT.24          20
  2   6   1          10  192          20  392LT.26          20
  3   4   1           8  175          17  346LT.34          30
  3   4   2           8  175          17  346LT.34          30
  5   6   1          16  368          49 1023LT.56          30
  7   8   1          16  368          49 1023LT.78          10
  3   5   1          15  347          53 1063LT.35          30
  6   8   1          15  347          53 1063LT.68          10
99999
DMUT
(BF1 CE BT1  N1 BF2    BT2  N2  RM    XM    %I1  %F1  %I2  %F2  IA  SA
(-----
  3   4   1   3    4   2   52   219          30
  3   5   1   6    5   1   32   112   50.          75.   30
  5   6   1   8    6   1   58   288   50.          30
99999

```

Fonte: (CEPEL, 2017).

O início de cada bloco é delimitado pela sigla correspondente do bloco (DBAR para dados de barra, DCIR para dados de circuito, DMUT para dados de impedância mútua), e o fim do bloco é delimitado pelo comentário "99999".

2.1.1 Dados de Barra (DBAR)

O bloco com os dados de barra é composto pelos seguintes parâmetros:

Tabela 2.1 – Dados de barra

Parâmetros	Descrição
NB	Número da barra
CHNG	Código de atualização: <ul style="list-style-type: none"> • 0 ou “A”: Incluir barra; • 1 ou “E”: Excluir barra; • 2 ou 4 ou “M”: Modificar dados de barra;
E	Estado operativo da barra, indica se a barra está ligada ou desligada: <ul style="list-style-type: none"> • L ou branco: ligado; • D: desligado;
MP	Tipo da barra: <ul style="list-style-type: none"> • 0: barra “normal” • 1: barra fictícia de transformador (“mid-point”), utilizada na representação de traços (de 2, 3, 4 enrolamentos). • 2: barra de derivação ou auxiliar (“line-tap”). Utilizada para representação de um ponto de derivação em linhas de transmissão, ou barras de capacitores série, ou pontos de alteração dos parâmetros dos cabos de uma linha etc.
BN	Nome da barra
VPRE e ANG	Módulo e tensão pré-falta (valor eficaz, fase-fase);
VBASE	Tensão-base (valor eficaz, fase-fase);
DISJUN	Valor da capacidade de interrupção, em kA, do disjuntor de menor capacidade ligado à barra;
DATA_I	Data de entrada em operação da barra
DATA_F	Data de saída de operação da barra
IA	Número da área
SA	Número da sub-área
F	Classificação da barra como fronteira da Rede Básica segundo critérios definidos pelo ONS.

Na Figura 2.2 um exemplo do bloco de barras do arquivo de dados do ANAFAS é mostrado.

Figura 2.2 – Exemplo de bloco de barras do ANAFAS.

```

DBAR
(NB CEM      BN          VBAS DISJUN          DDMMAAAADDMMAAAA IA  SA
(-----= -----          -----          -----
  1  1 T#FU 345 13A          1206200712062009 16  3
  2      FURNAS 345          345      22          16
  3 D  FURNAS 13A          13.8          062007 062009 16
  4      FURNAS 13B          138          16  4
  5  1 T#FU 345 13B          2007      2007 16  4
  6      FURNAS 13B          13.8          16
F

```

Fonte: (CEPEL, 2017).

2.1.2 Dados de Circuitos (DCIR)

O bloco com os dados de circuitos é composto pelos seguintes parâmetros:

Tabela 2.2 – Dados de circuito.

Parâmetros	Descrição
BF	Número da primeira barra terminal (barra "de") do ramo.
CHNG	Código de atualização: <ul style="list-style-type: none"> • 0 ou "A": Incluir circuito; • 1 ou "E": Excluir circuito; • 2 ou 4 ou "M": Modificar dados de circuito;
E	Estado operativo do circuito, indica se o circuito está ligado ou desligado: <ul style="list-style-type: none"> • L ou branco: ligado; • D: desligado; • B: bypassado;
BT	Número da segunda barra terminal (barra "para") do ramo.
NC	Número de circuito. Serve para identificar circuitos série paralelos ligados entre as mesmas barras ou grupos distintos de equipamentos shunt de mesmo tipo (gerador, shunt de barra etc.) ligados na mesma barra.
TIPC	Tipo do circuito: <ul style="list-style-type: none"> • G: gerador; • L: linha de transmissão; • C: carga de impedância constante ($R+jX$); • H: reator ou capacitor "shunt"; • S: capacitor série; • Z: transformador de aterramento (zig-zag)
R1, X1, R0, X0	Resistência e reatância de seqüência positiva e zero do circuito ou de cada unidade idêntica do grupo.
CN	Nome do circuito
S1/Pg, S0/Qg	Susceptância total da linha ("line charging") nas seqüências positiva e zero ou potência ativa e reativa gerada por cada unidade idêntica do grupo de geradores.
TAP	Relação de transformação (TAP : 1). Valor em p.u.
TB	Número da barra do trafo delta-estrela onde se encontra o lado delta
TC	Número do circuito do ramo série associado ao ramo shunt, que está sendo especificado
IA	Número da área do circuito
DEF	Defasagem de trafo $\Delta - Y$.
IE	Indicador de defasamento explícito

KM	Comprimento do circuito, em km
CD	Tipo de conexão do terminal "de" do circuito. Pode assumir os valores "YN"(estrela aterrado), "Y"(estrela não-aterrado) ou "D"(delta)
RNDE	Resistência de aterramento do terminal "de", em %, válida para conexões YN.
XNDE	Reatância de aterramento do terminal "de", em %, válida para conexões YN.
CP	Tipo de conexão do terminal "para" do circuito (barra definida no campo BT). Pode assumir os valores "YN"(estrela aterrado), "Y"(estrela não-aterrado) ou "D"(delta)
RNPA	Resistência de aterramento do terminal "para", em %, válida para conexões YN.
XNPA	Reatância de aterramento do terminal "para", em %, válida para conexões YN.
SA	Número da sub-área do circuito
NUN	Número total de unidades idênticas que compõe o mesmo grupo de circuitos.
NOP	Número de unidades do grupo que estão em operação. Somente este número de unidades é considerado eletricamente, sendo as demais desconsideradas.
DJBF	Capacidade de interrupção do disjuntor localizado no terminal "DE" do circuito/grupo.
DJBT	Capacidade de interrupção do disjuntor localizado no terminal "PARA" do circuito/grupo.
DATA_I	Data de entrada em operação do circuito/grupo.
DATA_F	Data de saída em operação do circuito/grupo.
NOME	Nome extenso do circuito/grupo

A Figura 2.3 mostra um exemplo do bloco de circuitos do arquivo de dados do ANAFAS.

Figura 2.3 – Exemplo de bloco de circuitos do ANAFAS.

DCIR												
(BF	CE	BT	NCT	R1	X1	R0	X0	CN	TB	TCIA	DEF	KM
652	654			516	904	1015	2353	CER			1	
812	655				-89			-89	CER		1	
813	655				-184			-184	CER		1	
651	656			25	65	545		212	CER		1	
811	656			263	668	583		2248	CER		1	
0	657		999999999999999					4063	CER		1	
0	658				23090			6240	CER		1	
0	658	2			52600			7600	CER		1	
657	658				-480			-480	CER		1	
658	D 660			1685	3481	3326		11480	CER		1	
658	661			2537	3551	4232		11866	CER		1	
661	d 662			1526	2016	2546		7138	CER		1	
662	663			3071	4058	5124		14369	CER		1	

Fonte: (CEPEL, 2017).

Alguns exemplos de representação de equipamentos no bloco de circuitos serão dados a seguir.

2.1.2.1 Trafo de dois enrolamentos

Considerando dois trafos delta-estrela (YNd) entre as barras 5978 e 5980, com $X1=11,88\%$, $X0=10,88\%$ e 30 graus de defasamento (Figura 2.4).

Figura 2.4 – Trafo de dois enrolamentos.



Fonte: (CEPEL, 2017).

A representação do trafo no bloco de circuitos é a seguinte:

Figura 2.5 – Representação do trafa de dois enrolamentos no bloco de circuitos do ANAFAS.

```

(BF CE BT NCT R1 X1 R0 X0 CN S1 S0 TAP TB TCIA DEFE KM CD RNDE
-----
(XNDE CP RNPA XNPA
-----

( Trafo 1
5978 5980 1T 1188 1088 3 30 D
YN

(Trafo 2
5978 5980 2T 1188 1088 3 30 D
YN
    
```

Fonte: (CEPEL, 2017).

2.1.2.2 Gerador

Figura 2.6 – Gerador.



Fonte: (CEPEL, 2017).

Considerando um gerador com resistência de aterramento conectado à barra 40001, com conexão em estrela, $X1 = 18\%$, $X0 = 3\%$, $Rn = 110000\%$ (ou $1,1 \times 10^5$), na base de potência do sistema (100 MVA) (Figura 2.6), sua representação no bloco de circuitos será a seguinte:

Figura 2.7 – Representação do gerador no bloco de circuitos do ANAFAS.

```

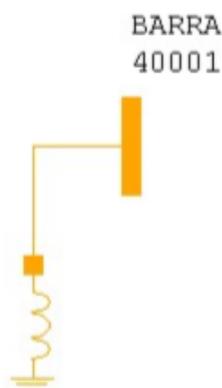
(BF CE BT NCT R1 X1 R0 X0 CN S1 S0 TAP TB TCIA DEFE KM CD RNDE
-----
(XNDE CP RNPA XNPA
-----

( Gerador
0 40001 1G 18. 3. 1
YN 1,1E5
    
```

Fonte: (CEPEL, 2017).

2.1.2.3 Shunt

Figura 2.8 – Shunt.



Fonte: (CEPEL, 2017).

A representação de um reator de barra com $X = 100\%$, conexão estrela aterrada, resistência de aterramento de 20000% em um sistema sem carregamento pré-falta, a representação no bloco de circuitos é:

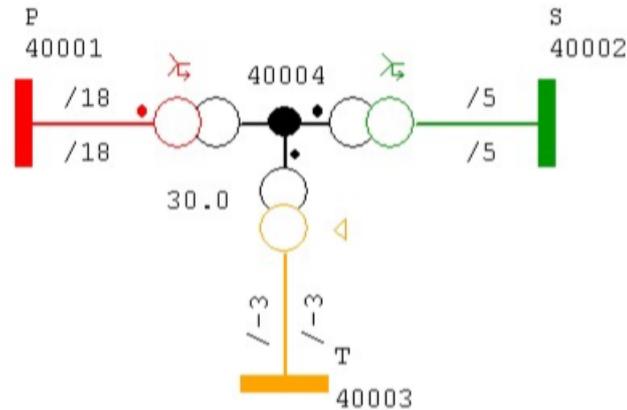
Figura 2.9 – Representação do reator no bloco de circuitos do ANAFAS.

```
(BF CE BT NCT R1 X1 R0 X0 CN S1 S0 TAP TB TCIA DEFE KM CD RNDE
-----
XNDE CP RNPA XNPA
-----
( Reator
  0 40001 1H999999999999 100. 1
  YN20000.
```

Fonte: (CEPEL, 2017).

2.1.2.4 Trafo de três enrolamentos

Figura 2.10 – Trafo de três enrolamentos.



Fonte: (CEPEL, 2017).

O trafo de 3 enrolamentos da Figura 2.10 com $Z_{prim} = 18\%$, $Z_{sec} = 5\%$ e $Z_{terc} = -3\%$, primário e secundário com conexão estrela aterrada, terciário em delta, com 30 graus de defasagem angular é representado da seguinte forma no bloco de dados de circuitos (Figura 2.11):

Figura 2.11 – Representação do trafo de três enrolamentos no bloco de circuitos do ANAFAS.

