



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

HERBERT FARIAS DE MIRANDA FILHO

**UMA METODOLOGIA PARA CONVERSÃO DE SISTEMAS MODELADOS NO
ANAFAS PARA ESTUDOS TRANSITÓRIOS NO ATP**

Recife
2022

HERBERT FARIAS DE MIRANDA FILHO

**UMA METODOLOGIA PARA CONVERSÃO DE SISTEMAS MODELADOS NO
ANAFAS PARA ESTUDOS TRANSITÓRIOS NO ATP**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Pernambuco, como requisito
parcial para obtenção do grau de Bacharel
em Engenharia Elétrica.

Orientador(a): Prof. Dr. Geraldo Leite Torres

Recife
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Filho, Herbert Farias de Miranda.

Uma Metodologia para Conversão de Sistemas Modelados no ANAFAS
para Estudos Transitórios no ATP / Herbert Farias de Miranda Filho. - Recife,
2022.

83 : il., tab.

Orientador(a): Geraldo Leite Torres

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Elétrica -
Bacharelado, 2022.

Inclui referências, apêndices, anexos.

1. Transitórios Eletromagnéticos. 2. Manobra. 3. ANAFAS. 4. ANAREDE.
5. ATP. I. Torres, Geraldo Leite. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

HERBERT FARIAS DE MIRANDA FILHO

**UMA METODOLOGIA PARA CONVERSÃO DE SISTEMAS MODELADOS NO ANAFAS
PARA ESTUDOS TRANSITÓRIOS NO ATP**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovado em: 28/10/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Geraldo Leite Torres (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Vicente Ribeiro Simoni (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Otoni Nóbrega Neto (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

A minha eterna gratidão aos meus pais, Ana Flávia e Herbert Farias, pelo esforço e empenho em estimular a curiosidade por meio da educação, do amor e do exemplo.

Os meus agradecimentos aos meus grandes amigos e colegas de profissão, Ramon Tibúrcio, João Carvalho, Gabriel Loureiro, Luciana Lins, João Cavalcanti e Felipe Mendonça pelo forte e verdadeiro vínculo de amizade e confiança.

Agradeço aos professores pelos quais tenho muito apreço e admiração, Luiz Magnata, Geraldo Torres, Vicente Simoni e Fabrício Bradaschia, sempre atenciosos e dedicados no exercício da docência, e que hoje os tenho como referência.

Também gostaria de agradecer aos meus colegas de trabalho da ESC Engenharia por todo o conhecimento e discernimento difundidos. Um agradecimento especial a Silas Gonzaga, que me deu todo o suporte para que este trabalho fosse realizado, além de mostrar novas formas de pensamento.

Se estiver se sentindo desmotivado ou sentido que não é bom o suficiente, incendeie seu coração! Enxugue as lágrimas e siga em frente! Quando se entristecer ou se acovardar, lembre-se que o fluxo do tempo nunca para. Ele não vai te esperar enquanto você se afoga em tristeza. (Rengoku, Kyojuro).

RESUMO

Com a expansão do Sistema Elétrico de Potência (SEP), torna-se indispensável a realização de estudos que a nortearão, tendo-se em vista a adequabilidade do sistema frente às solicitações presentes e futuras. Dentre eles, estão os estudos de transitórios eletromagnéticos, os quais visam analisar o comportamento do sistema, ou parte dele, frente às dinâmicas inerentes de sua operação. Ainda, ao se tratar de transitórios eletromagnéticos originados por manobras dos elementos constituintes do SEP, a filosofia utilizada para a modelagem computacional do sistema em análise é a mesma. Assim, naturalmente, as informações e procedimentos utilizados para a realização destas modelagens serão semelhantes, facilitando a realização de múltiplos estudos desta classe para uma mesma região de análise. Porém, mesmo assim, o tempo necessário para sua realização é expressivamente alto devido às informações necessárias virem normalmente de múltiplas fontes que, embora se refiram ao mesmo cenário, podem não apresentar correlação explícita entre suas estruturas de dados e, adicionalmente, necessitarem de conversões dessas informações devido as diferentes formas de representação do elemento modelado. Desta forma, baseado em metodologias já existentes, propõem-se desenvolver um algoritmo que permita reduzir significativamente o tempo necessário para a realização de modelagens para transitórios eletromagnéticos de manobra realizadas no programa *Alternative Transient Program* (ATP), tomando-se como referência os bancos de dados para os programas ANAFAS e ANAREDE disponibilizados publicamente pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

Palavras-chave: Transitórios Eletromagnéticos; Manobra; ANAFAS; ANAREDE; ATP.

ABSTRACT

Along with the expansion of the Electrical Power System (EPS), it becomes essential to conduct studies that will guide this expansion, bearing in mind the system's suitability for present and future requests. Among these studies are the electromagnetic transient one, which aim to analyze the behavior of the system, or part of it, in face of the inherent dynamics of its operation. Also, when dealing with electromagnetic transients from the maneuvers of the constituent elements of the EPS, the philosophy used for the computational modeling of the system under analysis is the same. Thus, naturally, the information and procedures used to conduct these modeling will be similar, facilitating doing multiple studies of this class for the same region of analysis. However, even so, the time required to carry out this modeling is significantly high due to the information needed for modeling, because, normally, it comes from multiple sources that, although referring to the same scenario, may not show an explicit correlation between their data structures and, still, need conversions of this information due to the different forms of representation of the modeled element. In this way, based on existing methodologies, this work proposes the development of an algorithm to allows to significantly reduce the time necessary to carry out the modeling for electromagnetic switching transients made in the Alternative Transient Program (ATP), taking as reference the databases for the ANAFAS and ANAREDE programs made publicly available by the National Electric System Operator (ONS) and the Energy Research Company (EPE).

Keywords: Electromagnetic transients; Operational Maneuver; ANAFAS; ANAREDE; ATP.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Fluxo de Corrente na Barra k – Convenção de Sinais.....	23
Figura 2: Modelo Série de Linha de Transmissão.....	24
Figura 3: Modelo π -nominal de Linha de Transmissão.....	24
Figura 4: Modelo de Transformador de dois Enrolamentos.....	25
Figura 5: Modelo do Transformador de dois Enrolamentos em Fase.....	25
Figura 6: Modelagem Simplificada para Curtos-Circuitos.....	27
Figura 7: Ciclo da Corrente de Sequência Zero na Linha de Transmissão.....	28
Figura 8: Circuito do Transformador de dois Enrolamentos para a Análise de Curto-Circuito.....	29
Figura 9: Circuito de Impedância de Sequência Zero e de Sequência Positiva para Transformadores de dois Enrolamentos Ligados em Estrela Aterrada - Estrela Aterrada....	29
Figura 10: Circuito de Impedância de Sequência Zero à Esquerda e de Sequência Positiva a Direita para Transformadores de dois Enrolamentos Ligados em Estrela Aterrada - Delta.....	30
Figura 11: Representação dos Parâmetros Distribuídos de uma Linha de Transmissão.....	32
Figura 12: Circuito da Linha de Transmissão para Análise de Transitórios Eletromagnéticos.....	33
Figura 13: Circuito de um Transformador de dois Enrolamentos para Análise de Transitórios Eletromagnéticos de Manobra.....	34
Figura 14: Grupo de Dados DLIN.....	37
Figura 15: Grupo de Dados DGBT.....	38
Figura 16: Relatório DADB.....	38
Figura 17: Relatório RSHB.....	39
Figura 18: Relatório RSHB.....	40
Figura 19: Grupo de Dados DBAR.....	41
Figura 20: Grupo de Dados DLIN.....	42
Figura 21: Fluxograma das Aquisições de Informação.....	42
Figura 22: Cartão MISCELLANEOUS.....	44
Figura 23: Cartão BRANCH – Linha de Transmissão.....	45
Figura 24: Cartão BRANCH – Transformador: Cabeçalho.....	46
Figura 25: Cartão BRANCH – Transformador: Curva de Saturação.....	47
Figura 26: Cartão BRANCH – Transformador: Parâmetros dos Enrolamentos.....	47
Figura 27: Cartão BRANCH – Elementos Concentrados Série sem Acoplamento.....	48
Figura 28: Elementos Concentrados Série sem Acoplamento.....	48

Figura 29: Cartão BRANCH – Elementos Concentrados Série com Acoplamento.....	49
Figura 30: Elementos Concentrados Série com Acoplamento.	49
Figura 31: Cartão SWITCH – Chave Ideal.	50
Figura 32: Cartão SOURCE – Fonte Ideal.	51
Figura 33: Módulo de Fonte Equivalente.....	57
Figura 34: Módulo de Linha de Transmissão.	57
Figura 35: Módulo de Transformador.	58
Figura 36: Módulo de Elemento Série.....	58
Figura 37: Módulo de Elemento Shunt.....	58
Figura 38: Módulo de Carga PQ.	58
Figura 39: Diferença entre os Casos Intermediário e Final.....	61
Figura 40: Arquivo de Saída do ATP – Caso Intermediário.	62
Figura 41: Sistema de 9 Barras no ANAFAS.	65
Figura 42: Sistema de 9 Barras no ANAREDE.....	66
Figura 43: Sistema de 16 Barras no ANAFAS.....	68
Figura 44: Sistema de 16 Barras no ANAREDE.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Metodologia para Nomeação Automática dos Pontos de Conexão.	60
Tabela 2: Nível de Curto-Circuito Trifásico – Sistema de 9 Barras.....	66
Tabela 3: Nível de Curto-Circuito Monofásico – Sistema de 9 Barras.	67
Tabela 4: Fluxo de Potência Ativa – Sistema de 9 Barras.....	67
Tabela 5: Fluxo de Potência Reativa – Sistema de 9 Barras.....	67
Tabela 6: Nível de Curto-Circuito Trifásico – Sistema de 16 Barras.....	69
Tabela 7: Nível de Curto-Circuito Monofásico – Sistema de 16 Barras.	70
Tabela 8: Fluxo de Potência Ativa – Sistema de 16 Barras.....	70
Tabela 9: Fluxo de Potência Reativa – Sistema de 16 Barras.....	70
Tabela 10: Nível de Curto-Circuito Trifásico – Sistema de 9 Barras Modificado.....	71
Tabela 11: Nível de Curto-Circuito Monofásico – Sistema de 9 Barras Modificado.	72
Tabela 12: Fluxo de Potência Ativa – Sistema de 9 Barras Modificado.....	72
Tabela 13: Fluxo de Potência Reativa – Sistema de 9 Barras Modificado.....	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAFAS	Análise de Falhas Simultâneas
ANAREDE	Análise de Redes Elétricas
ATP	<i>Alternative Transient Program</i>
BF	Número da Barra Referente ao Terminal Final
BT	Número da Barra Referente ao Terminal Inicial
CEPEL	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
DADB	Relatório dos Dados de Barra
DBAR	Dados de Barra
DCIR	Dados de Circuitos
DGBT	Dados dos Grupos de Base de Tensão de Barras CA
DLIN	Dados do Elementos CA
ed.	Edição
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
et al.	E outro
LT	Linha de Transmissão
NC	Número do Circuito
ONS	Operador do Sistema Elétrico
PQ	Barra do Tipo Potências Ativa e Reativa Constantes
RC	Circuito do Tipo Resistência e Capacitância Série
RL	Circuito do Tipo Resistência e Indutância Série
RLIN	Relatório Completo do Sistema
RSHB	Relatório dos Shunts de Barra
RSHL	Relatório dos Shunts de Linha
SE	Subestação
SEB	Sistema Elétrico Brasileiro
SEP	Sistema Elétrico de Potência
SIN	Sistema Interligado Nacional
TR	Transformador de Potência
TRT	Tensão de Restabelecimento Transitória

LISTA DE SÍMBOLOS

I_S	Vetor dos Fasores das Correntes da Fonte Ideal
$\dot{I}_{S_A}$	Fasor da Corrente da Fase A da Fonte Ideal
$\dot{I}_{S_B}$	Fasor da Corrente da Fase B da Fonte Ideal
$\dot{I}_{S_C}$	Fasor da Corrente da Fase C da Fonte Ideal
V_{BUS}	Vetor dos Fasores das Tensões da Barra
$\dot{V}_{BUS_A}$	Fasor da Tensão da Fase A da Barra
V_S	Vetor dos Fasores das Tensões das Fonte Ideal
$\dot{V}_{S_A}$	Fasor da Tensão da Fase A da Fonte Ideal
$\dot{z}_0$	Impedância de Sequência Positiva da Fonte Equivalente
$\dot{z}_1$	Impedância de Sequência Zero da Fonte Equivalente
$\dot{z}_m$	Impedância Mútua da Fonte Equivalente
Z_{EQ}	Matriz das Impedâncias da Fonte Equivalente
$\dot{z}_S$	Impedância Própria da Fonte Equivalente