```

(BF CE BI NCT R1 X1 R0 X0 CN S1 S0 TAP TB TCIA DEFE KM CD RNDE
-----
(XNDE CP RNPA XNPA
-----
( Primário, estrela aterrado
40001 40004 1T 18. 18. YN
( Secundário, estrela aterrado
40002 40004 1T 5. 5. YN
( Terciário, delta
40003 40004 1T -3. -3. 30 D
    
```

Fonte: (CEPEL, 2017).

2.1.3 Dados de Impedância Mútua (DMUT)

O bloco com os dados de impedância mútua é composto pelos seguintes parâmetros:

Tabela 2.3 – Dados de impedância mútua

Parâmetros	Descrição
BF1, BF2	Número da primeira barra da linha 1-2
CHNG	Código de atualização: <ul style="list-style-type: none"> • 0 ou “A”: Incluir mútua; • 1 ou “E”: Excluir mútua; • 2 ou 4 ou “M”: Modificar dados de mútua;
E	Estado operativo da mútua, indica se a barra está ligada ou desligada: <ul style="list-style-type: none"> • L ou branco: ligado; • D: desligado;
BT1, BT2	Número da segunda barra da linha 1-2
NC1, NC2	Número do circuito da linha 1-2;
RM	Parte resistiva da impedância mútua (sequência zero);
XM	Parte reativa da impedância mútua (sequência zero);
%I1, %I2	Porcentagem inicial do trecho acoplado da linha 1-2;
%F1, %F2	Porcentagem final do trecho acoplado da linha 1-2;
IA	Número da área da mútua;
SA	Número da subárea;

A Figura 2.12 mostra um exemplo do bloco de mútuas do arquivo de dados do ANAFAS.

Figura 2.12 – Exemplo de bloco de impedâncias mútuas do ANAFAS.

```

DMUT
(BF1 CE BT1  N1 BF2  BT2  N2 RM  XM  %I1 %F1 %I2 %F2 IA SA
(-----
143      863      801  863      1234 5552      1
652 D  822      652  827      190 1121      10  20  30  40  1
652      868      652  870      1228 5635      1 10
656      865      884  865      349 2059      50  60  70  80  1
658      660      660  738      163  766      1
658      664      658  661      1696 7712      1 10
658      664      661  662      1020 4640      1 20
658      664      662  663      901 4097      50.  1
F

```

Fonte: (CEPEL, 2017).

2.1.4 Dados de proteção MOV (DMOV)

O bloco com os dados de proteção MOV é composto pelos seguintes parâmetros:

Tabela 2.4 – Dados de proteção MOV

Parâmetros	Descrição
BF	Número da primeira barra terminal (barra “de”) do circuito protegido (o circuito protegido precisa ser um capacitor série).
CHNG	Código de atualização: <ul style="list-style-type: none"> • 0 ou “A”: Incluir proteção MOV; • 1 ou “E”: Excluir proteção MOV; • 2 ou 4 ou “M”: Modificar dados de proteção MOV;
E	Estado operativo da proteção MOV, indica se a proteção está ligada ou desligada: <ul style="list-style-type: none"> • L ou branco: ligado; • D: desligado;
BT	Número da segunda barra terminal (barra “para”) do circuito protegido
NC	Número do circuito protegido, caso haja capacitores em paralelo;
VBAS	protegido, caso haja capacitores em paralelo;
IPR	Corrente de proteção;
IMAX	Valor de corrente que provoca o disparo do gap;
EMAX	Energia máxima que o MOV pode absorver;
PMAX	Valor de potência instantânea dissipada no MOV que provoca o disparo do gap;
VPR	Tensão entre os terminais do MOV a partir da qual o varistor começa a conduzir valores significativos de corrente;
D	Tipo de disparo do gap: <ul style="list-style-type: none"> • "1": Disparo por fase; • "3": Disparo trifásico;
TD	Tipo de dado: <ul style="list-style-type: none"> • "PL": Dado planejado; • "PR": Dado de projeto; • "CO": Dado de comissionamento;
Nome	Nome extenso da proteção MOV

A Figura 2.13 mostra um exemplo do bloco de proteção MOV do arquivo de dados do ANAFAS.

Figura 2.13 – Exemplo de bloco de proteção MOV do ANAFAS.

```

DMOV
(BF CE BT NC VBAS Ipr Imax Emax Pmax Vpr D
(-----)
3400 3403 500 4528 6222 12.8 140.8783
3400 3404 500 4528 6222 12.8 140.8783
4000 4015 500 3328 6434 11.5 75.30404
F

```

Fonte: (CEPEL, 2017).

2.1.5 Dados de Shunt de Linha (DSHL)

O bloco com os dados de shunt de linha é composto pelos seguintes parâmetros:

Tabela 2.5 – Dados de shunt de linha

Parâmetros	Descrição
BF	Número da primeira barra terminal (barra “de”) do circuito ao qual o shunt de linha está associado.
CHNG	Código de atualização: <ul style="list-style-type: none"> • 0 ou “A”: Incluir shunt; • 1 ou “E”: Excluir shunt; • 2 ou 4 ou “M”: Modificar dados de shunt;
E	Estado operativo do shunt, indica se o equipamento está ligado ou desligado: <ul style="list-style-type: none"> • L ou branco: ligado; • D: desligado;
BT	Número da segunda barra terminal (barra “para”) do circuito ao qual o shunt está associado
NC	Número do circuito
T	Terminal do circuito onde o shunt está conectado: <ul style="list-style-type: none"> • D ou branco: terminal "De"; • P: terminal "Para";
NG	Número de grupo do shunt ou de um conjunto de shunts com parâmetros idênticos;
QPOS	Potência reativa nominal gerada pelo equipamento
L	Tipo de conexão do shunt de linha. Os valores possíveis são os seguintes: <ul style="list-style-type: none"> • D: Shunt conectado em Delta • N: Shunt com conexão tipo estrela não-aterrado • Y ou branco: Shunt conectado em estrela aterrado
Rn	Resistência de aterramento
Xn	Reatância de aterramento
E	Estado do aterramento: <ul style="list-style-type: none"> • N ou branco: aterramento operando normalmente; • B: aterramento curto-circuitado (bypass)
NOME	Identificação do equipamento
NUN	Número total de unidades do grupo
NOP	Número de unidades em operação
IA	Número de área do shunt de linha
SA	Identificação de subárea do shunt de linha
TD	Tipo de dado: <ul style="list-style-type: none"> • "PL": Dado planejado; • "PR": Dado de projeto; • "CO": Dado de comissionamento
Nome extendido	Nome extenso do shunt de linha

A Figura 2.14 mostra um exemplo do bloco de shunt de linha do arquivo de dados do ANAFAS.

Figura 2.14 – Exemplo de bloco de shunt de linha do ANAFAS.

```

DSHL
(BF CE BT      NCLNG Qpos L Rn      Xn E Nome NunNop      IA SA
(=====
6229      6350      1      -150
6229      6499      1 1      -150      25.6
F

```

Fonte: (CEPEL, 2017).

2.1.6 Dados de Geradores Eólicos Síncronos (DEOL)

O bloco com os dados de geradores eólicos síncronos com conversor é composto pelos seguintes parâmetros:

Tabela 2.6 – Dados de geradores eólicos síncronos

Parâmetros	Descrição
NB	Número da barra onde o gerador síncrono está conectado.
CHNG	Código de atualização: <ul style="list-style-type: none"> • 0 ou “A”: Incluir gerador eólico síncrono; • 1 ou “E”: Excluir gerador eólico síncrono; • 2 ou 4 ou “M”: Modificar dados de gerador eólico síncrono;
E	Estado operativo do gerador eólico síncrono, indica se o equipamento está ligado ou desligado: <ul style="list-style-type: none"> • L ou branco: ligado; • D: desligado;
NG	Número do grupo
Pinic	Potência ativa injetada pelo gerador eólico antes da falta, em MW
Imax	Valor máximo de corrente que pode ser injetado pelo conversor em ampéres rms;
Vmin	Valor mínimo de tensão, em pu.
FP_CC	Fator de potência do curto
NOME	Identificação do gerador eólico síncrono.
NUN	Número total de unidades do grupo.
NOP	Número de unidades em operação.
FP_pre	Fator de potência pré-falta
IA	Número de área do gerador eólico.
SA	Identificação de sub-área do gerador eólico.
DATA_I	Data de entrada em operação do gerador
DATA_F	Data de saída de operação do gerador
MVA	Potência nominal do equipamento, em MVA
Nome extenso	Identificação do equipamento

A Figura 2.15 mostra um exemplo do bloco de geradores eólicos síncronos do arquivo de dados do ANAFAS.

Figura 2.15 – Exemplo de bloco de geradores eólicos síncronos do ANAFAS.

```

DEOL
(NB CE      NG P_inic I_max V_min FP_CCNNNNNN NunNop FP_pre V_max AAA SA
(=====
999998      1      2 3600. 0.15 0.90Gerad1 25 25 1.0 1.0 3 1
F

```

Fonte: (CEPEL, 2017).

2.1.7 Dados de Área (DARE)

O bloco com os dados de área é composto pelos seguintes parâmetros:

Tabela 2.7 – Dados de geradores eólicos síncronos

Parâmetros	Descrição
NUM	Número da área.
CHNG	Código de atualização: <ul style="list-style-type: none"> • 0 ou “A”: Incluir área; • 1 ou “E”: Excluir área; • 2 ou 4 ou “M”: Modificar dados de área;
NOME	Identificação da área.

A Figura 2.16 mostra um exemplo do bloco de área do arquivo de dados do ANAFAS.

Figura 2.16 – Exemplo de bloco de área do ANAFAS.

```

DARE
(NX C      NOME
(--- =      -----)
121      CEP
F

```

Fonte: (CEPEL, 2017).

2.2 Busca em Largura

Para inferir os equipamentos em uma subestação uma busca por todos os circuitos que fazem parte de uma barra é feita, e se o equipamento que estiver conectado à barra não for uma linha de transmissão, ele é adicionado à subestação. Em seguida, outra barra é escolhida e a mesma busca é feita, até que todos os circuitos estejam inseridos em uma subestação.

O algoritmo utilizado para determinar quais equipamentos estão inferidos em uma subestação é análogo ao algoritmo de busca em largura (*Breadth-First Search* em inglês ou BFS), um dos algoritmos mais simples de busca em grafos.

Dado um grafo $G = (V, E)$ e um determinado vértice s , a busca em largura explora sistematicamente as arestas de G para descobrir todos os vértices que são vizinhos de s . O algoritmo numera os vértices, em sequência, na ordem em que eles são descobertos, utilizando uma fila de vértices. Dessa maneira, a procura por vértices vizinhos é realizada através da ordem de chegada na fila e um vértice que já foi marcado não pode entrar novamente na estrutura. (CORMEN et al., 2001)

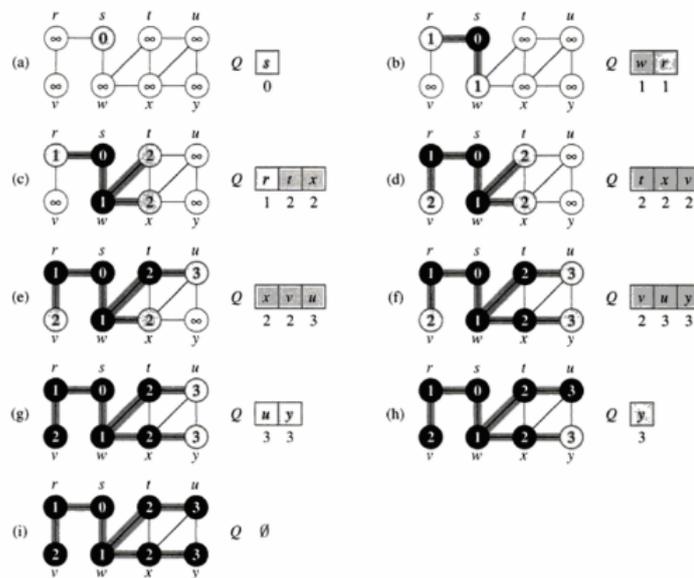
No começo de cada iteração, a fila contém os vértices que já foram numerados, mas têm vizinhos ainda não numerados. No começo da primeira iteração, a fila contém o vértice s , com número 0.

O algoritmo calcula a distância de s para cada vértice vizinho e cria uma árvore com raiz s que contém todos os vértices vizinhos. Para cada vértice v vizinho de s , o caminho na árvore de s para v corresponde ao caminho mais curto, ou seja, o caminho com menos arestas.

A busca por largura possui esse nome pois expande a fronteira entre vértices descobertos e não descobertos uniformemente na largura da fronteira do grafo. Isto é, o algoritmo descobre todos os vértices a uma distância d de s , antes de descobrir os vértices a uma distância $d+1$.

Para acompanhar o processo e demonstrar o funcionamento do algoritmo, os vértices do grafo são pintados de branco, cinza e preto. Os vértices na cor branca ainda não foram marcados e nem enfileirados, os da cor cinza são os vértices que estão na fila e os pretos são aqueles que já tiveram todos os seus vértices vizinhos enfileirados e marcados pelo algoritmo.

Figura 2.17 – Busca em largura feita em um grafo.



Fonte: (CORMEN et al., 2001).

No começo da primeira iteração, a fila contém o vértice s , com número 0 (Figura 2.17(a)). Em seguida, os vértices vizinhos w e r (Figura 2.17(b)) entram na fila e são enumerados na sequência. Na Figura 2.17(c), o vértice w sai da fila, indicando que todos os seus vizinhos já foram encontrados e enfileirados, e os vértices t e x entram na fila. O processo se repete nas Figura 2.17(d) até a Figura 2.17(g), até que o último vértice (y) é encontrado e na Figura 2.17(i) todos os vértices já foram identificados.

2.3 Fundamentos de Subestação

Uma subestação é um conjunto de condutores, aparelhos e equipamentos destinados a modificar as características da energia elétrica (tensão e corrente), permitindo a sua distribuição aos pontos de consumo em níveis adequados de utilização (FILHO, 2010). Em geral, as subestações podem ser classificadas em quatro tipos:

- Subestação Central de Transmissão:

São subestações elevadoras geralmente localizadas na saída das centrais geradoras com o objetivo de aumentar a tensão para reduzir as perdas na transmissão.

- Subestação Receptora de Transmissão:

São subestações localizadas próximas a grandes blocos de carga e conectadas à subestação central de transmissão pelas linhas de transmissão.

- Subestação de Subtransmissão:

São construídas, sempre que possível, no centro de um grande bloco de carga. São responsáveis por alimentar os transformadores de distribuição e é de onde saem os alimentadores de distribuição primários.

- Subestação de Consumidor:

São aquelas que fornecem energia em nível de tensão adequado para os consumidores no ponto final do sistema elétrico. Elas podem ser de propriedade da concessionária ou propriedade particular. São alimentadas pelos alimentadores de distribuição primários, originados das subestações de subtransmissão, que suprem os pontos finais de consumo.

As subestações podem ainda ser classificadas de acordo com a sua funcionalidade (DUAILIBE, 1999):

- Subestação Transformadora:

Converte a tensão de suprimento para um nível diferente, podendo ser elevadora, quando o nível de tensão aumenta, e abaixadora, quando a subestação diminui o nível de tensão.

- Subestação Seccionadora, de Manobra ou de Chaveamento:

Interliga circuitos de suprimento sob o mesmo nível de tensão. Também é adotada para possibilitar o seccionamento de circuitos.

2.3.1 Equipamentos de uma Subestação

Uma subestação é composta por diversos equipamentos. Os principais são:

2.3.1.1 Equipamentos de Transformação

- Transformadores de força: responsáveis pela transmissão de energia, muitas vezes em alta tensão, permitindo a diminuição das perdas na linhas de transmissão e distribuição;
- Transformadores de corrente (TC) e Transformadores de potencial (TP): tem o objetivo de reduzir a corrente (TC) e tensão (TP) a níveis compatíveis com instrumentos de medição.

2.3.1.2 Equipamentos de Manobra

- Disjuntores: são equipamentos de manobra destinados à operação em carga;

- Chaves seccionadoras: responsáveis pelo isolamento de equipamentos ou linhas de transmissão.

2.3.1.3 Equipamentos para Compensação de Reativos

- Reator derivação ou série;
- Capacitor derivação ou série;
- Compensador síncrono;
- Compensador estático

2.3.1.4 Equipamentos de Proteção

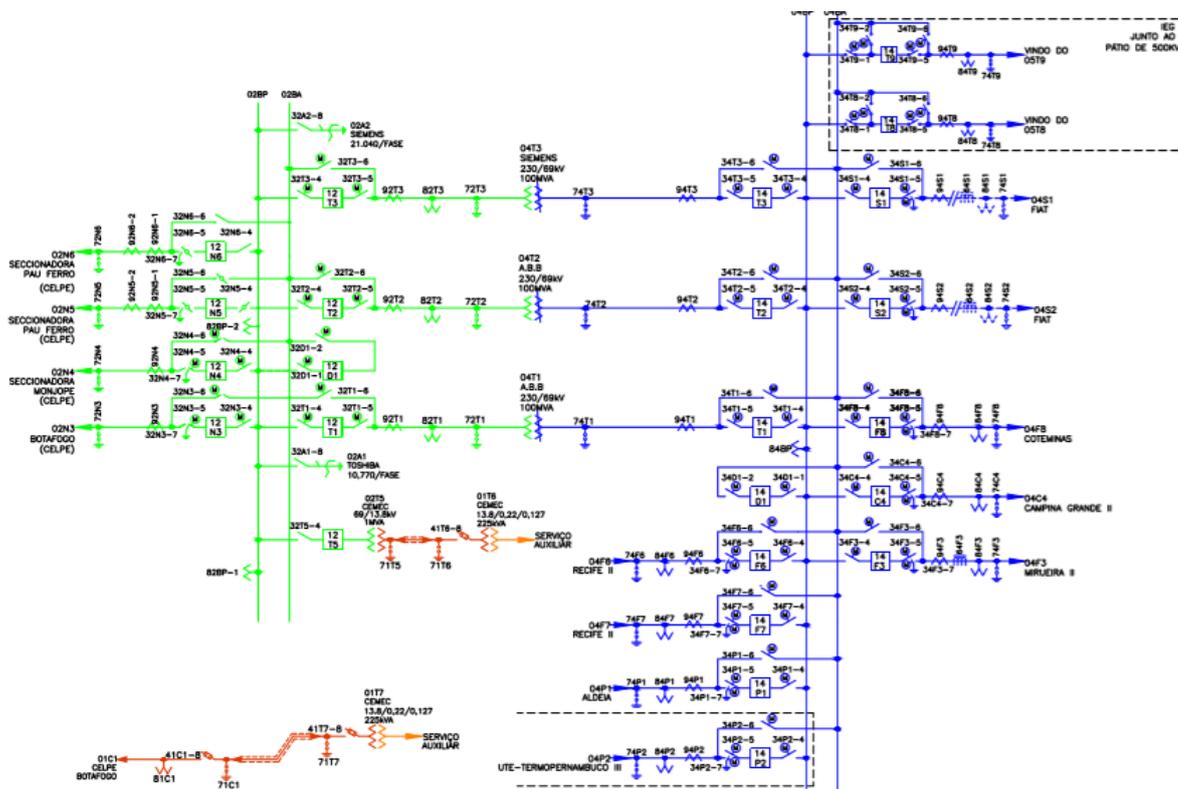
- Pára-Raios: tem função de proteger contra danos a equipamentos elétricos, causados principalmente por descargas atmosféricas;
- Relés: tem função de proteger o sistema contra faltas, através do isolamento dos trechos onde ocorrem as faltas;
- Fusíveis: são utilizados como limitadores da corrente de curto-circuito

2.3.1.5 Equipamentos de Medição

São os equipamentos utilizados para medição de grandezas, como corrente, tensão e potência.

Na Figura 2.18, o diagrama da subestação de Pau-Ferro, localizada em Recife.

Figura 2.18 – Diagrama da subestação Pau-Ferro.



Fonte: CHESF.

2.4 Python

Python é uma linguagem de programação orientada à objetos (POO). A orientação a objetos é um paradigma para o desenvolvimento de software que baseia-se na utilização de componentes individuais (objetos) que colaboram para construir sistemas mais complexos (NASCIMENTO, 2017). Esse tipo de programação facilita a reutilização de códigos e torna a manutenção mais fácil.

A classe é o que faz com que Python seja uma linguagem de programação orientada a objetos. Através da definição de uma classe, descreve-se que propriedades ou atributos o objeto terá. Além da especificação de atributos, a definição de uma classe descreve também qual o comportamento de objetos da classe, ou seja, que funcionalidades podem ser aplicadas a objetos da classe (RICARTE, 2000). Em Python, classes são criadas usando a palavra chave class.

A seguir é mostrado um exemplo de classe em Python.

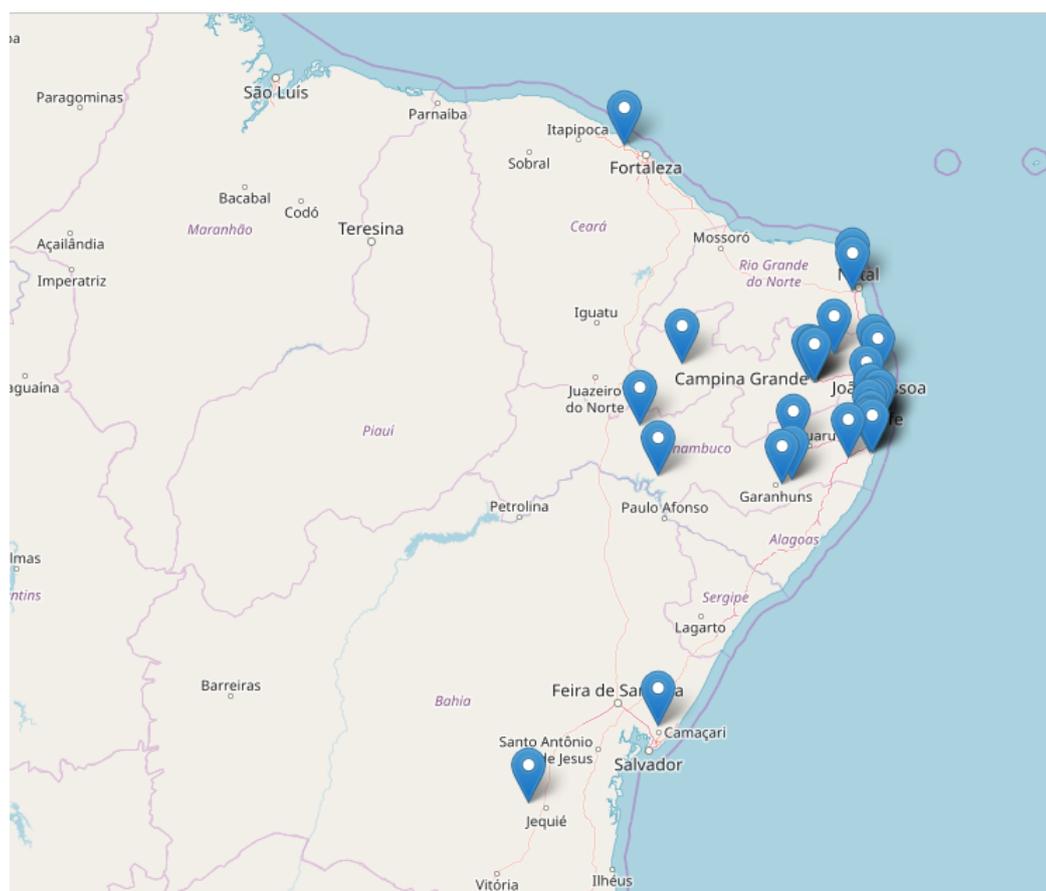
```
1 class Carro:
```