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	MOTIVAÇÃO PARA O ESTUDO	17
1.2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
1.3	OBJETIVOS.....	19
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	20
2	REFERENCIAL TEÓRICO	21
2.1	ESTUDOS DE FLUXO DE POTÊNCIA.....	21
2.1.1	Aspectos Gerais do Problema de Fluxo de Potência	22
2.1.2	Modelagem das Linhas de Transmissão.....	23
2.1.3	Modelagem dos Transformadores.....	24
2.2	ESTUDOS DE CURTO-CIRCUITO	25
2.2.1	Aspectos Gerais do Problema de Curto-Circuito	26
2.2.2	Modelagem das Linhas de Transmissão.....	26
2.2.3	Modelagem dos Transformadores.....	28
2.3	ESTUDOS DE TRANSITÓRIOS ELETROMAGNÉTICOS DE MANOBRA.....	30
2.3.1	Aspectos Gerais do Problema de Transitórios Eletromagnéticos de Manobra	31
2.3.2	Modelagem das Linhas de Transmissão.....	32
2.3.3	Modelagem dos Transformadores.....	33
3	PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DOS ARQUIVOS UTILIZADOS PELOS PROGRAMAS ANAFAS, ANAREDE E ATP.....	35
3.1	ANAREDE.....	36
3.1.1	DLIN	36
3.1.2	DGBT.....	37
3.1.3	DADB	38
3.1.4	RSHB.....	38
3.1.5	RSHL	39
3.2	ANAFAS	40
3.2.1	DBAR	40
3.2.2	DCIR.....	41
3.3	ATP.....	43
3.3.1	MISCELLANEOUS	43
3.3.2	BRANCH	44
3.3.3	SWITCH.....	49
3.3.4	SOURCE.....	50

4	METODOLOGIA PROPOSTA	52
4.1	AQUISIÇÃO DE DADOS.....	52
4.2	TRATAMENTO DOS DADOS IMPORTADOS.....	54
4.3	CRIAÇÃO DO ARQUIVO ATP INTERMEDIÁRIO	57
4.4	IMPORTAÇÃO DOS RESULTADOS INTERMEDIÁRIOS	62
4.5	CRIAÇÃO DO ARQUIVO ATP FINAL	63
4.6	VALIDAÇÃO DA CONVERSÃO	64
5	ANÁLISE DE RESULTADOS	65
5.1	SISTEMA DE 9 BARRAS.....	65
5.2	SISTEMA DE 16 BARRAS	68
5.3	SISTEMA DE 9 BARRAS MODIFICADO	71
6	CONCLUSÃO E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE.....	74
	REFERÊNCIAS	76
	APÊNDICE A – ARQUIVO ATP RESULTANTE DO CASO DE 9 BARRAS	78
	ANEXO A – ARQUIVO ANAFAS USADO NO CASO DE 9 BARRAS	81
	ANEXO B – ARQUIVO ANAREDE USADO NO CASO DE 9 BARRAS.....	82

1 INTRODUÇÃO

A evolução do Sistema Elétrico Brasileiro (SEB) só foi possível graças à aplicação de técnicas de planejamento. Assim, foi exequível atender aos requisitos mínimos operacionais e às solicitações presentes e futuras da rede. Para tal, a realização de estudos elétricos tornou-se indispensável. Dentre a ampla classificação desses estudos, encontram-se os estudos de transitórios eletromagnéticos de manobra, os quais visam garantir a suportabilidade dos componentes constituintes do sistema frente às solicitações impostas pela dinâmica intrínseca do sistema aos quais eles se encontram.

Um fenômeno de transitório eletromagnético é a manifestação externa de uma mudança repentina nas condições do circuito, quando, por exemplo, uma chave comuta entre fechamento e abertura, na ocorrência de um defeito nas fases do sistema, ou na incidência de uma descarga atmosférica na rede (GREENWOOD, 1991). Quando a origem desse fenômeno transitório é devido à dinâmica operacional do sistema, como por exemplo a abertura de um disjuntor, ele é classificado como transitório eletromagnético de manobra.

Ainda, ao se tratar de transitórios eletromagnéticos originados por manobras dos elementos constituintes de um SEP, encontram-se uma ampla gama de estudos, tais como os estudos de energização, tensão de restabelecimento transitória, tensões e correntes induzidas em circuitos paralelos e seus efeitos em lâminas de terra de seccionadoras e manobra de banco de capacitores.

Embora os cenários e estados operativos de um SEP possam diferir, e diferem, para esses estudos, o modelo matemático utilizado para representar os elementos do sistema sob análise são os mesmos para fenômenos com faixas de frequência compatíveis. Assim, naturalmente, as informações e procedimentos utilizados para realização destas modelagens serão semelhantes, facilitando a realização de múltiplos estudos desta classe para uma mesma região de análise.

Porém, mesmo assim, o tempo necessário para realização desta modelagem é expressivamente alto. Esse fato se justifica devido às informações necessárias para essa modelagem possuírem múltiplas fontes que, embora se refiram ao mesmo

cenário do sistema, podem não apresentar correlação explícita entre suas estruturas de dados e necessitarem de cálculos e conversões desses dados.

Por exemplo, para modelagens de transitórios eletromagnéticos de manobra, são normalmente utilizados os bancos de dados fornecidos pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), os quais são disponibilizados em seus respectivos sites.

Por parte da EPE, a compatibilidade entre os bancos de dados para estudos de fluxo de potência e de curto-circuito já se encontra em estágio avançado, sendo possível correlacionar facilmente os barramentos e elementos modelados nesses bancos de dados. Entretanto, por parte do ONS, embora já existam esforços sendo realizados para adequação desses dados, a correlação entre seus bancos de dados encontra-se em estágio inicial.

1.1 Motivação para o Estudo

A realização de estudos de transitórios eletromagnéticos está intimamente relacionada ao processo de expansão de um SEP, o que a torna inevitável. Nesse contexto, analisando-se os requisitos necessários para sua execução, observa-se que o tempo necessário para a realização de modelagens em ambiente computacional para simulação desses fenômenos é expressivo, muitas vezes sendo a etapa mais onerosa, mesmo que as informações necessárias para o estudo tenham sido fornecidas em sua completude.

Tendo em vista que, para essa classe de estudos transitórios, há metodologia amplamente utilizada e consolidada quanto às diretrizes de suas modelagens em ambiente computacional (ONS, 2013), torna-se inevitável a sua automatização em busca da redução do tempo utilizado para essa atividade e, conseqüentemente, no tempo total para realização desses estudos, tendo-se o adicional de mitigar erros humanos nesse processo.

Assim, baseado em metodologias já existentes, é proposto o desenvolvimento de um algoritmo que permita reduzir significativamente o tempo necessário para a realização de modelagens para transitórios eletromagnéticos de manobra realizadas

no programa *Alternative Transient Program* (ATP), tomando-se como referência os bancos de dados para os programas ANAFAS e ANAREDE.

1.2 Revisão Bibliográfica

Esforços visando a melhoria da eficiência na execução de estudos de transitórios eletromagnéticos no ATP já foram realizados. O artigo desenvolvido por (ZANETTA JR, 2005) apresenta a implementação de um aplicativo para obtenção de equivalentes para a simulação de transitórios eletromagnéticos com o programa ATP cujos dados usados na modelagem são obtidos dos arquivos em formato reconhecido pelos programas ANAFAS e ANAREDE.

A saída desse programa é um arquivo em formato reconhecido pelo ATP contendo as impedâncias próprias e de transferências, assim como as fontes de tensão equivalentes. Como metodologia básica, os parâmetros dessas impedâncias são obtidos do arquivo em formato reconhecido pelo ANAFAS, enquanto que os parâmetros das fontes de tensão utilizam-se do fluxo de potência obtido pelo ANAREDE em conjuntura com os dados de impedância do ANAFAS. Dessa forma, o resultado é um conjunto de informações em formato reconhecido pelo ATP que devem ser incorporadas ao arquivo contendo os elementos da rede que serão representados normalmente no estudo de transitórios no programa ATP.

Além disso, o artigo elaborado por (SANTOS JR., 2007) mostra a implementação de uma ferramenta computacional voltada para a validação de equivalentes para a simulação de transitórios eletromagnéticos com o programa ATP cujos dados da modelagem são validados por meio de arquivos em formato utilizado pelos programas ANAFAS e ANAREDE já consolidados. Neste artigo, é apresentada metodologia baseada em três etapas para inserção das fontes equivalentes no ATP, a qual tem como fundamento básico o uso do fluxo de potência simulado no próprio ambiente ATP, ao invés do fluxo de potência simulado no ANAREDE utilizado pelo (ZANETTA JR, 2005).

No artigo elaborado por (FONSECA, 2016), o qual desenvolve uma ferramenta gráfica para elaboração do sistema equivalente para simulação no ATP, são

modeladas, também, as cargas associadas às subestações do sistema a ser simulado. Adicionalmente, as informações acerca das compensações reativas das subestações, das capacitâncias shunts de sequência positiva das linhas de transmissão e das cargas associadas as subestações são obtidas a partir do ANAREDE.

Ainda, embora haja diferenças nas metodologias apresentadas nos artigos citados anteriormente, todos apresentam a mesma base comum, validação das modelagens feitas no ATP por meio de bases de dados consolidadas nos formatos de arquivo utilizados pelos programas ANAFAS e ANAREDE, assim como a presença da seguinte problemática: discordância no número e nome associado a um mesmo elemento do sistema representado nas diferentes bases de dados, discordância de topologia da rede e discordância de parâmetros. Tais problemáticas acarretam na dificuldade em realizar a comunicação entre essas bases de dados que, na sua essência, representam o mesmo sistema físico.

Por fim, embora as bases de dados fornecidas pela EPE já se encontrem em estágio de compatibilidade avançado, o mesmo não acontece para o ONS. Entretanto, enquanto este trabalho está sendo realizado, há esforços por parte do ONS para a unificação dos seus bancos de dados, conforme evidenciado em (ONS, 2022). Porém, visto que esta unificação não foi finalizada e, conseqüentemente, a problemática da unificação dos bancos de dados ainda não foi solucionada, será considerado, a partir desta seção, que poderá haver divergências entre as numerações e nomes de um mesmo elemento representado em banco de dados distintos.

1.3 Objetivos

Este trabalho tem como objetivo desenvolver um algoritmo em MATLAB para realizar a elaboração de arquivos em formato reconhecido pelo ATP para simulações de transitórios eletromagnéticos de manobra utilizando-se de banco de dados no formato reconhecido pelos programas ANAFAS e ANAREDE consolidados. Adicionalmente, propõe-se realizar a validação deste sistema em ATP tanto por meio da comparação com os fluxos de potência fornecidos pelo ANAREDE, quanto pelos níveis de curto-circuito apresentados pelo ANAFAS.

Como objetivo secundário, propõe-se apresentar a metodologia utilizada para realizar a comunicação entre os formatos de arquivo utilizados pelos programas: ATP, ANAFAS e ANAREDE.

Por fim, não serão contemplados, neste trabalho, o uso de transformadores de 3 ou mais enrolamentos, acoplamentos mútuos entre linhas de transmissão, sistemas de corrente contínua, sistemas que envolvam eletrônica de potência, tal como o sistema de proteção de capacitores série, geradores eólicos ou fotovoltaicos modelados por fonte de corrente e compensadores síncronos.

1.4 Estrutura do Trabalho

Para um melhor entendimento da proposta, é imprescindível enumerar alguns requisitos. A realização dos estudos parte de algumas premissas básicas descritas no Capítulo 2, sobre o tema de modelagens dos elementos presentes no sistema elétrico de potência para os estudos de curto-circuito, fluxo de potência e transitórios eletromagnéticos de manobra, dando-se ênfase na apresentação dos modelos de transformadores (TR) e linhas de transmissão (LT).

No Capítulo 3, são expostos como os modelos apresentados no Capítulo 2 estão associados com os formatos de arquivo reconhecidos pelos programas ANAFAS e ANAREDE, buscando-se o entendimento dos parâmetros elétricos que cada um deles armazena.

No Capítulo 4, é descrita a metodologia utilizada para desenvolver o algoritmo proposto neste trabalho, incluindo os processos de aquisição e mapeamento dos dados advindos do arquivo ANAFAS e ANAREDE e suas manipulações intermediárias para criação do arquivo em formato reconhecido pelo ATP. No Capítulo 5, serão montados alguns casos de teste para demonstração da eficácia desse algoritmo desenvolvido.

Por fim, no Capítulo 6, serão apresentadas as conclusões e considerações sobre o algoritmo desenvolvido, assim como seus impactos e limitações nas execuções de estudos de transitórios eletromagnéticos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O presente capítulo possui como objetivo a apresentação dos conceitos necessários para a compreensão das análises que serão realizadas nas próximas seções. Buscando-se uma melhor compreensão do algoritmo proposto, serão descritos os aspectos relacionados aos estudos de fluxo de potência, curto-circuito e transitórios eletromagnéticos de manobra, indicando convenções e modelos utilizados nesses estudos.

É importante salientar que essas ferramentas também são necessárias para a compreensão da necessidade de comunicação entre esses bancos de dados não somente para fins de validação do modelo em formato reconhecido pelo ATP, mas, também, para realizar a conversão dos modelos em formatos utilizados pelos programas ANAFAS e ANAREDE para o formato reconhecido pelo ATP.

2.1 Estudos de Fluxo de Potência

A operação adequada de um sistema de potência requer análises contínuas sobre o comportamento do fluxo de cargas. É possível, a partir dessas análises, garantir tanto a operação de maneira confiável, quanto a não violação dos limites estabelecidos em (ONS, 2021a).

O cálculo de fluxo de potência, segundo (MONTICELLI, 1983), consiste, em sua essência, no estudo do estado da rede, com a distribuição dos fluxos e grandezas fundamentais para a compreensão da operação. Essas representações, que são estáticas, observam variações relativamente lentas, permitindo, assim, excluir os efeitos transitórios.

No sistema elétrico, os fluxos são direcionados justamente pelas diferenças de impedância equivalente dos diversos caminhos dos circuitos. Quando uma rede é bem planejada, a distribuição de fluxos deverá ser satisfatória, mesmo com diferenças intrínsecas de impedância entre diferentes níveis de tensão.

2.1.1 Aspectos Gerais do Problema de Fluxo de Potência

Para a análise de um problema de fluxo de potência, é possível dividir os componentes em dois grupos diferentes. O primeiro grupo está relacionado aos equipamentos que são ligados entre uma barra e o terra do sistema, como acontece com geradores, cargas, reatores e capacitores *shunt*. O segundo grupo está relacionado aos equipamentos que são ligados entre duas barras da rede, como acontece com linhas de transmissão e transformadores.

No estudo do fluxo de potência, as equações básicas do sistema são obtidas por meio da primeira lei de Kirchhoff. Uma das ideias advindas dessa lei é que a potência líquida injetada em um nó é igual ao somatório das potências que fluem pelo sistema, que tem como ponto final esse mesmo nó. Para expressar os componentes internos em função da tensão, a segunda lei de Kirchhoff é usada correlacionando os fluxos ao estado do sistema.

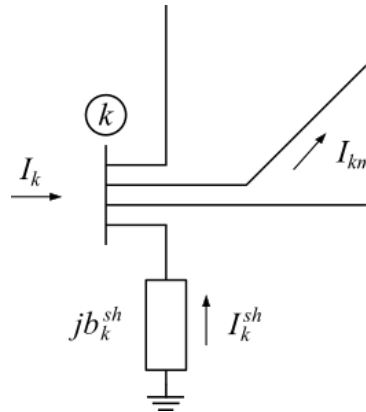
Assim, é possível dizer que o problema de fluxo de carga se baseia em uma série de equações e inequações, correspondendo, respectivamente, às leis de Kirchhoff e às restrições impostas pelo sistema estudado. As barras da rede, em suas formulações, são diretamente associadas a quatro variáveis, sendo estas: potência ativa, potência reativa, magnitude da tensão e ângulo da tensão. Em sua maioria, as equações dispõem de duas variáveis e duas incógnitas ligadas a uma determinada barra. As barras estudadas, comumente, recaem em um desses 3 tipos: potência ativa e reativa constante (PQ), potência ativa e magnitude da tensão constante e barra de referência, que possui a magnitude e o ângulo da tensão constantes.

Nas equações básicas montadas para a construção desses estudos, é convencionalizado que as injeções de potência são positivas quando entram na barra e negativas quando saem da barra. Para fluxo em um ramo é o oposto, sendo positivo quando sai da barra e negativo quando chega à barra. Essa convenção pode ser vista na Figura 1.

Dessas equações, serão abordadas, nas seções posteriores, as relacionadas às linhas de transmissão e aos transformadores, visto que estas apresentam maior grau

de complexidade em suas modelagens e acabam por englobar os fundamentos utilizados para modelagem dos elementos que constituem um SEP.

Figura 1: Fluxo de Corrente na Barra k – Convenção de Sinais.



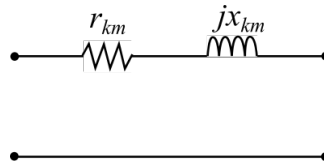
Fonte: Própria do autor (2022), adaptada de (MONTICELLI, 1983).

2.1.2 Modelagem das Linhas de Transmissão

As linhas de transmissão têm como função o transporte de carga desde a geração até o consumidor. Pela essência do sistema elétrico, a tensão e o comprimento da linha permitem a adoção de modelos distintos, pelas possíveis simplificações que podem ser realizadas. É válido separar essas simplificações em modelos para linhas de transmissão curtas, médias e longas. Ainda, vale ressaltar que as situações de análise de fluxo de potência correspondem a um sistema equilibrado em sua operação normal, ou seja, as impedâncias analisadas são apenas de sequência positiva.

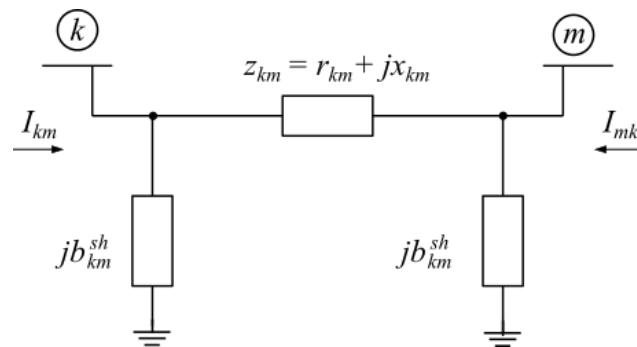
O modelo de linhas curtas consiste em um circuito equivalente contando apenas com uma resistência série e uma reatância série, que pode ser visualizado na Figura 2 abaixo.

Figura 2: Modelo Série de Linha de Transmissão.



Fonte: Própria do autor (2022).

Para as análises de fluxo de potência, é usual a modelagem da linha de transmissão como π -nominal, o qual é mostrado na Figura 3. A partir desta ilustração, é possível desenvolver alguns aspectos. Esse modelo é definido por sua impedância série e susceptância *shunt*, em que essa é metade da susceptância total da linha.

Figura 3: Modelo π -nominal de Linha de Transmissão.

Fonte: Própria do autor (2022), adaptada de (MONTICELLI, 1983).

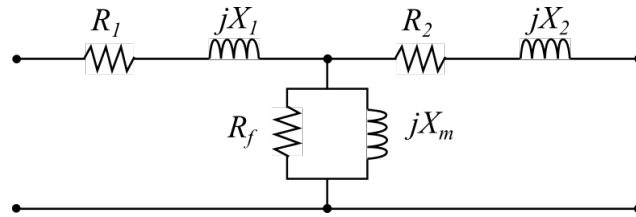
O modelo para linhas longas exige uma representação mais complexa. Entretanto, é possível, a partir do modelo π -nominal, corrigir os valores de impedância e admitância com o objetivo de se aproximar da modelagem desse tipo de linha. Assim é possível obter o modelo π -equivalente.

2.1.3 Modelagem dos Transformadores

O transformador é um componente fundamental no modelo do sistema elétrico atual. A sua utilização permite tanto a elevação da tensão para diminuição das perdas nos sistemas de transmissão, quanto a diminuição da tensão para o atendimento ao consumidor. Eletricamente, sua modelagem pode ser feita a partir das resistências e

reatâncias dos enrolamentos e fluxos dispersos nas bobinas do transformador, como, também, pela reatância equivalente de excitação e as perdas no núcleo do equipamento. Na Figura 4, é possível ver o modelo de um transformador de dois enrolamentos referido para um dos enrolamentos do transformador.

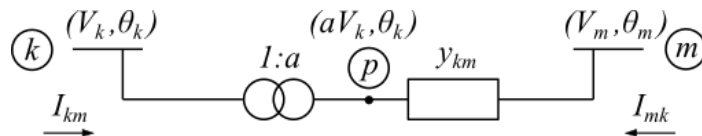
Figura 4: Modelo de Transformador de dois Enrolamentos.



Fonte: Própria do autor (2022).

Para a análise de transformadores no fluxo de potência, é possível realizar uma modelagem contando com um transformador ideal seguido da impedância série, a qual será representada matematicamente pelo seu valor de admitância (MONTICELLI, 1983).

Figura 5: Modelo do Transformador de dois Enrolamentos em Fase.



Fonte: Própria do autor (2022), adaptada de (MONTICELLI, 1983).

2.2 Estudos de Curto-Circuito

A análise de curto-circuito tem como princípio o estudo das correntes de falta em um sistema elétrico. Uma falta é compreendida como uma falha que acaba por interferir no fluxo normal de corrente do sistema (STEVENSON, 1994), visto na Seção 2.1. A compreensão do comportamento do sistema, frente aos curtos-circuitos, torna-se de grande importância para o estudo de um SEP. Ampliações, evoluções de

configuração e ajustes da proteção, têm como um dos alicerces as análises de curto-circuito (ONS, 2021b).

2.2.1 Aspectos Gerais do Problema de Curto-Circuito

O estudo tradicional de fluxo de potência pressupõe uma rede trifásica perfeitamente equilibrada. Posto isso, a modelagem dos componentes é feita utilizando apenas os parâmetros de sequência positiva.

Contudo, nas análises de curto-circuito, há a necessidade de estudar sistemas que estão em desequilíbrio como aqueles submetidos a faltas *shunt* monofásicas e bifásicas. Portanto, é imprescindível a utilização da teoria de componentes simétricas, transformando um sistema trifásico desequilibrado em três sistemas equilibrados, conhecidos como sistemas de sequência. Em vista disso, para modelar as componentes nos sistemas de sequência, deve-se conhecer, portanto, as impedâncias de sequência dos elementos.

Assim como foi feito em fluxo de potência, serão abordadas, nas seções posteriores, as modelagens das linhas de transmissão e dos transformadores, visto que estes apresentam maior grau de complexidade e acabam por englobar os fundamentos utilizados para modelagem do SEP.

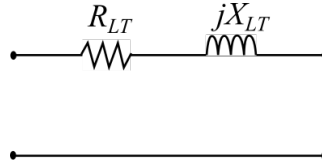
2.2.2 Modelagem das Linhas de Transmissão

Os modelos utilizados nesse estudo precisam estar de acordo com os efeitos que serão submetidos nas análises de curto-circuito. Vale ressaltar que, para as situações analisadas, é considerado que há um equilíbrio de impedâncias entre as fases e uma invariabilidade dos parâmetros com a frequência. Com o intuito de simplificar a modelagem, é possível afirmar que os valores de impedâncias negativas serão iguais aos de impedância positiva, permitindo, assim, realizar a modelagem em dois sistemas de sequência: positiva e zero (DOMMEL, 1996).

Como visto no tópico de fluxo de potência, há diversos modelos para a representação matemática da LT, os quais dependem, principalmente, do comprimento e do nível de tensão da LT. Entretanto, para a maioria dos casos de

curto-circuito, é possível desprezar os ramos *shunt*, ficando apenas com o ramo série do modelo π , como apresentado na Figura 6.

Figura 6: Modelagem Simplificada para Curtos-Circuitos.



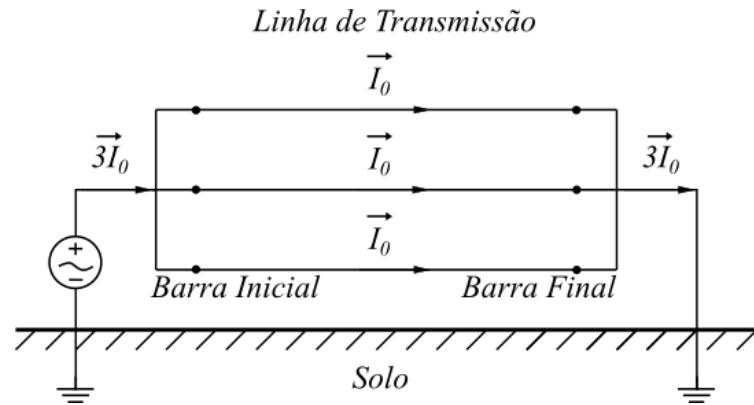
Fonte: Própria do autor (2022).