```
3 def freio(self):  
    print "Freio"  
  
5 def acelerador(self):  
    print "Acelerando"
```

2.4.1 Folium

Folium é uma biblioteca do Python que possui o propósito de unir a manipulação de dados que Python possui com a visualização de mapas interativos da biblioteca JavaScript Leaflet (TEMPORAL, 2017). O objetivo dessa biblioteca é o de criar mapas com facilidade, mostrando os dados manipulados em Python nos pontos de um mapa. Na Figura 2.19 é mostrado um exemplo de aplicação dessa biblioteca.

Figura 2.19 – Exemplo de aplicação da biblioteca Folium.



Fonte: Autoria própria.

Nesse exemplo foi gerado um mapa a partir de informações de latitude e longitude contidas em um arquivo de dados lido.

3 Implementação

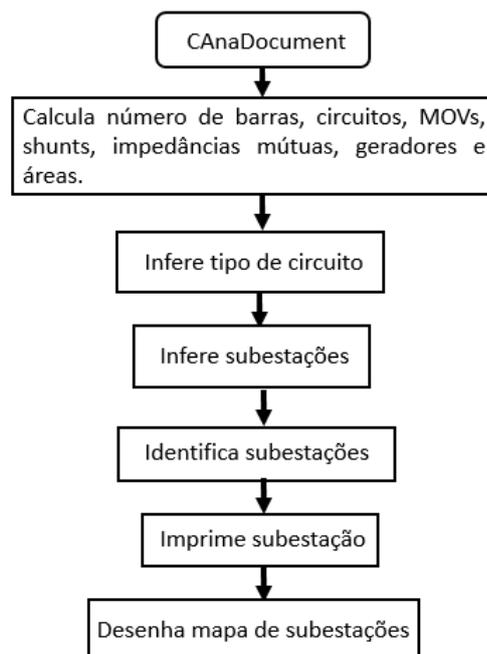
Neste capítulo é feito o detalhamento da implementação dos algoritmos elaborados para desenvolvimento da ferramenta computacional, utilizando a versão 3.4. do Python. Essa linguagem de programação foi a escolhida para o desenvolvimento do trabalho pela simples manipulação de arquivos de dados como o disponibilizado pelo ANAFAS e por conter bibliotecas que tornam fácil a visualização desses dados.

3.1 Organização do projeto

Para realização do projeto, um arquivo principal lê o arquivo ANAFAS e o arquivo de subestações disponibilizados pelo usuário, e reúne todas as classes que serão utilizadas no arquivo ANAFAS (CAnaDocument, Infere Tipo, Infere Subestações, Identifica Subestações, Imprime Subestação, Desenha Mapa).

A classe CAnaDocument foi criada para implementação no arquivo ANAFAS das rotinas desenvolvidas nas próximas seções. A classe funciona de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 3.1.

Figura 3.1 – Fluxograma utilizado na implementação da classe CAnaDocument.



Fonte: Autoria própria.

3.2 Leitura de dados

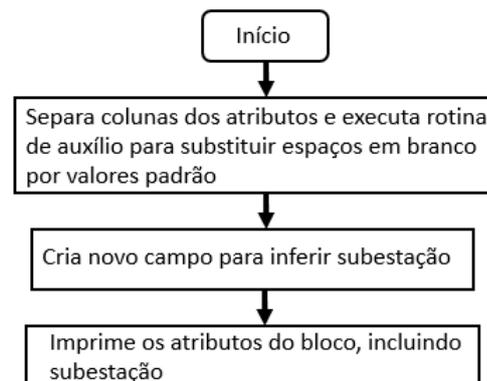
O primeiro algoritmo foi elaborado para leitura do arquivo do ANAFAS e separação dos blocos. Cada bloco é inicializado com comentário que determina qual o bloco de dados (por exemplo 'DBAR', 'DCIR') e termina com um comentário '99999', como foi mostrado na Figura 2.1. A rotina de leitura eliminou esses comentários para que fossem criadas as rotinas de separação dos blocos do arquivo.

Após a separação, foram criadas classes para cada bloco, e dentro delas foram separadas as colunas com os respectivos parâmetros de cada bloco.

3.3 Classes DBAR, DEOL e DARE

Foram criadas classes para os blocos DBAR, DEOL e DARE utilizando o fluxograma apresentado na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Fluxograma utilizado na implementação das classes DBAR, DEOL, DARE.

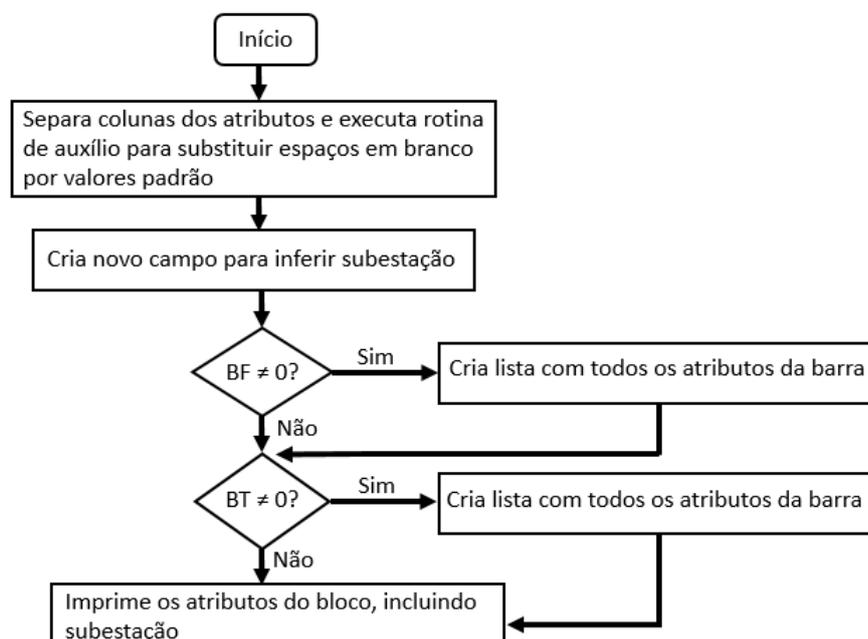


Fonte: Autoria própria.

3.4 Classes DMOV, DMUT, DSHL

Para os blocos DMOV, DMUT, DSHL foram criados as classes DMOV, DMUT, DSHL, respectivamente, utilizando o fluxograma apresentado na Figura 3.3.

Figura 3.3 – Fluxograma utilizado na implementação das classes DMOV, DMUT, DSHL.

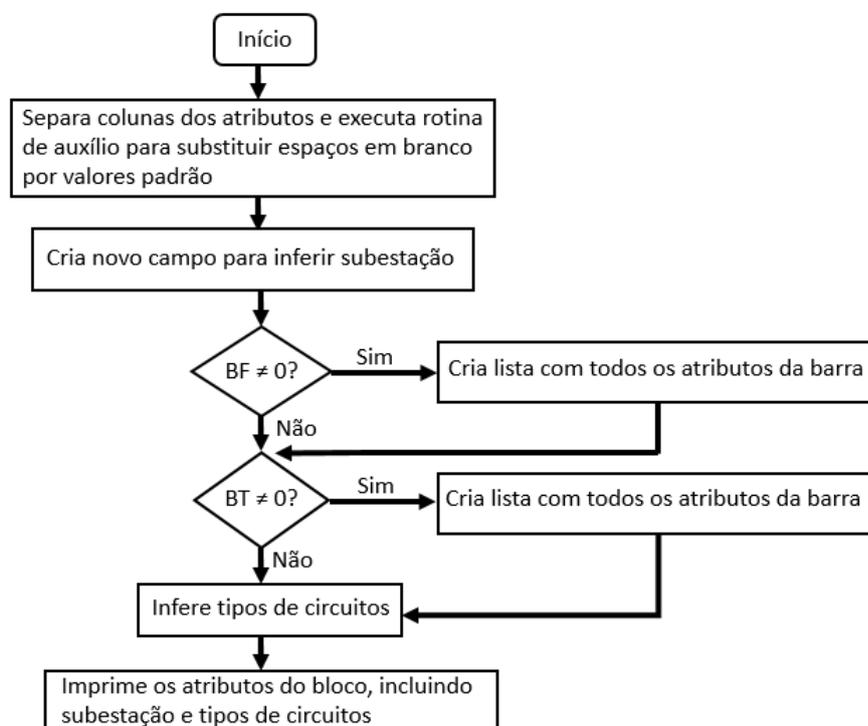


Fonte: Autoria própria.

3.5 Classe DCIR

A classe para o bloco de circuitos (DCIR) foi criada utilizando o mesmo fluxograma utilizado nas classes DMOV, DMUT, DSHL, e foi adicionada uma rotina para inferir o tipo de circuito.

Figura 3.4 – Fluxograma utilizado na implementação da classe DCIR.

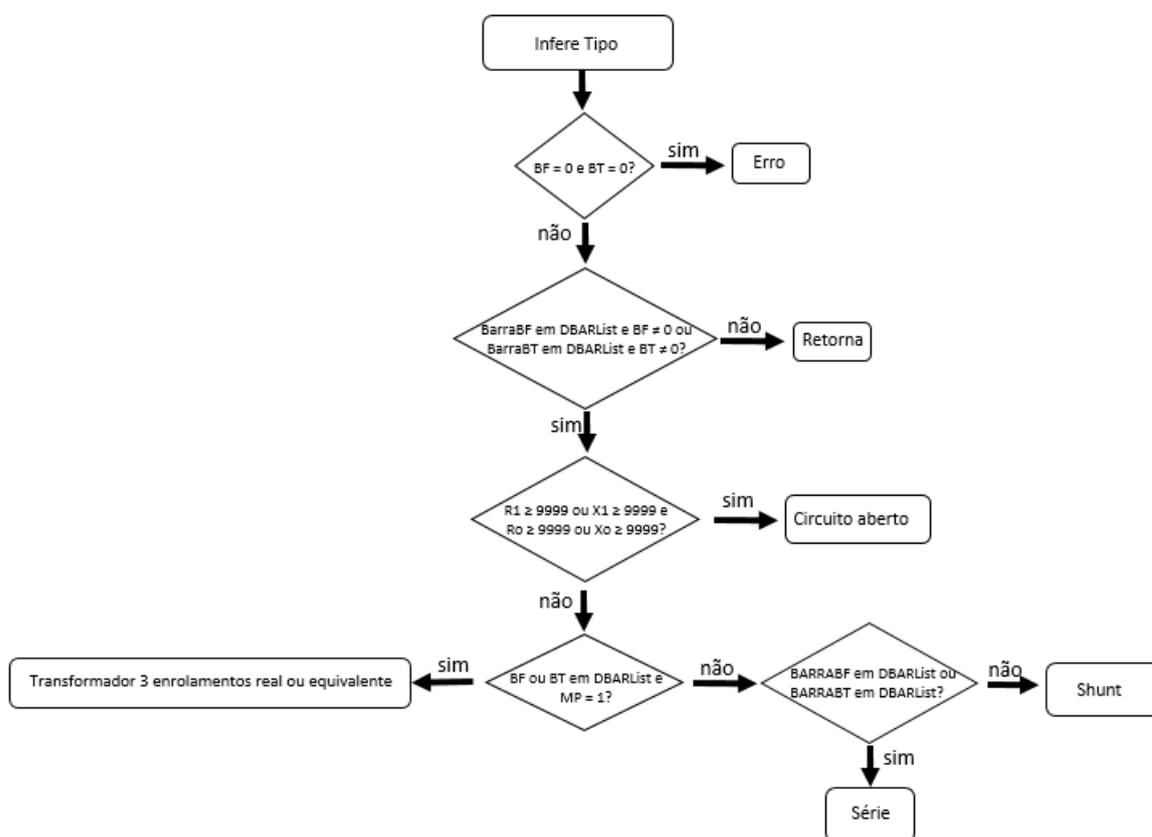


Fonte: Autoria própria.

3.6 Inferir Tipo

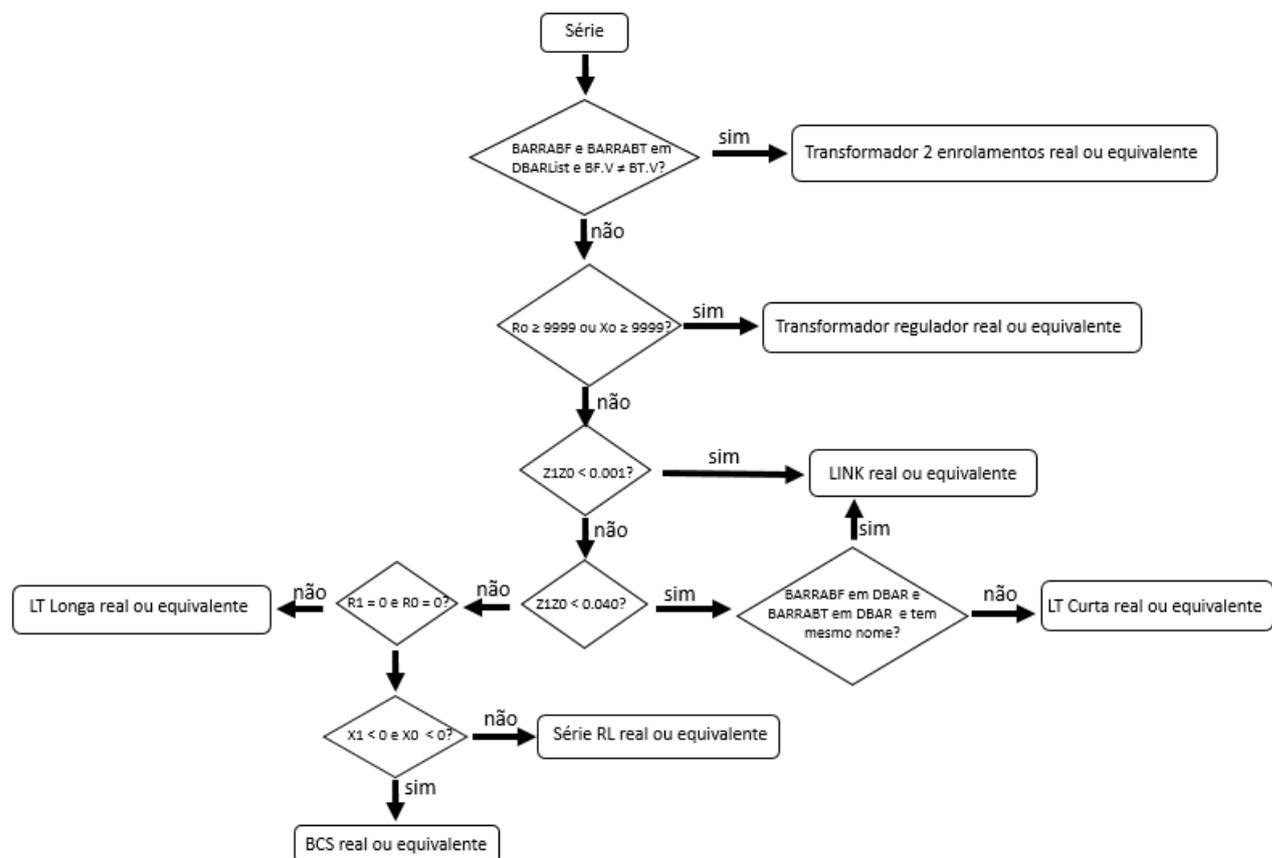
A rotina Inferir Tipo foi implementada utilizando os atributos do bloco de circuitos, de acordo com o fluxograma apresentado nas Figuras 3.5, 3.6 e 3.7.

Figura 3.5 – Fluxograma utilizado na implementação da rotina Inferir Circuitos.



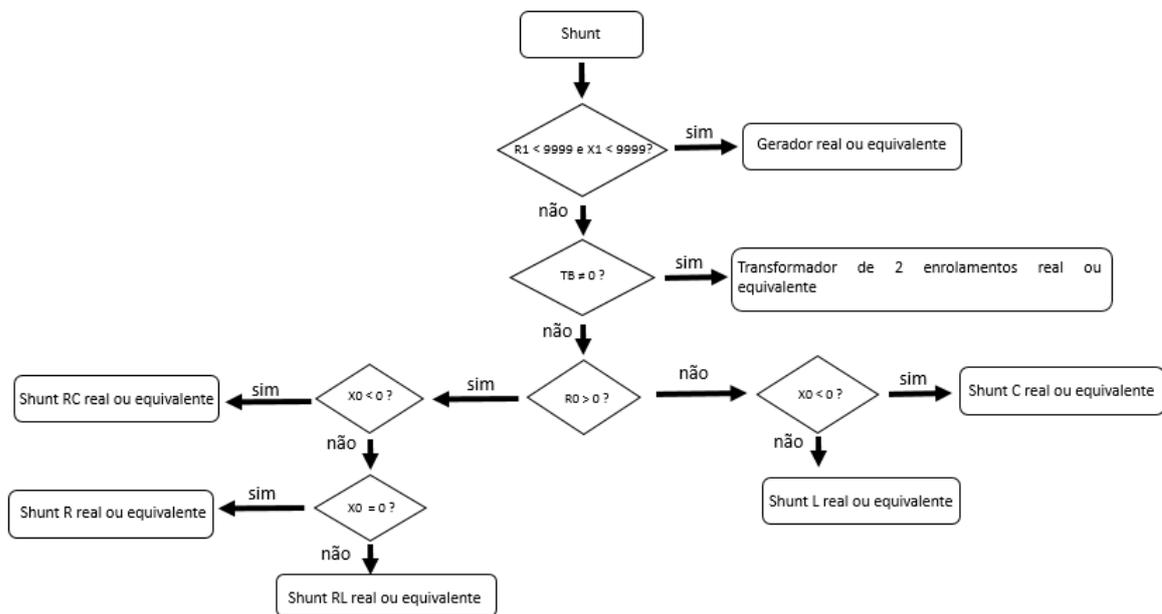
Fonte: Autoria própria.

Figura 3.6 – Fluxograma utilizado na implementação da rotina Infere Circuitos.



Fonte: Autoria própria.

Figura 3.7 – Fluxograma utilizado na implementação da rotina Inference Circuitos.



Fonte: Autoria própria.

Os equipamentos equivalentes são equipamentos que aparecem no arquivo de curto-circuito quando o engenheiro electricista não está trabalhando com o sistema completo, pois decidiu gerar um sistema reduzido equivalente ao sistema completo. Portanto, são equipamentos que não existem fisicamente. São identificados quando o parâmetro IA do circuito for igual a 998.

3.7 Infere Subestações

Nesta etapa do fluxograma é criado um novo parâmetro de subestação em todos os blocos do arquivo ANAFAS. Inicialmente são determinados números para cada nova barra presente no arquivo. Posteriormente esses números determinados são substituídos pelas siglas das subestações, na rotina Identifica Subestações.

3.8 Identifica Subestações

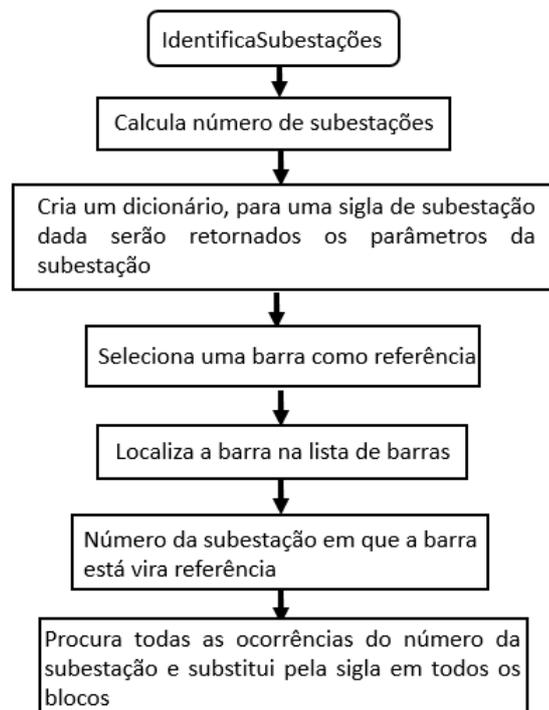
Dentro da classe *CAnaDocument*, a rotina *IdentificaSubestações* tem o objetivo de identificar as subestações de cada bloco substituindo o último parâmetro de cada linha do bloco pela sigla disponibilizada no arquivo de subestações reais (Figura 3.8).

Figura 3.8 – Arquivo de entrada com dados de subestações.

SIGLA	NOME	ESTADO	REGIÃO	TIPO DE INSTALAÇÃO	BARRA-ANA-REF	BARRA-PWF-REF	MAIOR KV	LAT	LONG
ABX	Abaixadora	BA	NE	Abaixadora	7100	-1	69	-9.395669	-38.201114
ACD	Açu II	RN	NE	Abaixadora	7520	-1	230	-5.593387	-36.905586
ACT	Açu III	RN	NE	Abaixadora	8720	-1	500		