A impedância de sequência positiva da LT é, geralmente, como visto na Seção 2.1.2, utilizada nas análises de fluxo de potência. Como a ferramenta de componentes simétricas é usual nos estudos de curto-circuito, é pertinente apontar, também, a utilização das impedâncias de sequência negativa e zero.

A respeito da sequência negativa, para o caso do estudo de curto-circuito, essa possui o mesmo valor que a sequência positiva, dada a estaticidade do componente analisado como também pelo equilíbrio entre as fases (KINDERMANN, 2018).

A sequência zero tem um impacto fundamental nas análises de curto-circuito. Como as correntes de sequência zero são iguais em fase, elas, obrigatoriamente, necessitam de um caminho de retorno como mostrado na Figura 7. Assim, os valores de impedância de sequência zero são diferentes dos demais para a LT. Dado um curto-circuito em um ponto na linha, é necessário avaliar as três condições básicas de retorno: pelos cabos guarda, pela terra sob a linha e pela terra usando o caminho mais curto a outro ponto do sistema conectado à terra.

Figura 7: Ciclo da Corrente de Sequência Zero na Linha de Transmissão.



Fonte: Própria do autor (2021), adaptada de (KINDERMANN, 2018).

É possível realizar uma estimativa simples entre as impedâncias de sequência zero e positiva. Segundo (KINDERMANN, 2018) é possível supor que a impedância de sequência zero de uma linha de transmissão, contando os retornos pelo cabo guarda e pela terra, tenha seu valor indicado na Equação 1:

$$\dot{z}_{LT_0} = (2 a 6) \cdot \dot{z}_{LT_1} \quad (1)$$

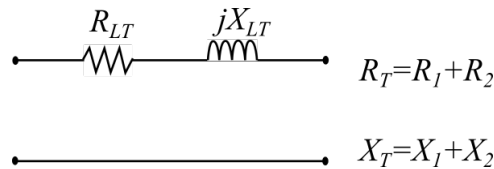
Essa estimativa se torna ainda mais pertinente com o aumento das incertezas encontradas em análises de médio e longo prazo, podendo ser utilizada quando os dados reais da linha não estão disponíveis.

2.2.3 Modelagem dos Transformadores

De forma similar ao que ocorre no cálculo de fluxo de potência, a natureza das análises de curto-circuito permite que seja executada uma série de simplificações no modelo geral do transformador apresentado na Figura 4. A corrente em uma falta possui, normalmente, valor muito elevado, portanto, o valor da corrente de magnetização se torna pequeno em comparação à corrente de curto. Assim, é possível desprezar a corrente responsável pelo alinhamento dos domínios magnéticos do núcleo, resultando no modelo mostrado na Figura 8. No caso da aplicação, para alta tensão, a razão entre suas reatância e resistência se torna muito elevada,

permitindo-se que, em alguns estudos de planejamento de longo prazo nos quais as incertezas são maiores, desprezar a resistência série do circuito (KINDERMANN, 2018). Em estudos mais detalhados, é necessário modelar essas resistências.

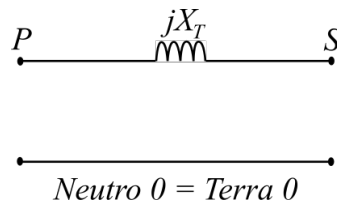
Figura 8: Circuito do Transformador de dois Enrolamentos para a Análise de Curto-Circuito.



Fonte: Própria do autor (2022).

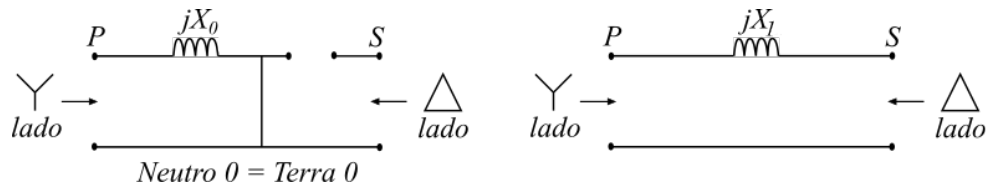
Um dos aspectos importantes nos estudos de curto-circuito, pelo uso das componentes de sequência, é a avaliação das ligações empregadas e do tipo de construção do equipamento, principalmente, para as análises da componente de sequência zero, as quais dependem da construção do núcleo, da disposição física das bobinas e de suas ligações elétricas. Por exemplo, na Figura 9, é possível visualizar os circuitos equivalentes de sequência positiva e zero para transformadores com ligação estrela aterrada – estrela aterrada, enquanto que, na Figura 10, é mostrado os mesmos circuitos equivalentes de sequência, porém para transformadores com ligação estrela aterrada – delta.

Figura 9: Circuito de Impedância de Sequência Zero e de Sequência Positiva para Transformadores de dois Enrolamentos Ligados em Estrela Aterrada - Estrela Aterrada.



Fonte: Própria do autor (2022).

Figura 10: Circuito de Impedância de Sequência Zero à Esquerda e de Sequência Positiva a Direita para Transformadores de dois Enrolamentos Ligados em Estrela Aterrada - Delta.



Fonte: Própria do autor (2022).

2.3 Estudos de Transitórios Eletromagnéticos de Manobra

Durante o regime permanente de sistemas elétricos de corrente alternada, as energias presentes nesse sistema, tais como as energias armazenadas nos campos elétricos e magnéticos, são harmonicamente trocadas entre si. Entretanto, quando da ocorrência de uma perturbação de origem interna ou externa nesse sistema, haverá uma redistribuição das energias do sistema para que as novas condições sejam atendidas.

Uma vez que essa redistribuição de energias envolve, dentre outros fatores, as correntes nos indutores e as tensões nos capacitores, ela não pode ocorrer de forma instantânea, pois, para que isso ocorresse, seria necessário valores infinitos de tensão no indutor e corrente no capacitor, condições que são fisicamente impossíveis. Logo, essa redistribuição de energia leva um tempo finito para ocorrer, sendo esse tempo chamado de período transitório (GREENWOOD, 1991).

Na análise desses transitórios, um dos mais importantes aspectos é o fato de que um componente físico pode ter diferentes modelos de representação, dependendo do contexto do problema estudado. Assim, uma linha de transmissão pode ser tratada como uma seção curta de barramento, como uma linha longa infinita ou como uma indutância, capacitância ou resistência, dependendo do fenômeno transitório específico que esteja sendo investigado e da faixa de frequência envolvida (D'AJUZ, 1987).

Analogamente, um transformador ou um reator pode ser representado por uma indutância, por uma rede de capacitâncias ou por uma combinação dos dois. A não

linearidade do núcleo magnético do transformador pode ou não ser importante dependendo da natureza do estudo (D' AJUZ, 1987).

Conceitualmente, pode-se imaginar, para um dado componente, um modelo matemático que o represente corretamente sob todas as circunstâncias. Entretanto, mesmo se existir tal modelo, ele acarretará investigações complexas e ineficientes, dependendo da situação em que se for utiliza-lo.

Para alcançar esse objetivo, torna-se necessário a realização de simulações computacionais. Essas simulações computacionais deverão representar o mais fiel possível os fenômenos presentes no sistema físico. Dessa forma, suas modelagens matemáticas acabam sendo mais complexas, pois a representação por meio de um sistema equilibrado e a parâmetros concentrados não mais atenderá a esses requisitos.

2.3.1 Aspectos Gerais do Problema de Transitórios Eletromagnéticos de Manobra

Os efeitos advindos da dinâmica de cada elemento do sistema, assim como de suas não-linearidades, deverão ser considerados para a realização desses estudos, impactando diretamente nos modelos computacionais a serem utilizados para representar os elementos físicos presentes no SEP (ONS, 2021a).

Quanto a modelagem computacional de reatores e capacitores, estes podem ser representados por meio de sua indutância e capacitância concentradas respectivamente (D' AJUZ, 1987) e, caso sejam o elemento em estudo, deve-se, para cada um deles, representar seus parâmetros de resistência também.

Ainda, para as cargas associadas às subestações, estas podem ser modeladas de forma simplificada e satisfatória por meio de circuitos com resistência e indutância série (RL) e resistência e capacitância série (RC), sendo ambos de impedância constante, ou seja, seus valores de resistência, indutância e capacitâncias são constantes e invariantes no tempo.

Além disso, diferentemente de sua representação para estudos de fluxo de potência e de curto-circuito, o modelo de linhas de transmissão por meio de parâmetros concentrados é, muitas vezes, insuficiente para representar suas

dinâmicas frente a transitórios eletromagnéticos. Como solução, pode-se utilizar de modelos com parâmetros distribuídos.

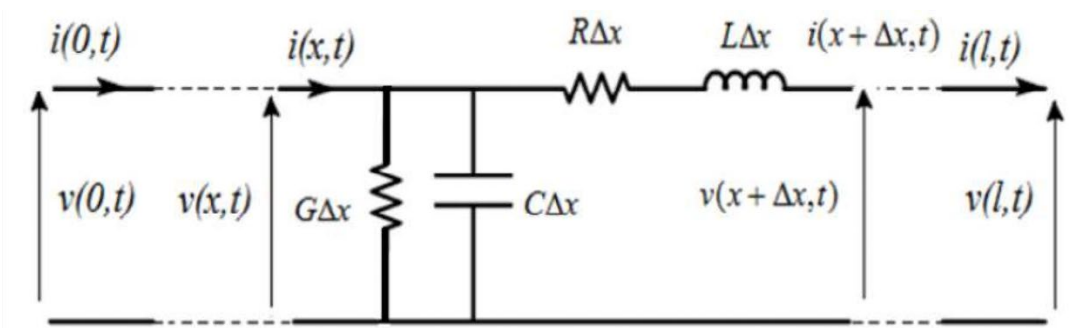
Adicionalmente, para os transformadores, deverão não somente levar em consideração o acoplamento elétrico que há entre suas diferentes fases, o que já era contemplado de forma simplista nos modelos apresentados anteriormente, mas, também, representar suas não linearidades, como, por exemplo, devido à saturação do seu núcleo ferromagnético (DOMMEL, 1996).

Seguindo-se da mesma filosofia usada nas seções 2.1.1 e 2.2.1, serão abordadas as modelagens dos transformadores e linhas de transmissão devido as suas maiores complexidades.

2.3.2 Modelagem das Linhas de Transmissão

Como exposto anteriormente, a representação de linhas de transmissão por meio de modelos a parâmetros concentrados pode não apresentar acurácia suficiente para representar as dinâmicas presentes no estudo. Dessa forma, é preferível que se utilize modelos com parâmetros distribuídos, o qual é mostrado de forma genérica na Figura 11 , e, somente quando o tempo de propagação da onda viajante for inferior ao tempo de passo de simulação utilizado no estudo, utiliza-se do modelo com parâmetros concentrados (DOMMEL, 1996).

Figura 11: Representação dos Parâmetros Distribuídos de uma Linha de Transmissão.

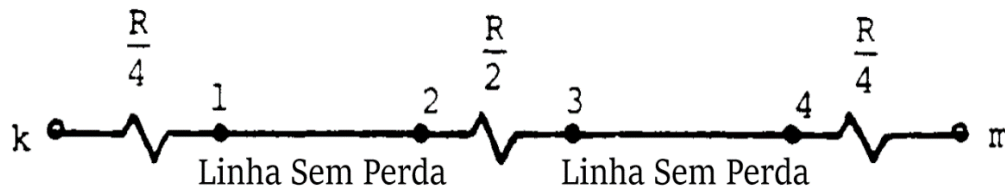


Fonte: Própria do autor (2022), adaptada de (CANADIAN/AMERICAN EMTP USER GROUP, 2016).

Há diversos modelos de linhas de transmissão que atendem a esses requisitos. O modelo adotado pelo ATP está representado na Figura 12 (DOMMEL, 1996). Esse modelo se baseia na utilização de duas linhas a parâmetros distribuídos sem perdas, cujos comprimentos são metade do comprimento total da linha original, e três resistências concentradas cujas ligações e valores estão evidenciados na Figura 12.

Ressalta-se ainda que, dentre outras formas, o ATP permite que esse modelo seja totalmente definido por meio do fornecimento dos parâmetros de sequência positiva e zero da resistência série, reatância série e capacitância *shunt*, assim como do comprimento da linha.

Figura 12: Circuito da Linha de Transmissão para Análise de Transitórios Eletromagnéticos.



Fonte: Própria do autor (2022), adaptada de (CANADIAN/AMERICAN EMTP USER GROUP, 2016).