ALD	Aldeia (conexão das UTEs Pau Ferro e Termo Manaus)	PE	NE	Abaixadora	7430	-1	230	-7.863046	-35.019151
ABR	Alto Branco	PB	NE	Abaixadora	7505	-1	69		
AGL	Angelim	PE	NE	Abaixadora	7310	-1	230	-8.891289	-36.294246
AGD	Angelim II	PE	NE	Abaixadora	7300	-1	500	-8.819837	-36.261971
AQD	Aquiraz II	CE	NE	Abaixadora	8314	-1	230		
ART	Arapiraca III	AL	NE	Abaixadora	8479	-1	230	-9.78763	-36.64968
ATU01	Aratu 1 (Conecta-se a Catu)	BA	NE	Geração_Térmica	8320	-1	230		
ATU02	Aratu 2 (Conecta-se a Camaçari IV)	BA	NE	Geração_Térmica	8329	-1	230		
ATU03	Aratu 3 (Conecta-se a Camaçari IV)	BA	NE	Geração_Térmica	8338	-1	230		
ATU04	Aratu 4 (Conecta-se a Camaçari IV)	BA	NE	Geração_Térmica	8347	-1	230		
BAL	Balsas	MA	NE	Abaixadora	3384	-1	230		
BNB	Banabuiú	CE	NE	Abaixadora	7940	-1	230	-5.304321	-38.913604
BRA	Barreiras	BA	NE	Abaixadora	7280	-1	230	-12.134565	-44.947475
BAD	Barreiras II	BA	NE	Abaixadora	8725	-1	500		
BVT	Bela Vista	PB	NE	Abaixadora	7510	-1	69	-7.220342	-35.903605
BES	Boa Esperança (subestação e usina)	PI	NE	Geração_Hidreletrica	8130	-1	230	-6.750671	-43.565319
BEA	Boa Esperança I	PI	NE	Abaixadora	8100	-1	500	-6.725428	-43.566011
BJS	Bom Jesus da Lapa I	BA	NE	Abaixadora	7230	-1	230	-13.308328	-43.352329
BJD	Bom Jesus da Lapa II	BA	NE	Abaixadora	8280	-1	500		
BNO	Bom Nome	PE	NE	Abaixadora	7900	-1	230	-7.974636	-38.627368

Fonte: Autoria própria.

Figura 3.9 – Fluxograma utilizado para implementação da rotina Identifica Subestações.



Fonte: Autoria própria.

3.9 Imprime Subestações

A rotina Imprime Subestações retorna para o usuário os dados dos blocos do arquivo de texto do ANAFAS que estão inseridos em uma subestação definida pelo usuário. Seu funcionamento é análogo ao algoritmo de busca em largura.

3.10 Desenha Mapa

Ao final do programa é gerado um mapa de subestações. Para gerar o mapa, foi utilizada a biblioteca Folium, da linguagem de Programação Python, que é uma biblioteca de criação de mapas interativos. Foram feitas adaptações no código disponibilizado em (SANTANA, 2017), utilizando os dados de localização (latitude e longitude) presentes no arquivo de subestações disponibilizado pelo usuário.

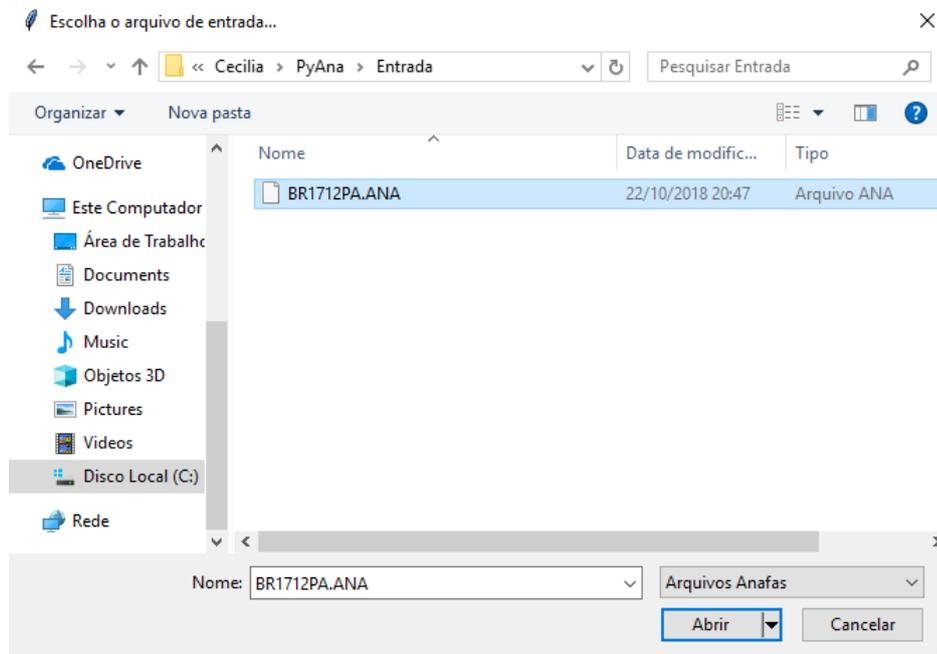
4 Resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos ao utilizar o software desenvolvido no capítulo 3 tomando como entrada o arquivo oficial de referência do ONS que modela o SIN em dezembro de 2017. Os resultados foram organizados em seis seções compreendendo: Entrada de dados, Relatório de informações do SIN, Executando Inference Tipos, Executando Inference Subestação, Executando Identificação Subestação e Executando Desenhar Mapa, nesta ordem.

4.1 Entrada de dados

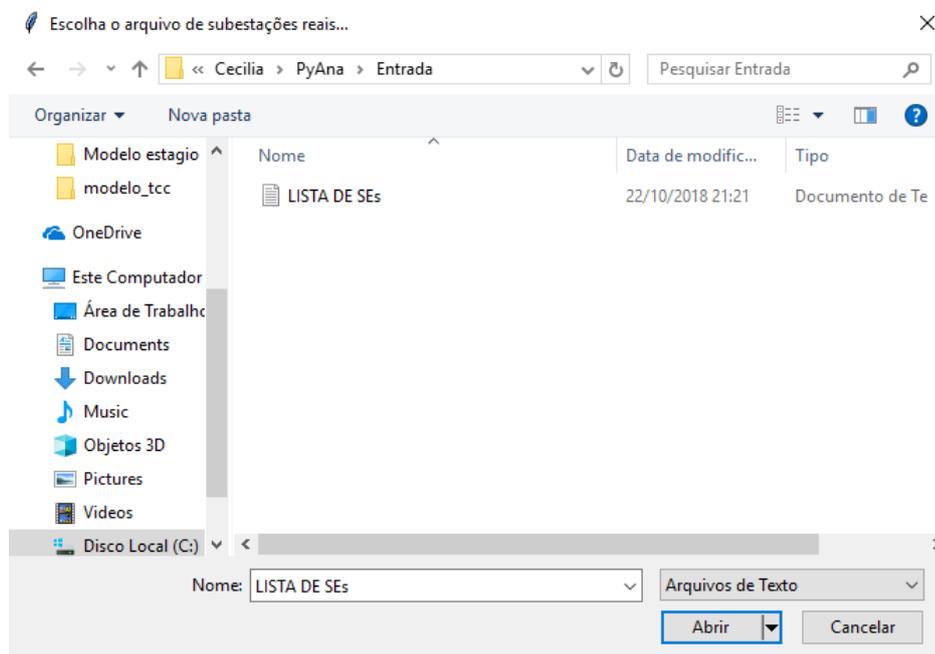
A entrada de dados pelo usuário ocorre através de interfaces gráficas para escolha dos arquivos do ANAFAS e de subestações. A interface gráfica foi desenvolvida utilizando a biblioteca Tkinter, da linguagem de programação Python.

Figura 4.1 – Interface gráfica utilizada para entrada de arquivo de dados do ANAFAS pelo usuário.



Fonte: Autoria própria.

Figura 4.2 – Interface gráfica utilizada para entrada de arquivo de subestações pelo usuário.



Fonte: Autoria própria.

Como teste foi utilizado um arquivo ANAFAS contendo dados do ano de 2017.

4.2 Primeiros resultados: Relatório de informações do SIN

O primeiro resultado mostrado ao usuário é a quantidade de elementos de cada bloco dos arquivos do programa ANAFAS (número de barras, circuitos, MOVs, etc.).

Número de barras criadas = 13867
Número de circuitos criados = 22178
Número de MOVs criados = 7
Número de impedâncias mútuas = 3050
Número de geradores = 131
Número de áreas = 64

Os dados de shunt de linha não aparecem, pois no arquivo de entrada não foi modulado nenhum shunt de linha.

4.3 Executando Infere Tipos

Como resultado da rotina Infere Tipos uma coluna com o tipo de circuito é adicionada ao bloco de circuitos. (Figura 4.3).

Outro resultado obtido com a rotina Infere Tipos são as estatísticas do número de cada tipo de equipamento inferido no SIN.

Estatísticas de cada equipamento:

Circuitos em aberto = 22
Transformador de 2 enrolamentos = 3138
Transformador de 3 enrolamentos = 7413
Transformador aterrador= 0
Transformador regulador=16
Shunt R = 2
Shunt L = 882
Shunt C = 398
Shunt RL= 401
Shunt RC = 6
Shunt gerador = 2676
Série LINK = 304
Série LT curta = 239
Série LT longa = 6480
Série BCS = 109
Série RL = 86
Transformador 2 enrolamentos equivalente = 0
Transformador 3 enrolamentos equivalente = 0
Transformador aterrador equivalente = 0
Transformador regulador equivalente = 0
Shunt R equivalente = 0
Shunt L equivalente = 1
Shunt C equivalente = 0
Shunt RL equivalente = 0
Shunt RC equivalente = 0
Shunt gerador equivalente=5
Série LINK equivalente = 0
Série LT curta equivalente = 0
Série LT longa equivalente= 0
Série BCS equivalente = 0
Série RL equivalente=0

4.4 Executando Inference Subestação

O resultado da rotina Inference Subestação foi a determinação das subestações das barras e equipamentos. Como exemplo é mostrado na Figura 4.4 o bloco de dados, onde a última coluna corresponde à sigla da subestação. As barras cujas siglas não foram identificadas, pois não havia informação no arquivo de subestações, continuam com número determinado inicialmente.

Figura 4.4 – Bloco DBAR após inferir subestações