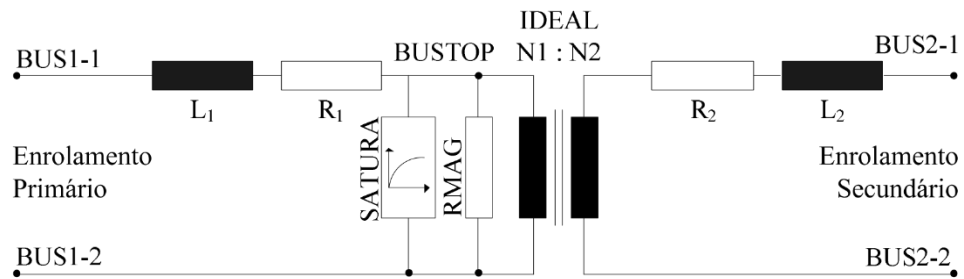
2.3.3 Modelagem dos Transformadores

Conforme evidenciado por (DOMMEL, 1996), o modelo utilizado para esses estudos leva em consideração o acoplamento por meio de resistências e indutâncias, próprias e mútuas, dos enrolamentos do equipamento. Para representar os efeitos da saturação do seu núcleo ferromagnético, são adicionados elementos não-lineares, os quais necessitam de informações da curva de saturação do transformador, curva esta obtida durante teste de ensaio do equipamento. Esses elementos podem ser vistos na Figura 13. Adicionalmente, esta informação não está presente na base de dados para estudos de fluxo de potência e de curto-circuito, visto que, conforme evidenciado em 2.1 e 2.2, não há necessidade de representar os efeitos da saturação do seu núcleo.

Porém, ainda conforme (DOMMEL, 1996), a consideração desses efeitos pode ser feita por meio da inserção posterior da sua curva de saturação. Adicionalmente, o mesmo princípio é aplicável para os efeitos das capacitâncias parasitas do

equipamento, o qual torna-se relevante em altas frequências, e dos efeitos da curva de histerese, os quais podem ser inseridos por meio de capacitâncias e elementos não-lineares respectivamente.

Figura 13: Circuito de um Transformador de dois Enrolamentos para Análise de Transitórios Eletromagnéticos de Manobra.



Fonte: Própria do autor (2022), adaptada de (CANADIAN/AMERICAN EMTP USER GROUP, 2016).

3 PROCEDIMENTOS PARA ANÁLISE DOS ARQUIVOS UTILIZADOS PELOS PROGRAMAS ANAFAS, ANAREDE E ATP

Uma vez que serão utilizados os bancos de dados em formato reconhecido pelos programas ANAREDE e ANAFAS para aquisição das informações a serem usadas na simulação no programa ATP, o conhecimento acerca dos modelos utilizados por estes programas discutidos no Capítulo 2 não é suficiente, sendo de suma importância o entendimento de como os dados dessas modelagens são armazenados em seus arquivos. Ainda, visto que esses bancos de dados armazenam muito mais informações que as estritamente necessárias, serão abordadas apenas aquelas informações que servirem para a simulação em ambiente ATP, buscando-se, assim, um melhor entendimento das fontes e correlações das informações envolvidas.

Do banco de dados em formato utilizado pelo ANAFAS, serão adquiridas todas as informações acerca da topologia da rede que será representada no ATP, a qual será nomeada de rede retida, assim como os valores de todas as impedâncias de sequência dos elementos série que a constituem, ou seja, de todos os elementos que são conectados entre duas barras da rede retida. Vale destacar que as informações de número e nome das barras presentes nessa rede também serão adquiridas.

Do banco de dados em formato reconhecido pelo ANAREDE, serão adquiridas as informações relacionadas as tensões nos barramentos (módulo e ângulo), cargas PQ associadas às subestações, compensações reativas das linhas de transmissão e subestações e, por fim, da capacitância *shunt* de sequência zero intrínseca das linhas.

Adicionalmente, será analisada a estruturação do arquivo em formato usado pelo ATP, pertinente a este trabalho, para garantir a correta inserção dos dados adquiridos das bases de dados previamente citadas e conforme os modelos descritos na Seção 2.3. Por fim, será mostrado que cada informação contida nesses arquivos terá uma coluna específica de posição e largura fixas, não podendo, de forma alguma, ser desobedecida.

3.1 ANAREDE

Devido a estruturação dos dados presentes no arquivo em formato utilizado pelo ANAREDE (CEPEL, 2022), optou-se por adquirir as informações advindas do fluxo de potência por meio dos relatórios gerados pelo programa, os quais estarão sempre na mesma formatação, estruturados de forma sucinta e condizentes com o caso de fluxo de carga simulado.

Assim, além desse arquivo, serão utilizados os dados dos relatórios: dados de barra (DADB), *shunts* de barra CA (RSHB) e *shunts* de linhas CA (RSHL). Tais relatórios podem ser gerados tanto por meio da interface gráfica do programa, quanto por meio de linhas de comando (CEPEL, 2022), sendo esta a opção escolhida neste trabalho.

Embora o ANAREDE apresente suporte para arquivos com extensão “.sav” e “.pwf”, apenas os arquivos “.pwf” serão abordados neste trabalho, o que não causará perda de generalidade devido à possibilidade nativa do programa de intercambiar entre essas formatações. Assim, não será feita distinção entre esses diferentes formatos de arquivo a partir desta seção.

Nesses arquivos, os dados estão divididos em grupos delimitados por palavras chaves, como, por exemplo, “DBAR” e “99999”, em que aquela significa o início dos dados relativos as barras de corrente alternada e esta significa o fim desse grupo de dados (CEPEL, 2022). Para o presente trabalho, serão abordados os seguintes grupos de dados do arquivo utilizado pelo ANAREDE: dados dos elementos CA (DLIN) e dados de grupos de base de tensão de barras CA (DGBT).

3.1.1 DLIN

Neste grupo de dados, estão contidas as informações acerca das linhas de transmissão e dos transformadores (CEPEL, 2022). Ainda, como citado anteriormente, cada informação a respeito desses elementos está localizada em uma coluna de posição e largura fixas, colunas as quais serão nomeadas de campos.

Dos campos presentes no grupo DLIN, mostrados na Figura 14, destacam-se: número da barra correspondente ao terminal inicial (*De*), número da barra

correspondente ao terminal final (Pa), reatância série ($X\%$), TAP dos transformadores (Tap) e a susceptância *shunt* das linhas de transmissão ($Mvar$). Como será abordado no Capítulo 4, para que os valores da susceptância *shunt* das linhas de transmissão sejam adquiridos e associadas corretamente com seus modelos no ATP, todos esses campos citados anteriormente deverão ser obtidos.

Ainda, os valores de reatância são fornecidos em percentual de por unidade, enquanto que a susceptância *shunt* é fornecida em Mvar. Por fim, é válido destacar que, se a reatância série não apresentar o separador da casa decimal, esse separador estará implícito antes dos últimos dois dígitos do campo, como é o caso do valor 1,09 mostrado na Figura 14.

Figura 14: Grupo de Dados DLIN.

DLIN										
(De)	d O d(Pa)	NcEP	(R%)	(X%)	(Mvar)	(Tap)	(Tmn)	(Tmx)	(Phs)	(Bc)
14	182	1		6.27						270 270
16	136	1		109						12801280
20	100	1		.77		1.				15201520
99999										

Fonte: Própria do autor (2022).

3.1.2 DGBT

Neste grupo de dados, estão contidas as informações a respeito dos grupos de tensão das barras CA (CEPEL, 2022). Uma vez que as grandezas de impedância série são fornecidas em percentual de por unidade e as susceptâncias *shunts* são fornecidas em Mvar, haverá a necessidade de conhecer a tensão base das linhas de transmissão para que, assim, possa-se realizar a conversão dessas grandezas para unidades compatíveis com as utilizadas pelo ATP. A Figura 15 mostra esse agrupamento de dados, o qual é formado por um identificador alfanumérico do grupo base de tensão (G) e seu correspondente valor de tensão (kV).

Figura 15: Grupo de Dados DGBT.

DGBT	
(G	(kV)
0	1.
1	13.8
99999	

Fonte: Própria do autor (2022).

3.1.3 DADB

Analisando-se, agora, o relatório de dados de barra CA gerado pelo ANAREDE após a realização da simulação do fluxo de potência, pode-se obter as seguintes informações: tensão (módulo e ângulo) e carga PQ associadas a cada barra. A Figura 16 mostra a disposição dos dados no arquivo. Embora esse relatório apresente um campo referente a compensação reativa *shunt* das barras, este campo contempla apenas os valores de compensação declarados no cartão DBAR do arquivo ANAREDE e visto que há outras formas de se declarar elementos de compensação *shunt* de barras (CEPEL, 2022), esse valor será fornecido por meio de um relatório específico.

Figura 16: Relatório DADB.

X-----X	
---	--

Fonte: Própria do autor (2022).

3.1.4 RSHB

A partir do relatório de *shunt* de barra CA gerado pelo ANAREDE após a realização da simulação do fluxo de potência, pode-se obter os valores de compensação reativa das barras CA. A Figura 17 mostra a disposição dos dados no

arquivo. Vale ressaltar que, como pode ser visto nessa figura, há dois valores de compensação reativa: atual e especificado.

O valor de compensação reativa *shunt* especificado é utilizado durante a declaração dos dados dessas compensações e, para padronizar, são especificados para tensão nominal do sistema. Já de compensação reativa *shunt* atual é o valor efetivamente encontrado naquela barra, o qual leva em consideração a tensão na barra fornecida pela simulação do fluxo de potência.

Dessa forma e visto que os valores de tensão utilizados são os obtidos pela simulação do fluxo de potência, o valor atual de compensação reativa *shunt* deverá ser utilizado e, a partir desta seção, será tratado apenas como valor da compensação reativa *shunt* da barra.

Figura 17: Relatório RSHB.

X----- B A R R A S -----X-- S H U N T --X						
NUM.	NOME	TENSAO	ANG.	EST	ATUAL	ESPEC
X-----X-----X-----X-----X-----X-----X						
10	ANGRA---1MQ	1.030	-44.9	LIG	21.2	20.0
20	MARIMBON-8MQ	1.050	-19.0	LIG	-220.5	-200.0
45	VITORIA--SIN	0.950	-95.1	LIG	18.1	20.0
60	F.IGUACU-765	0.973	4.0	LIG	-624.6	-660.0

Fonte: Própria do autor (2022).

3.1.5 RSHL

Por fim, a partir do relatório de shunt de linhas CA gerado pelo ANAREDE após a realização da simulação do fluxo de potência, pode-se obter os valores de compensação reativa *shunt* das linhas CA. A Figura 18 mostra a disposição dos dados nesse relatório. Vale ressaltar que, como visto nessa figura, os dados referentes a uma mesma linha de transmissão estão contidos em mais de uma linha no arquivo, o que deverá ser levado em consideração no momento de suas aquisições.

Figura 18: Relatório RSHB.

NUM.	TENSAO	ATUAL	ESPEC.	NUM.	TENSAO	ATUAL	ESPEC.	EST	NC
NOME	Mvar	Mvar	Mvar	NOME	Mvar	Mvar	Mvar	EST	NC
77	1.077			104	1.055				
T.PRETO--500	-17.407		-15. LIG	CPAULIST-500	-5.5673		-5. LIG		1
175	0.987			177	0.999				
CAMPOS-138	-9.7401		-10. LIG	VITORIA--138	-9.9757		-10. LIG		1

Fonte: Própria do autor (2022).

3.2 ANAFAS

Diferentemente do caso do ANAREDE, todos os dados contidos no arquivo em formato usado pelo ANAFAS independem da simulação, garantindo assim que, para uma mesma rede em análise, os parâmetros de sequência armazenados e utilizados pelo ANAFAS serão os mesmos (CEPEL, 2021).

Assim como nos arquivos usados pelo ANAREDE, os dados estão divididos em grupos delimitados por palavras chaves, como, por exemplo, "DBAR" e "99999", em que aquela significa o início dos dados relativos às barras e esta significa o fim desse grupo de dados. Conforme explicado anteriormente, para o presente trabalho, serão abordados apenas os grupos e informações pertinentes, sendo aqueles: dados de barra (DBAR) e dados de circuitos (DCIR).

Ainda, como será mostrado posteriormente, cada informação no arquivo está localizada em uma coluna de posição e largura fixas (CEPEL, 2021), colunas as quais serão nomeadas de campos a partir desta seção, assim como foi feito para o arquivo em formato reconhecido pelo ANAREDE.

3.2.1 DBAR

Neste grupo de dados, estão contidas as informações a respeito das barras modeladas no ANAFAS. Dentre as informações presentes nesse grupo, destacam-se o número (*NB*), nome (*BN*) e tensão base (*VBAS*) das barras. A Figura 19 mostra a disposição dos dados no arquivo.

Figura 19: Grupo de Dados DBAR.