```
DBAR:
[8000][0][L][0][MSD 230KV ][1][0][230.0][9999999][0][9999999][21][0][ ][['MSD ']]
[8001][0][L][1][MSD FCT 04T2][1][0][0 ][9999999][0][9999999][21][0][ ][['MSD ']]
[8002][0][L][0][MSD 69KV ][1][0][69.0 ][9999999][0][9999999][21][0][A][['MSD ']]
[8003][0][L][0][MSD13.8 04T2][1][0][13.8 ][9999999][0][9999999][21][0][A][['MSD ']]
[8005][0][L][1][MSD FCT 04T1][1][0][0 ][9999999][0][9999999][21][0][ ][['MSD ']]
[8006][0][L][0][MSD13.8 04T1][1][0][13.8 ][9999999][0][9999999][21][0][A][['MSD ']]
[8007][0][L][0][MSD 3.3KV ][1][0][3.3 ][9999999][0][9999999][21][0][ ][['MSD ']]
[8008][0][L][0][MSD 3.3 RLCE][1][0][3.3 ][9999999][0][9999999][21][0][ ][['MSD ']]
[8010][0][L][0][CMA 04B1 230][1][0][230.0][9999999][0][9999999][21][0][ ][['CMA ']]
[8011][0][L][1][CMA FCT 04T1][1][0][0 ][9999999][0][9999999][21][0][ ][['CMA ']]
[8012][0][L][0][CMA 02BP 69][1][0][69.0 ][9999999][0][9999999][21][0][A][['CMA ']]
[8013][0][L][0][CMA04T1 13.8][1][0][13.8 ][9999999][0][9999999][21][0][A][['CMA ']]
[8014][0][L][1][CMA FCT 04T2][1][0][0 ][9999999][0][9999999][21][0][ ][['CMA ']]
[8015][0][L][0][CMA04T2 13.8][1][0][13.8 ][9999999][0][9999999][21][0][A][['CMA ']]
[8019][0][L][2][CRM DRV 02J1][1][0][69.0 ][9999999][0][9999999][21][0][ ][['1053 ']]
[8020][0][L][0][UCR 02B1 69][1][0][69.0 ][9999999][0][9999999][21][0][ ][['H-CUR ']]
[8022][0][L][0][CRM 69][1][0][69.0 ][9999999][0][9999999][21][0][ ][['1055 ']]
[8026][0][L][0][UCR 06G1 2.4][1][0][2.4 ][9999999][0][9999999][21][0][ ][['H-CUR ']]
[8027][0][L][0][UCR 06G2 2.4][1][0][2.4 ][9999999][0][9999999][21][0][ ][['H-CUR ']]
[8030][0][L][0][UAR 69KV ][1][0][69.0 ][9999999][0][9999999][21][0][ ][['H-ARR ']]
[8031][0][L][0][UAR 6.3 06G1][1][0][6.3 ][9999999][0][9999999][21][0][ ][['H-ARR ']]
[8032][0][L][0][UAR 6.3 06G2][1][0][6.3 ][9999999][0][9999999][21][0][ ][['H-ARR ']]
[8033][0][L][0][UTCG I 230][1][0][230.0][9999999][0][9999999][21][0][ ][['T-CGD ']]
[8034][0][L][1][T#UTCG23013A][1][0][0 ][9999999][0][9999999][21][0][ ][['T-CGD ']]
[8035][0][L][1][T#UTCG23013B][1][0][0 ][9999999][0][9999999][21][0][ ][['T-CGD ']]
[8036][0][L][0][UTCG B1 13.8][1][0][13.8 ][9999999][0][9999999][21][0][G][['T-CGD ']]
[8040][0][L][0][ICO 230][1][0][230.0][9999999][0][9999999][21][0][ ][['ICO ']]
[8041][0][L][0][UTCG B3 13.8][1][0][13.8 ][9999999][0][9999999][21][0][G][['T-CGD ']]
[8042][0][L][0][ICO 69][1][0][69.0 ][9999999][0][9999999][21][0][A][['ICO ']]
[8043][0][L][0][UTCG B4 13.8][1][0][13.8 ][9999999][0][9999999][21][0][G][['T-CGD ']]
[8044][0][L][2][LBA DRV 04F2][1][0][230.0][9999999][0][9999999][21][0][ ][['1059 ']]
[8045][0][L][0][UTCG T1 0.48][1][0][0.48 ][9999999][0][9999999][21][0][ ][['T-CGD ']]
```

Fonte: Autoria própria.

Como saída do programa é mostrado o número total de subestações inferidas, 5025 no total.

4.5 Executando Identifica Subestação

Ao buscar uma sigla de subestação no programa, o resultado mostrado ao usuário é a lista de blocos do ANAFAS que estão inseridos na subestação desejada. Para uma busca da subestação Pau-Ferro, cuja sigla é PFE, o resultado é o seguinte:

Figura 4.5 – Bloco DBAR da subestação Pau-Ferro (PFE)

DBARs:

```
[7110][0][L][1][T#PF500_230A][1][0][0 ] [9999999][0][9999999][21][0][ ] [['PFE']]
[7111][0][L][0][PFERRO 13.8A][1][0][13.8 ] [9999999][0][9999999][21][0][A ] [['PFE']]
[7112][0][L][1][T#PF500_230B][1][0][0 ] [9999999][0][9999999][21][0][ ] [['PFE']]
[7113][0][L][0][PFERRO 13.8B][1][0][13.8 ] [9999999][0][9999999][21][0][A ] [['PFE']]
[7432][0][L][0][PFERRO 230][1][0][230.0] [9999999][0][9999999][21][0][ ] [['PFE']]
[7433][0][L][0][PFERRO 69][1][0][69.0 ] [9999999][0][9999999][21][0][A ] [['PFE']]
[7434][0][L][0][PFERROT513.8][1][0][13.8 ] [9999999][0][9999999][21][0][ ] [['PFE']]
[8565][0][L][0][PFERRO 500][1][0][500.0] [9999999][0][9999999][21][0][ ] [['PFE']]
```

Fonte: Autoria própria.

Figura 4.6 – Bloco DCIR da subestação Pau-Ferro (PFE)

DCIRs:										
[7345][0][L][7432][1][L][0.3	][2.14	][1.2	][6.34	][04F7	][0][0][1.0][0][0][21][0	][32.0	][	][0][0][	][0][0][0][1][1][999999][999999][0][99999999][][Serie LT longa	][['RCD', 'PFE']]
[7340][0][L][7432][1][L][0.3	][2.14	][1.22	][6.3500000000000005]	][04F6	][0][0][1.0][0][0][21][0	][32.0	][	][0][0][	][0][0][0][1][1][999999][999999][0][99999999][][Serie LT longa	][['RCD', 'PFE']]
[7433][0][L][7432][3][T][0.218	][13.25	][0.218	][12.4	][04T3	][0][0][1.0][0][0][21][30	][0	][D	][0][0][YN][0][0][0][1][1][999999][999999][0][99999999][][Transformador 2 enrolamentos	][['PFE']]	
[7433][0][L][7432][1][T][0	][12.44	][0	][11.89	][04T1	][0][0][1.0][0][0][21][30	][0	][D	][0][0][YN][0][0][0][1][1][999999][999999][0][99999999][][Transformador 2 enrolamentos	][['PFE']]	
[7433][0][L][7432][2][T][0	][12.47	][0	][11.89	][04T2	][0][0][1.0][0][0][21][30	][0	][D	][0][0][YN][0][0][0][1][1][999999][999999][0][99999999][][Transformador 2 enrolamentos	][['PFE']]	
[7433][0][L][7434][1][T][0	][498.0	][0	][476.0	][02T5	][0][0][1.0][0][0][21][30	][0	][D	][0][0][YN][0][0][0][1][1][999999][999999][0][99999999][][Transformador 2 enrolamentos	][['PFE']]	
[7432][0][L][8310][1][L][1.1400000000000001	][8.25	][7.23	][27.13	][04F8	][0][0][1.0][0][0][21][0	][124.0]	][	][0][0][	][0][0][0][1][1][999999][999999][0][99999999][][Serie LT longa	][['PFE', 'CTM']]
[7432][0][L][7450][1][L][1.16	][8.38	][7.32	][27.95	][04C4	][0][0][1.0][0][0][21][0	][126.0]	][	][0][0][	][0][0][0][1][1][999999][999999][0][99999999][][Serie LT longa	][['PFE', 'CGD']]
[7432][0][L][7430][1][L][0.1	][0.2	][0.1	][0.2	][LIN	][0][0][1.0][0][0][21][0	][0	][	][0][0][	][0][0][0][1][1][999999][999999][0][99999999][][Serie LT longa	][['PFE', 'ALD']]
[7432][0][L][8375][1][L][0.0148	][0.0753	][0.0604	][0.201	][NOVO	][0][0][1.0][0][0][21][0	][0.8	][	][0][0][	][0][0][0][1][1][999999][999999][0][99999999][][Serie LT longa	][['PFE', 'T-PE3']]
[8561][0][L][8565][1][L][0.139	][2.25	][1.449	][7.703	][NOVO	][0][0][1.0][0][0][21][0	][209.0]	][	][0][0][	][0][0][0][1][1][999999][999999][0][99999999][][Serie LT longa	][['GRD', 'PFE']]
[8565][0][L][7110][1][T][0	][1.7335	][0	][1.7335	][NOVO	][0][0][1.0][0][0][21][0	][0	][YN]	][0][0][	][0][0][0][1][1][999999][999999][0][99999999][][Transformador 3 enrolamentos	][['PFE']]
[7432][0][L][7110][1][T][0	][0.133	][0	][0.133	][NOVO	][0][0][1.0][0][0][21][0	][0	][YN]	][0][0][	][0][0][0][1][1][999999][999999][0][99999999][][Transformador 3 enrolamentos	][['PFE']]
[7111][0][L][7110][1][T][0	][9.2000000000000001	][0	][9.2000000000000001	][NOVO	][0][0][1.0][0][0][21][0	][0	][D	][0][0][	][0][0][0][1][1][999999][999999][0][99999999][][Transformador 3 enrolamentos	][['PFE']]
[8565][0][L][7112][1][T][0	][1.7335	][0	][1.7335	][NOVO	][0][0][1.0][0][0][21][0	][0	][YN]	][0][0][	][0][0][0][1][1][999999][999999][0][99999999][][Transformador 3 enrolamentos	][['PFE']]
[7432][0][L][7112][1][T][0	][0.133	][0	][0.133	][NOVO	][0][0][1.0][0][0][21][0	][0	][YN]	][0][0][	][0][0][0][1][1][999999][999999][0][99999999][][Transformador 3 enrolamentos	][['PFE']]
[7113][0][L][7112][1][T][0	][9.2000000000000001	][0	][9.2000000000000001	][NOVO	][0][0][1.0][0][0][21][0	][0	][D	][0][0][	][0][0][0][1][1][999999][999999][0][99999999][][Transformador 3 enrolamentos	][['PFE']]
[7330][0][L][8565][1][L][0.12	][1.441	][1.612	][5.527	][NOVO	][0][0][1.0][0][0][21][0	][112.0]	][	][0][0][	][0][0][0][1][1][999999][999999][0][99999999][][Serie LT longa	][['RCD', 'PFE']]
[7300][0][L][8565][1][L][0.262	][2.814	][3.313	][9.807	][NOVO	][0][0][1.0][0][0][21][0	][221.0]	][	][0][0][	][0][0][0][1][1][999999][999999][0][99999999][][Serie LT longa	][['AGD', 'PFE']]
[7432][0][L][8718][1][L][0.21	][1.51	][0.9500000000000001	][4.68	][04F3	][0][0][1.0][0][0][21][0	][22.6	][	][0][0][	][0][0][0][1][1][999999][999999][0][99999999][][Serie LT longa	][['PFE', 'MID']]
[0][0][L][7433][1][Z][9999.99	][9999.99	][0	][87.94	][02A1	][0][0][1.0][0][0][21][0	][0	][	][0][0][	][0][0][0][1][1][999999][999999][0][99999999][][Shunt L	][['PFE']]
[0][0][L][7433][2][Z][9999.99	][9999.99	][1.5938	][44.192	][02A2	][0][0][1.0][0][0][21][0	][0	][	][0][0][	][0][0][0][1][1][999999][999999][0][99999999][][Shunt RL	][['PFE']]

Fonte: Autoria própria.

Figura 4.7 – Bloco DMUT da subestação Pau-Ferro (PFE)

DMUTs:

[7340][0][L][7432][1][7345][7432][1][1.22	][4.8	][0][0][0	][0	][21][0][['RCD	' , 'RCD	' , 'PFE	' , 'PFE	']]
[7432][0][L][7450][1][7432][8310][1][6.140000000000001	][17.31	][0][0][0	][0	][21][0][['PFE	' , 'PFE	' , 'CGD	' , 'CTM	']]
[7432][0][L][8310][1][7400][7450][1][0.1	][	0.16][0][0][0	][0	][21][0][['PFE	' , 'GNN	' , 'CTM	' , 'CGD	']]
[7432][0][L][7450][1][7400][7450][1][0.21	][0.35000000000000003	][0][0][0	][0	][21][0][['PFE	' , 'GNN	' , 'CGD	' , 'CGD	']]
[7485][0][L][8310][1][7450][7432][1][0.1	][0.23	][0][0][0	][0	][21][0][['CGD	' , 'CGD	' , 'CTM	' , 'PFE	']]
[7432][0][L][8310][1][7485][8310][1][0.02	][0.03	][0][0][0	][0	][21][0][['PFE	' , 'CGD	' , 'CTM	' , 'CTM	']]
[7300][0][L][7330][1][7300][8565][1][1.97	][2.42	][0][0][0	][0	][21][0][['AGD	' , 'AGD	' , 'RCD	' , 'PFE	']]
[7300][0][L][7330][1][8565][7330][1][0.19	][0.23	][0][0][0	][0	][21][0][['AGD	' , 'PFE	' , 'RCD	' , 'RCD	']]
[7300][0][L][8565][1][7310][7328][1][2.58	][2.25	][0][0][0	][0	][21][0][['AGD	' , 'AGD	' , 'PFE	' , '913	']]
[7330][0][L][8565][1][7328][7310][1][0.25	][0.22	][0][0][0	][0	][21][0][['RCD	' , '913	' , 'PFE	' , 'AGD	']]
[7300][0][L][8565][1][7310][7370][1][2.69	][2.54	][0][0][0	][0	][21][0][['AGD	' , 'AGD	' , 'PFE	' , 'RIB	']]
[7330][0][L][8565][1][7370][7310][1][0.26	][0.25	][0][0][0	][0	][21][0][['RCD	' , 'RIB	' , 'PFE	' , 'AGD	']]
[7300][0][L][8565][1][7328][7340][1][1.28	][1.1	][0][0][0	][0	][21][0][['AGD	' , '913	' , 'PFE	' , 'RCD	']]
[7330][0][L][8565][1][7340][7328][1][0.12	][0.11	][0][0][0	][0	][21][0][['RCD	' , 'RCD	' , 'PFE	' , '913	']]
[7300][0][L][8565][1][7370][7345][1][1.33	][1.25	][0][0][0	][0	][21][0][['AGD	' , 'RIB	' , 'PFE	' , 'RCD	']]
[7330][0][L][8565][1][7345][7370][1][0.13	][0.12	][0][0][0	][0	][21][0][['RCD	' , 'RCD	' , 'PFE	' , 'RIB	']]
[7300][0][L][8565][1][7390][7340][1][0.192	][0.201	][0][0][0	][0	][21][0][['AGD	' , 'PRD	' , 'PFE	' , 'RCD	']]
[7330][0][L][8565][1][7340][7390][1][0.018	][0.019	][0][0][0	][0	][21][0][['RCD	' , 'RCD	' , 'PFE	' , 'PRD	']]
[7300][0][L][8565][1][7560][7323][1][0.228	][0.31	][0][0][0	][0	][21][0][['AGD	' , 'MSI	' , 'PFE	' , 'SUD	']]
[7330][0][L][8565][1][7323][7560][1][0.022	][0.03	][0][0][0	][0	][21][0][['RCD	' , 'SUD	' , 'PFE	' , 'MSI	']]
[7300][0][L][8565][1][7323][7330][1][1.03	][1.4000000000000001	][0][0][0	][0	][21][0][['AGD	' , 'SUD	' , 'PFE	' , 'RCD	']]
[7330][0][L][8565][1][7330][7323][1][0.1	][0.13	][0][0][0	][0	][21][0][['RCD	' , 'RCD	' , 'PFE	' , 'SUD	']]
[7432][0][L][8718][1][7340][7420][1][0.07	][0.13	][0][0][0	][0	][21][0][['PFE	' , 'RCD	' , 'MID	' , 'MRR	']]
[7432][0][L][8718][1][7345][7420][1][0.08	][0.16	][0][0][0	][0	][21][0][['PFE	' , 'RCD	' , 'MID	' , 'MRR	']]
[7432][0][L][8718][1][8065][7420][1][0.08	][0.18	][0][0][0	][0	][21][0][['PFE	' , '1064	' , 'MID	' , 'MRR	']]
[7432][0][L][8718][1][7400][8718][1][0.45	][1.71	][0][0][0	][0	][21][0][['PFE	' , 'GNN	' , 'MID	' , 'MID	']]
[7300][0][L][8565][1][7310][7345][1][2.510000000000002	][2.2	][0][0][0	][6.982	][21][0][['AGD	' , 'AGD	' , 'PFE	' , 'RCD	']]
[7330][0][L][8565][1][7345][7310][1][0.24	][0.21	][0][0][3.018][0	][21][0][['RCD	' , 'RCD	' , 'PFE	' , 'AGD	']]	
[7300][0][L][8565][1][7310][7345][1][1.23	][1.09	][0][0][6.982][0	][21][0][['AGD	' , 'AGD	' , 'PFE	' , 'RCD	']]	
[7330][0][L][8565][1][7345][7310][1][0.12	][0.1	][0][0][0	][3.018	][21][0][['RCD	' , 'RCD	' , 'PFE	' , 'AGD	']]

Fonte: Autoria própria.

Figura 4.8 – Bloco DSHL da subestação Pau-Ferro (PFE)

SHLs:

[8565][0][N][8561][1][D][1][[-180.0][Y][0][0][N][NOVO][1][1][21][1][[][][['PFE	']]
[8565][0][N][7300][1][D][1][[-100.0][Y][0][12.96][N][05E2][1][1][21][1][[][][['PFE	']]	

Fonte: Autoria própria.

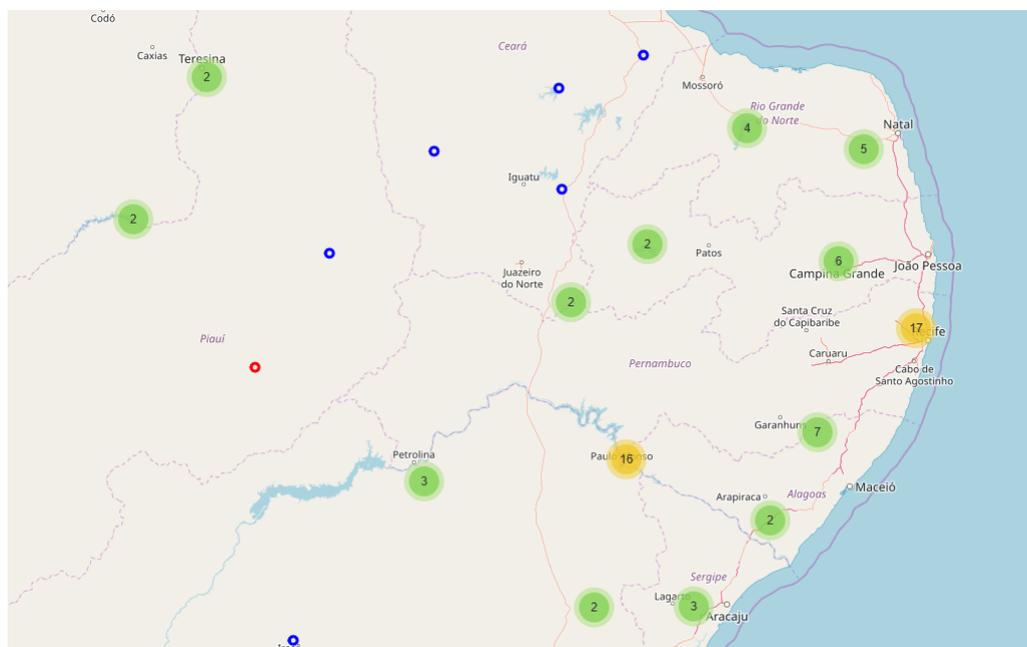
Os dados dos blocos de proteção (DMOV), de geradores eólicos síncronos (DEOL) e de área (DARE) não foram inferidos para a subestação, o que significa que não foram modelados no arquivo ANAFAS.

Uma comparação para validação da rotina pode ser feita com a Figura 2.18. A rotina identificou 4 transformadores de 2 enrolamentos e 2 transformadores de 3 enrolamentos, além das LTs que também estão presentes no diagrama da subestação. Dessa forma, o programa exibe resultados coerentes com a realidade.

4.6 Executando Desenha Mapa

Um dos resultados finais exibidos pelo programa é uma mapa de subestações inseridas no Sistema Interligado Nacional. O mapa mostrado ao usuário é obtido através

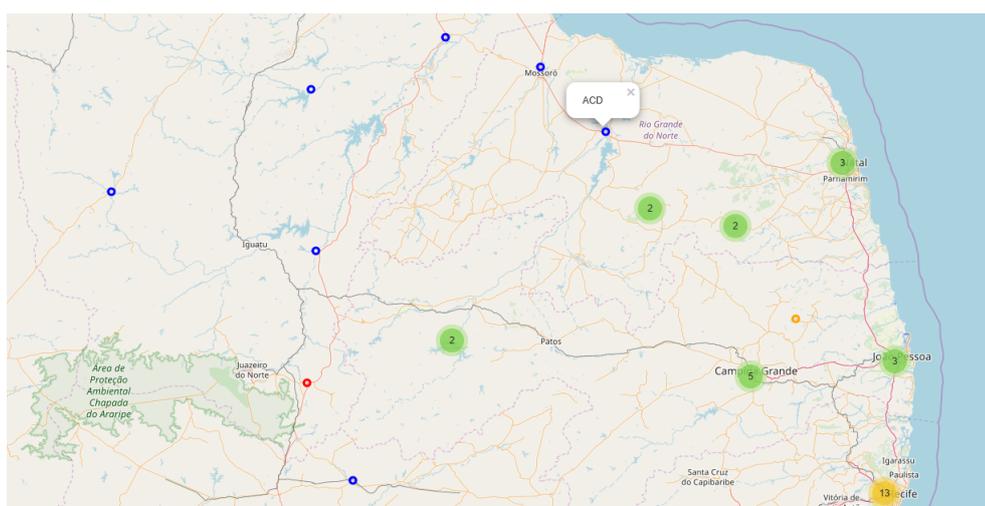
Figura 4.10 – Visão aproximada do mapa de subestações.



Fonte: Autoria própria.

Ao clicar ou passar o *mouse* em cima de uma subestação, é possível identificar a sua sigla.

Figura 4.11 – Sigla da subestação no mapa.



Fonte: Autoria própria.

5 Conclusão

O arquivo de dados disponibilizado em forma de texto pelo ANAFAS é de difícil entendimento e susceptível a erros, visto que a verificação dos dados ocorre de forma manual pelos engenheiros que utilizam a base de dados. Através dos algoritmos propostos neste trabalho, foi possível verificar uma melhora na apresentação dos dados, identificando equipamentos disponibilizados em forma de texto no arquivo de entrada, separando-os por subestação e gerando uma visualização de subestações.

Os resultados obtidos como saída do programa são de grande auxílio para os usuários do ANAFAS, visto que facilitam a verificação de dados de subestações e mostram informações de maneira objetiva e simples.

Referências

CEPEL. *ANAFAS - Manual do Usuário*. [S.l.], 2017. Citado 10 vezes nas páginas 17, 18, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 28 e 29.

CEPEL. *Programa ANAFAS - Análise de Faltas Simultâneas*. 2018. Disponível em: <<http://www.cepel.br/produtos/anafas-analise-de-faltas-simultaneas.htm>>. Acesso em: Outubro de 2018. Citado na página 14.

CORMEN, T. H. et al. *Introduction To Algorithms*. 2. ed. [S.l.]: Massachusetts Institute of Technology, 2001. Citado 2 vezes nas páginas 30 e 31.

DUAILIBE, P. *Subestações: Tipos, Equipamentos e Proteção*. 1999. Disponível em: <<http://www.vieiraeavarela.com.br/arquivos/SE.pdf>>. Acesso em: Setembro de 2018. Citado na página 32.

FEOFILOFF, P. *Busca em Largura (BFS)*. 2018. Disponível em: <https://www.ime.usp.br/~pf/algorithmos_para_grafos/aulas/bfs.html>. Acesso em: Outubro de 2018. Nenhuma citação no texto.

FILHO, J. M. *Instalações Elétricas Industriais*. 8. ed. [S.l.]: LTC, 2010. Citado na página 31.

GAIDUS, A. *Creating Web Maps in Python with GeoPandas and Folium*. 2016. Disponível em: <http://andrewgaidus.com/leaflet_webmaps_python/>. Acesso em: Outubro de 2018. Nenhuma citação no texto.

NASCIMENTO, D. S. C. *Programação Orientada a Objetos em Python*. 2017. Disponível em: <http://www3.ifrn.edu.br/~diegonascimento/dokuwiki/lib/exe/fetch.php?media=poo_slides.pdf>. Acesso em: Outubro de 2018. Citado na página 34.

ONS. *O Que é o SIN - Sistema Interligado Nacional*. 2018. Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>>. Acesso em: Outubro de 2018. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.

ONS. *Sistemas Isolados*. 2018. Disponível em: <<http://ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/sistemas-isolados>>. Acesso em: Outubro de 2018. Citado na página 12.

RICARTE, I. L. M. *O que é uma classe*. 2000. Disponível em: <<http://www.dca.fee.unicamp.br/cursos/PooJava/classes/conceito.html>>. Acesso em: Outubro de 2018. Citado na página 34.

SANTANA, F. *Visualizando Mapas Interativos com Python*. 2017. Disponível em: <<http://minerandodados.com.br/index.php/2017/11/16/visualizando-mapas-interativos-com-python/>>. Acesso em: Outubro de 2018. Citado na página 45.

TEMPORAL, J. *Colocando pontos num mapa com Folium*. 2017. Disponível em: <<https://jtemporal.com/folium/>>. Acesso em: Outubro de 2018. Citado na página 35.