DBAR									
(NB	CEMA	BN	VBAS	DISJUN	DDMMAAAA	DDMMAAAA	IA	SA	F
(----	----	-----	----	-----	-----	-----	-----	-----	----
30	d	SCRU19UTE000	13.2				254	10	
31	d	SCRU13UTE000	13.2				254	10	
32		SCRU16UTE000	16.5				254	10	
52		P.ACU--RJ345	345				252		
56		IVAIP3-PR069	69				201	30	A
57		IVAIP2-PR069	69				201	30	A
99999									

Fonte: Própria do autor (2022).

3.2.2 DCIR

No grupo de dados DCIR, estão contidas as informações acerca dos elementos de circuito que constituem a modelagem, tais como: transformadores, geradores, linhas de transmissão, reatores e capacitores.

Dos campos presentes no grupo DCIR, mostrados na Figura 20, destacam-se: número da barra correspondente ao terminal inicial (BF), número da barra correspondente ao terminal final (BT), tipo do elemento (T), impedância serie ($R1$, $X1$, $R0$ e $X0$), ligação do terminal inicial (CD), ligação do terminal final (CP), impedância de aterramento do terminal inicial ($RNDE$ e $XNDE$), impedância de aterramento do terminal final ($RNPA$ e $XNPA$), comprimento da linha de transmissão (KM) e defasagem do transformador (DEF). Como será abordado no Capítulo 4, todas essas informações deverão ser obtidas.

Ainda, os valores das impedâncias citadas previamente são fornecidos em percentual de por unidade. Por fim, é válido destacar que, se essas grandezas não apresentarem o separador da casa decimal, esse separador estará implícito antes dos últimos dois dígitos do campo.

Figura 20: Grupo de Dados DLIN.

DCIR

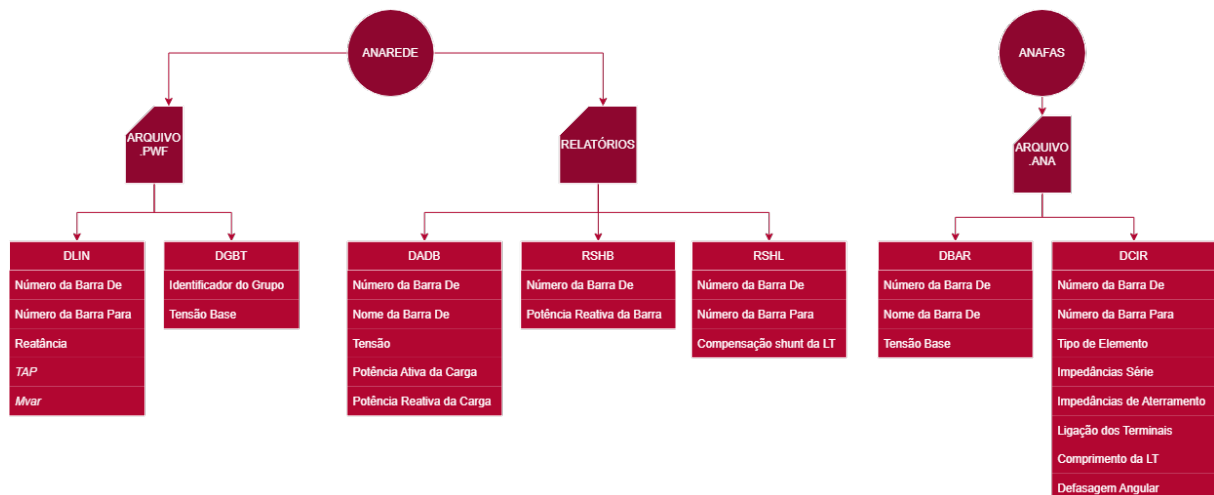
Dados de Circuitos																						
(BF	CE	BT	NCT	R1	X1	R0	X0	CN	S1	S0	TAP	TB	TCIA	DEFE	KM	CD	RNDE	XNDE	CP	RNPA	XNPA	SA
3	5	1L	170	920	510	2760																
3	8	1L	100	850	300	2550																
4	7	1L	90	790	270	2370																
5	7	1L	320	1610	960	4830																
6	4	1L	85	720	255	2160																
6	8	1L	110	840	330	2520																
7	9	1L	119	1008	357	3024																
8	9	1L	390	1700	1170	5100																
0	1	1G		2500	9999999999999999																	
0	2	1G		2114	9999999999999999																	
1	3	1T		534		512										D			YN			
2	4	1T		768		733										D			YN			

99999

Fonte: Própria do autor (2022).

Assim, de forma resumida, as informações acerca da topologia e impedância da rede em estudo são obtidas da base de dados do ANAFAS, enquanto que as informações adicionais a respeito das tensões nos barramentos e das compensações reativas das linhas de transmissão e barramentos são obtidas dos relatórios da simulação de fluxo de potência do ANAREDE. A Figura 21 apresenta o fluxograma dessas informações.

Figura 21: Fluxograma das Aquisições de Informação.



Fonte: Própria do autor (2022).

3.3 ATP

Assim como nos arquivos em formatos reconhecidos pelos programas ANAFAS e ANAREDE, os dados estão divididos em grupos delimitados por palavras chaves. Mais uma vez, conforme explicado anteriormente para o presente trabalho, serão abordados apenas os grupos e informações pertinentes. Desses grupos, nesta seção denominados de cartões, destacam-se: *MISCELLANEOUS*, *BRANCH*, *SWITCH* e *SOURCE*.

Cada informação contida nesse formato de arquivo está localizada em uma coluna de posição e largura fixas (CANADIAN/AMERICAN EMTP USER GROUP, 2016), colunas as quais serão nomeadas de campos a partir desta seção, assim como foi feito para os demais arquivos.

Como será visto no Capítulo 4, é necessário ter o conhecimento a respeito da estruturação de armazenamento dos dados das modelagens utilizadas nesse programa, modelagens as quais foram abordadas na Seção 2.3.

3.3.1 *MISCELLANEOUS*

Neste cartão, estão contidas as informações a respeito da configuração da própria simulação. Dentre essas informações, estão o passo de simulação (dT) e o tempo de simulação (T_{max}), sendo aquele responsável por controlar o quanto o tempo avança a cada iteração da simulação e este o tempo máximo simulado.

O ATP, por padrão, utiliza-se de unidades físicas reais como henry para indutâncias e faraday para capacitâncias. Entretanto, por meio do controle dos parâmetros X_{opt} e C_{opt} , é possível trocar essas unidades para ohm e siemens respectivamente quando se especifica os valores desses dois parâmetros para serem iguais à frequência do sistema em análise, a qual é determinada por meio de um cartão especial chamado *POWER FREQUENCY* que precede o cartão *MISCELLANEOUS*.

Adicionalmente, o ATP simula um caso de fluxo de potência como forma de determinar as condições iniciais do sistema em estudo para que, assim, comece a realizar a simulação. Caso deseje-se simular apenas esse fluxo de potência, deve-se

ajustar o valor do parâmetro T_{max} para um valor negativo ou nulo, normalmente ajustado para -1.

Ainda, caso seja desejado, pode-se solicitar, por meio do parâmetro $KSSOUT$, que os resultados desse fluxo de potência sejam impressos. A Figura 22 mostra a disposição dos dados desse cartão no arquivo. Por fim, diferentemente dos outros cartões citados anteriormente, o termo *MISCELLANEOUS* não é usado para informar que seus dados serão fornecidos em seguida, dessa forma, seu posicionamento no começo do arquivo é extremamente importante (CANADIAN/AMERICAN EMTP USER GROUP, 2016).

Figura 22: Cartão *MISCELLANEOUS*.

```
C dT >> Tmax >> Xopt >< Copt ><Epsiln><Tolmat>
  1.E-6          60.      60.
C IOUT ><IPLOT ><IDOUBL><KSSOUT><MAXOUT>< IPUN ><MEMSAV>< ICAT ><NENERG><IPRSUP>
  1000          1      1      1      0      0      0      1      0
```

Fonte: Própria do autor (2022).

3.3.2 BRANCH

Neste cartão, são armazenadas as informações a respeito dos diferentes tipos de elementos de circuitos, sendo eles distinguidos em lineares e não-lineares. Por meio deste cartão, é possível representar os modelos matemáticos dos principais elementos abordados na Seção 2.3. Diferentemente dos formatos de arquivos anteriores, é possível alterar o nível de precisão que será usado para armazenar as informações desses modelos (CANADIAN/AMERICAN EMTP USER GROUP, 2016).

Embora esta opção não seja possível para todos os modelos deste cartão (CANADIAN/AMERICAN EMTP USER GROUP, 2016), deve-se inserir a linha de comando “\$VINTAGE,1” para informar que os dados a seguir estão armazenados com alta precisão, o que se expressa por meio do aumento da largura das colunas, e “\$VINTAGE,0” para retornar à precisão padrão. Dessa forma, para o presente trabalho, será adotado o modelo de alta precisão sempre que este for possível.

Começando-se pelo modelo das linhas de transmissão a parâmetros distribuídos, conforme pode-se observar na Figura 23, destacam-se os seguintes

campos: identificador da fase (*ITYPE*), nome da barra correspondente ao terminal inicial (*BUS1*), nome da barra correspondente ao terminal final (*BUS2*), resistência (*Resistance*), conjunto de parâmetros relacionado a parte linha sem perdas (*A* e *B*), comprimento da linha (*LENGTH*), identificador dos parâmetros *A/B* (*ILINE*), identificador do tipo de modelo (*IPUNCH*) e identificador da transposição (*IPOSE*) conforme mostrado em (CANADIAN/AMERICAN EMTP USER GROUP, 2016).

Figura 23: Cartão *BRANCH* – Linha de Transmissão.

1								2								3								4								5								6								7											8									
12	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0																														
ITYPE	BUS1								BUS2								BUS3								BUS4								Resistance R' [Ω/length]								A								B								LENGTH								ILINE	IPUNCH	IFOSE	IOUT
	I2	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	A6	I2	I2	I2	I1																													

Fonte: (CANADIAN/AMERICAN EMTP USER GROUP, 2016).

Diferentemente dos arquivos usados pelos programas ANAFAS e ANAREDE, o ATP aceita caracteres alfanuméricos para identificar suas barras, portanto, ressalta-se o uso da palavra nome ao invés de número quando da nomeação das colunas que representam as barras terminais do elemento, pois, este fato será de extrema importância para o desenvolvimento que será feito no Capítulo 4.

O campo *ILINE* é responsável por informar quais grandezas serão armazenadas nos campos dos parâmetros A e B previamente citados. Visando-se a padronização e simplicidade das conversões de grandezas entre os bancos de dados, este campo será ajustado para 0, o que, juntamente com os campos *Xopt* e *Copt* do cartão *MISCELLANEOUS*, permitem usar as grandezas de reatância série e susceptância *shunt* da linha, respectivamente, nesses campos, sendo ambas por unidade de comprimento da linha. Adicionalmente, o campo *Resistance*, como o nome sugere, armazena a resistência série da linha de transmissão, também por unidade de comprimento da linha.

O campo *LENGTH* contém a informação do comprimento da LT, o qual tem a restrição de ter unidade compatível com as utilizadas na resistência, reatância e susceptância. Quanto ao modelo da LT, os campos *IPUNCH* e *IPOSE* ditam qual o modelo matemático e se há transposição da linha respectivamente. Dessa forma,

conforme abordado na Seção 2.3 e em concordância com (ONS, 2013), as linhas serão modeladas conforme modelo descrito na Seção 2.3.2 e com transposição da linha, o que implica que ambos os campos serão ajustados para 0.

Voltando-se para a representação dos transformadores, uma das possíveis modelagens disponibilizadas pelo ATP é pela utilização do componente de transformador saturado. Uma das vantagens desse componente é que, ao não informar sua curva de saturação, ele passará a ter o comportamento de um transformador sem saturação e, caso seja desejado posteriormente, pode-se inserir sua curva de saturação.

Ainda, esse componente suporta apenas uma única fase, assim, para os sistemas trifásicos encontrados no SEP, será necessário realizar a ligação elétrica entre cada componente monofásico para que, dessa forma, seja modelado um transformador trifásico, levando-se em consideração sua possível defasagem e forma de ligação entre enrolamentos.

A estruturação desse componente no arquivo ATP pode ser dividida em três partes: cabeçalho, curva de saturação e parâmetros dos enrolamentos. Primeiramente, o cabeçalho, o qual pode ser visto na Figura 24, contém a palavra-chave *TRANSFORMER* para utilizar esse componente seguida das informações de corrente (*I*) e fluxo (*FLUX*) do transformador em regime permanente, do nome da barra auxiliar interna ao componente que fornece acesso ao ramo de magnetização (*BUSTOP*) e da resistência de perdas do núcleo (*Rmag*).

Figura 24: Cartão *BRANCH* – Transformador: Cabeçalho.

	1	2	3	4	5	6	7	8
12	34567890123	4567890123456	789012	345678901234	567890	123456789012345678901234567890		
	TRANSFORMER		E6.2	E6.2	A6	E6.2		I
	request word		I steady-state	FLUX	BUSTOP	Rmag		flag

Fonte: Própria do Autor (2022), adaptada de (CANADIAN/AMERICAN EMTP USER GROUP, 2016).

Quanto à curva de saturação desse componente, a qual tem sua representação no arquivo ATP mostrada na Figura 25, sua aparição é facultativa conforme discutido previamente e é constituída por pares de pontos corrente (*I*) – Fluxo (*FLUX*).

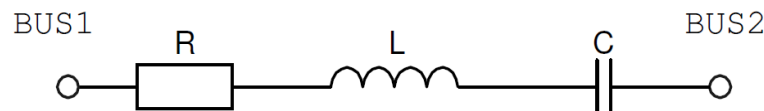
capacitiva (R , L e C), em que estes últimos três elementos estão em série conforme mostrado na Figura 28 (CANADIAN/AMERICAN EMTP USER GROUP, 2016).

Figura 27: Cartão *BRANCH* – Elementos Concentrados Série sem Acoplamento.

12	345678								1901234				2567890				123456				37890123456789012								43456789012345678								59012345678901234								656789								7				8			
ITYPE	node names								node names of reference branch				R [Ω]								L[mH] or ωL[Ω]								C[μF] or ωC [μmho]																IOUT															
	BUS1				BUS2				BUS3																																					BUS4														
I2	A6				A6				A6				A6				E16.0								E16.0								E16.0																I1											

Fonte: (CANADIAN/AMERICAN EMTP USER GROUP, 2016).

Figura 28: Elementos Concentrados Série sem Acoplamento.



Fonte: (CANADIAN/AMERICAN EMTP USER GROUP, 2016).

Agora, analisando-se o modelo com acoplamento entre as fases, o qual tem sua representação no arquivo ATP mostrada na Figura 29, percebe-se, novamente, a existência do campo para identificar o uso desse modelo (*ITYPE*), dos campos com os nomes de suas barras terminais (*BUS1* e *BUS2*) e dos campos dos seus parâmetros de resistência e reatância indutiva (R e L), em que estes últimos dois elementos estão em série conforme mostrado na Figura 30 (CANADIAN/AMERICAN EMTP USER GROUP, 2016).

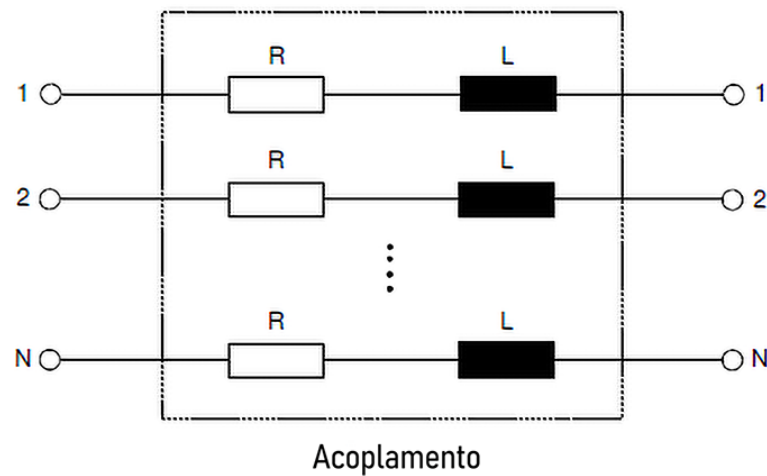
É válido ressaltar que, diferentemente do modelo anteriormente abordado, este não possui o campo relacionado à capacitância. Embora exista outro modelo que a contemple, o modelo apresentado atenderá adequadamente as necessidades deste trabalho. Por fim, informa-se que o modelo adotado possibilita que os parâmetros de resistência e reatância indutiva sejam fornecidos em termos de parâmetros de sequência (CANADIAN/AMERICAN EMTP USER GROUP, 2016).

Figura 29: Cartão *BRANCH* – Elementos Concentrados Série com Acoplamento.

	1				2				3				4				5				6				7				8											
12	3	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0			
ITYPE	node names				reference br.				elements																															
	BUS1		BUS2		BUS3		BUS4		R								L																							
I2	A6		A6		A6		A6		E16.0								E16.0																							

Fonte: (CANADIAN/AMERICAN EMTP USER GROUP, 2016).

Figura 30: Elementos Concentrados Série com Acoplamento.



Fonte: (CANADIAN/AMERICAN EMTP USER GROUP, 2016).

3.3.3 SWITCH

Neste cartão, são armazenadas as informações acerca das chaves. Por meio deste cartão, é possível representar os modelos matemáticos dos principais elementos do sistema elétrico que apresentam a funcionalidade de abertura e fechamento de circuitos (CANADIAN/AMERICAN EMTP USER GROUP, 2016).

Buscando-se ter o controle de abertura e fechamento de circuitos para que, assim, seja possível realizar contingências e faltas de forma simples, o recurso mais utilizado é a chave ideal com tempo determinado, mostrada na Figura 31. Nesse modelo de chave, pode-se destacar os seguintes campos: nome da barra correspondente ao terminal inicial (*BUS1*), nome da barra correspondente ao terminal final (*BUS2*), tempo de fechamento da chave (*Tclose*), tempo de abertura da chave (*Topen*), corrente máxima para abertura da chave (*IE*) e identificador para requisição do sinal de saída (*output option*).

4 METODOLOGIA PROPOSTA

O presente Capítulo possui como objetivo a apresentação do algoritmo desenvolvido no MATLAB. Neste Capítulo, serão descritas todas as etapas que envolvem o processo de criação do arquivo em formato reconhecido pelo ATP para simulação de transitórios eletromagnéticos de manobra utilizando-se de base de dados em formato reconhecido pelos programas ANAFAS e ANAREDE para sua elaboração de forma automática.

O desenvolvimento do algoritmo proposto será dividido nas seguintes etapas: aquisição de dados, tratamento dos dados importados, criação do arquivo ATP intermediário, importação dos resultados intermediários, criação do arquivo ATP final e verificação da conversão. Cada uma dessas etapas será abordada neste Capítulo, descrevendo-se, em detalhes, todas as operações por ela contemplada, assim como de seus objetivos, utilizando-se das informações acerca da estruturação desses arquivos abordadas no Capítulo 3.

4.1 Aquisição de Dados

Primeiramente, como etapa primordial, deve-se realizar a importação de todos os dados que serão utilizados, direta ou indiretamente, pelo algoritmo em desenvolvimento. Com esse objetivo, serão realizadas três subetapas: importação das informações contidas no arquivo em formato usado pelo ANAFAS, importação dos dados contidos no arquivo utilizado pelo ANAREDE e, por fim, importação das informações contidas nos relatórios gerado pelo ANAREDE. Ainda, para essas importações, deve-se levar em consideração o estado operativo da barra ou elemento importado, pois, caso este se encontre desativado, sua importação não deverá ser feita.

Na subetapa da importação dos dados contidos no arquivo em formato reconhecido pelo ANAFAS, busca-se realizar a importação dos grupos de dados DBAR e DCIR contidos no arquivo. Primeiramente, para o grupo DBAR, necessita-se das seguintes informações: número da barra, estado operativo da barra, nome da barra e tensão nominal da barra.

Já para o grupo DCIR, necessita-se dos seguintes dados: número das barras terminais, estado operativo do elemento, tipo do elemento, impedâncias séries do elemento, ligações elétricas de seus terminais, defasagem angular, comprimento e impedâncias de aterramento.

Para realizar as importações previamente citadas, utilizou-se da função *readtable* disponibilizada pelo MATLAB (MATLAB, 2022), a qual aproveita-se da estruturação do arquivo com colunas de posição e largura fixas. Ainda, para segregar as informações dos diferentes grupos de dados contidos no arquivo, optou-se por realizar a leitura dos cinco primeiros caracteres de cada linha do arquivo de forma previa e, a partir desta leitura, identificar a linha do arquivo correspondente as palavras chaves que informam o início de cada grupo de dados. Agora, com essa informação e assumindo a premissa que não poderá haver nenhuma linha em branco ou com comentários entre dois grupos de dados quaisquer, pode-se realizar a importação e segregação das informações do arquivo em formato utilizado pelo ANAFAS.

Ressalta-se, porém, que todos as informações relacionadas aos parâmetros elétricos de impedância e susceptância serão importados em forma de texto, pois, como será abordado posteriormente, estes podem ou não apresentar o separador da casa decimal de forma implícita.

Na subetapa da importação das informações do arquivo em formato usado pelo ANAREDE, será utilizada da mesma metodologia descrita anteriormente para o caso de arquivo em formato reconhecido ANAFAS, porém, buscando-se as informações presentes nos grupos de dados DGBT e DLIN. Ainda, para o grupo DLIN, necessita-se das seguintes informações: número das barras terminais, tipo do elemento, reatância série do elemento, compensação *shunt* do elemento e TAP. Já para o grupo DGBT, serão obtidas todas as informações contidas nele.

Na subetapa da importação dos dados dos arquivos de relatório do ANAREDE, deve-se, primeiramente, gerar os relatórios. Para isso, foi utilizada a função *dos* do MATLAB (MATLAB, 2022), juntamente com os comandos responsáveis por abrir o arquivo no ANAREDE, executar a simulação de fluxo de potência e gerar os relatórios (CEPEL, 2022), nessa ordem, para gerar os relatórios DADB, RSHB e RSHL, em que cada um deles foi salvo em um arquivo separado.

Agora, com os relatórios feitos e salvos em arquivo, deve-se utilizar da mesma metodologia usada no arquivo usado pelo ANAREDE, com o adicional de se atentar para as linhas contidas no arquivo que não representam nenhum dado, mas textos escritos automaticamente pelo ANAREDE, objetivando-se, assim, não criar dados falsos e facilitar seu tratamento na próxima etapa.

Adicionalmente, é válido ressaltar que o relatório RSHL é estruturado na forma de conjuntos dois a dois de dados, ou seja, cada conjunto de duas linhas do arquivo se refere a uma mesma linha de transmissão, o que deve ser levado em consideração no processo de sua importação.

Por fim, com a metodologia descrita nesta seção, chega-se ao resultado das seguintes estruturas de dados: grupo DBAR do ANAFAS, grupo DCIR do ANAFAS, grupo DBAR do ANAREDE, grupo DLIN do ANAREDE, grupo DADB, grupo RSHB e grupo RSHL, grupos os quais estarão na forma de tabelas.

4.2 Tratamento dos Dados Importados

Uma vez que os dados abordados na seção anterior tenham sido importados, é necessário realizar algumas manipulações. Essas manipulações serão subdivididas nas seguintes categorias para fins didáticos: limpeza dos dados, conversão das unidades, mapeamento dos dados e modificação da estrutura dos dados.

Começando-se pela limpeza dos dados, deve-se, nesta etapa, garantir que não haja nenhum dado faltante ou com erro, principalmente advindos da importação de grandezas cujos valores são números. A depender de como é feita a importação dessas informações, esta etapa pode não ser necessária, mas, caso encontre-se um dado faltante, pode-se analisar o que resultou nessa ausência e preenche-lo com o valor nulo correspondente ao tipo de variável que se está analisando, como, por exemplo, zero para números e texto vazio para textos.

Visto que a metodologia abordada neste trabalho para a importação dessas informações se utiliza da função *readtable* do MATLAB, naturalmente, as informações serão armazenadas em tabelas e, assim, suas manipulações devem levar isso em consideração. Para isso, as funções *cellfun* e *arrayfun* do MATLAB permitem realizar as manipulações necessárias descritas nesta seção.

Dessa forma, as estruturas de dados obtidas ao final da Seção 4.1 encontram-se livres de informações falhas e faltantes. Assim, pode-se dar início à conversão das unidades dos dados, visto que cada programa apresenta seu próprio sistema de unidades. Buscando-se a padronização dos bancos de dados e a facilitação para exportação desses dados para o ATP, será adotado o sistema de unidades do ATP considerando os ajustes X_{opt} e C_{opt} iguais a frequência da rede a ser simulada, ou seja, elementos resistivos em ohms, elementos indutivos em ohms e elementos capacitivos em siemens.

Adicionalmente, será feita a mesma lógica para as informações referentes aos módulos das tensões, as quais deveram ser expressas em volt de pico fase-terra e seus ângulos expressos em graus.

Objetivando-se distinguir os diferentes trechos de circuitos em estudo, para cada um dos tipos de circuitos suportados pelo programa ANAFAS, será associado um número único entre 1 e 99998 para cada elemento pertencente a esse grupo. Esse número será nomeado de número do circuito e será utilizado na Seção 4.3. É válido destacar que o número do circuito atribuído nesta etapa não necessariamente corresponde ao número de circuito utilizado pelas bases de dados dos programas ANAFAS e ANAREDE.

Agora, com todas as estruturas de dados devidamente padronizadas, deve-se realizar o mapeamento entre essas estruturas, ou seja, construir as correlações entre essas diferentes estruturas de dados. A correlação entre estruturas de dados do mesmo programa já é naturalmente feita por meio do uso da numeração das barras, dos números dos circuitos e de seus tipos. Entretanto, isso não é necessariamente válido quando se analisa os dados dos diferentes programas.

Buscando-se a unificação dessas estruturas de dados, foi estabelecido que os nomes das barras serão utilizados para realizar a correlação entre elas. Entretanto, apenas essa consideração não é suficiente para correlacionar todas as informações, pois, caso haja mais de um circuito conectando duas barras quaisquer, não ter-se-ia como diferenciá-los, pois, como abordado anteriormente, o número do circuito pode não ser o mesmo.

Buscando-se contornar essa falha, utilizou-se o valor da reatância série do circuito como parâmetro de comparação, correlacionando-se os circuitos que

apresentarem o valor mais próximo entre diferentes estruturas de dados. É válido informar que o valor de resistência série do circuito não foi utilizado pois este apresenta valores muito menores que a reatância e, ainda, pode não estar presente.

Além disso, para realizar a modelagem das linhas de transmissão no ATP, é necessário ter as susceptâncias *shunts* de sequência positiva e zero. Entretanto, as informações acerca da capacitância *shunt* de sequência zero não estão presentes no ANAFAS e ANAREDE, pois, como abordado no Capítulo 3, nenhum deles faz uso desta informação em seus modelos. Objetivando-se sanar essa problemática, por meio da análise com dados reais de linhas de transmissão disponíveis pelo autor, chegou-se a um valor típico de capacitância de sequência zero como sendo três quintos da capacitância de sequência positiva para as linhas de transmissão encontradas no SIN.

Agora, tendo-se todas as estruturas de dados modificadas pela metodologia descrita nesta seção, assim como as correlações entre elas, optou-se por criar duas estruturas de dados que armazenarão todas as informações necessárias para fins de simplificação da próxima etapa. Esse processo, chamado de modificação das estruturadas de dados, baseia-se em agregar todos as informações intrinsecamente relacionados as barras em uma tabela e, em outra tabela, agrupar todos os dados relacionados aos circuitos que conectam essas barras.

Para a tabela dos dados relacionados às barras, a qual será chamada de tabela *BUS*, deverão estar presentes as seguintes informações advindas do arquivo ANAFAS: número da barra, nível base de tensão e nome da barra. Adicionalmente, deverão estar presentes as seguintes informações advindas dos relatórios do ANAREDE: tensão (módulo e ângulo), carga PQ e compensação *shunt* das barras.

Já para a tabela dos dados relacionados aos circuitos, a qual será nomeada de tabela *CIRC*, deverão estar presentes as seguintes informações advindas do arquivo ANAFAS: número das barras terminais, tipo do elemento, impedâncias série de sequência, impedâncias de aterramento, comprimento do elemento, ligações elétricas dos terminais e defasagem angular. Adicionalmente, deverão estar presentes as seguintes informações advindas dos relatórios e arquivo ANAREDE: compensações reativas *shunt* e susceptâncias *shunts* de sequência positiva.

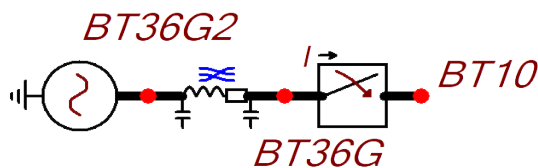
4.3 Criação do Arquivo ATP Intermediário

Uma vez que todos os dados necessários foram obtidos e convertidos para suas devidas unidades, pode-se dar início à criação do arquivo ATP. Mas, primeiramente, é relevante que sejam avaliados os seguintes pontos: contingências no sistema modelado e aferição do fluxo de potência injetado nas barras de fronteira. Durante a realização de estudos de transitórios eletromagnéticos de manobra, são realizadas, dentre outras, contingências simples no sistema representado com o intuito de buscar condições mais críticas que as impostas pelo sistema íntegro. Logo, é conveniente que a modelagem no ATP facilite a realização de contingências.

Nesse contexto, foram desenvolvidos modelos que padronizassem e facilitassem as inserções dos elementos a serem modelados, assim como que contemplassem a possibilidade de realizar contingências por meio do controle de chaves ideais. Ainda, os modelos que contemplam todos os elementos necessários para a inserção de um determinado elemento do sistema ao ATP, serão nomeados de módulo desse elemento.

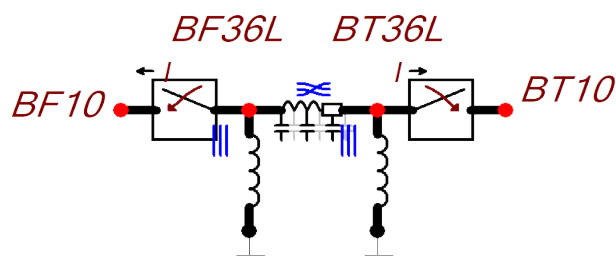
Assim, é proposta a utilização dos módulos mostrados nas figuras abaixo. Observando-se essas figuras, pode-se perceber que novos pontos de conexão foram criados devido a inserção das chaves ideais.

Figura 33: Módulo de Fonte Equivalente.



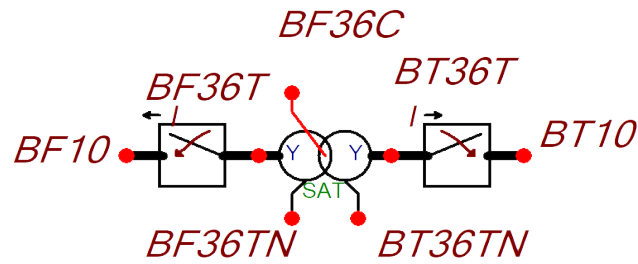
Fonte: Própria do autor (2022).

Figura 34: Módulo de Linha de Transmissão.



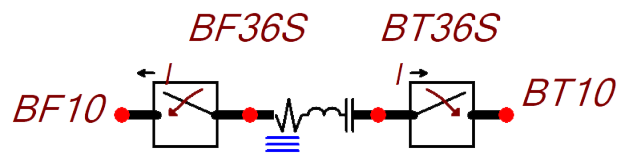
Fonte: Própria do autor (2022).

Figura 35: Módulo de Transformador.

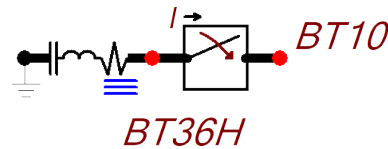


Fonte: Própria do autor (2022).

Figura 36: Módulo de Elemento Série.

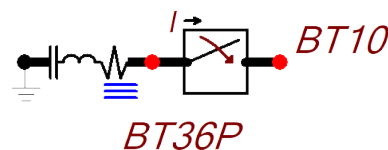


Fonte: Própria do autor (2022).

Figura 37: Módulo de Elemento *Shunt*.

Fonte: Própria do autor (2022).

Figura 38: Módulo de Carga PQ.



Fonte: Própria do autor (2022).

Com isso, torna-se necessário criar uma metodologia capaz de gerar os nomes para esses pontos de conexão, os quais devem existir e serem únicos, pois, caso contrário, não haveria conexão ou haveria conexões indesejadas.

A metodologia proposta neste trabalho parte do princípio da possibilidade de utilização de caracteres alfanuméricos, do número da barra a qual o módulo se conecta e da operação de troca de base numérica. Primeiramente, será utilizado o

número da barra ao qual o módulo se conecta para gerar os nomes dos pontos de conexão adicionais. Adicionalmente, observou-se que o maior número permitido pelo ANAFAS e ANAREDE para o número de suas barras é 99998.

Assim, usando essas informações juntamente com a liberdade de se utilizar caracteres alfanuméricos para nomeação dos pontos de conexão do ATP, utilizou-se da operação de troca de base numérica da base 10 para a base 36 como operação base para criação desses nomes adicionais, impondo-se que essa troca resulte em um número com 4 caracteres obrigatoriamente, o que pode ser feito por meio da complementação de zeros a esquerda. Isso deve ser feito devido a limitação de 6 caracteres para os nomes dos pontos de conexão no ATP.

Embora a simples utilização dessa operação possa garantir a existência dos nomes criados, não é possível garantir sua unicidade, pois, ao se utilizar da numeração da barra a qual o módulo se conecta, módulos que estejam conectados à mesma barra terão pontos de conexão com mesmo nome de forma errônea.

Buscando-se obter a unicidade, optou-se por não somente realizar a troca de base numérica do número da barra a qual o módulo faz conexão, mas a troca de base da somatória do número da barra com o número do circuito e um múltiplo de 99999, múltiplo o qual será pré-definido para cada um dos pontos de conexão existentes dentre todos os módulos propostos nesta seção, e, por fim, adicionar-se um sufixo que identifique o módulo.

Assim, de forma sucinta, a nomeação dos pontos de conexão de um determinado módulo será igual a numeração da barra a qual seu elemento se conecta para os pontos de conexão mais externos (representadas pelas siglas BF10 e BT10) e igual ao resultado da troca de base numérica do somatório do número da barra ao qual o elemento se conecta (*BT* ou *BF*), do número do circuito do elemento modelado (*NC*) e de um múltiplo de 99999. Um resumo da metodologia adotada para este trabalho é apresentado na Tabela 1, a qual mostra o nome de cada ponto de conexão mostrados da Figura 33 à Figura 38.

Tabela 1: Metodologia para Nomeação Automática dos Pontos de Conexão.

Módulo	Ponto de Conexão	Nome no ATP
Linha de Transmissão	BF10	$(BF)_{10}$
Linha de Transmissão	BF36L	$(BF + NC + 0 * 99999)_{36}+L$
Linha de Transmissão	BT36L	$(BT + NC + 1 * 99999)_{36}+L$
Linha de Transmissão	BT10	$(BT)_{10}$
Transformador	BF10	$(BF)_{10}$
Transformador	BF36T	$(BF + NC + 2 * 99999)_{36}+T$
Transformador	BF36TN	$(BF + NC + 2 * 99999)_{36}+TN$
Transformador	BF36C	$(BF + NC + 4 * 99999)_{36}+C$
Transformador	BT36TN	$(BT + NC + 3 * 99999)_{36}+TN$
Transformador	BT36T	$(BT + NC + 3 * 99999)_{36}+T$
Transformador	BT10	$(BT)_{10}$
Elemento Série	BF10	$(BF)_{10}$
Elemento Série	BF36S	$(BF + NC + 5 * 99999)_{36}+S$
Elemento Série	BT36S	$(BF + NC + 6 * 99999)_{36}+S$
Elemento Série	BT10	$(BT)_{10}$
Fonte Equivalente	BT10	$(BT)_{10}$
Fonte Equivalente	BT36G	$(BF + NC + 7 * 99999)_{36}+G$
Fonte Equivalente	BT36G2	$(BF + NC + 8 * 99999)_{36}+G$
Carga PQ	BT10	$(BT)_{10}$
Carga PQ	BT36P	$(BF + NC + 9 * 99999)_{36}+P$
Elemento <i>Shunt</i>	BT10	$(BT)_{10}$
Elemento <i>Shunt</i>	BT36H	$(BF + NC + 10 * 99999)_{36}+H$

Fonte: Própria do autor (2022).

Com isso, o modelo feito no ATP para modelagem de transitórios eletromagnéticos de manobra está completo. Entretanto, resta-se uma problemática: a tensão obtida pelo ANAREDE é referente a tensão na barra e não na fonte ideal utilizada nesse modelo.

Buscando-se solucionar essa problemática, é proposto a realização de uma etapa intermediária. Nessa etapa, a qual precede a criação do arquivo final do ATP, é necessário retirar a impedância contida no módulo da fonte equivalente, o que implicará na tensão da barra a qual o módulo da fonte equivalente se conecta ser igual à tensão nos terminais da fonte ideal.

Dessa forma, todos os valores necessários para a realização da simulação são conhecidos. Entretanto, mesmo que esse cenário represente adequadamente as condições de regime permanente do sistema, para fins de análise dos níveis de curto-circuito, essa representação não é adequada.

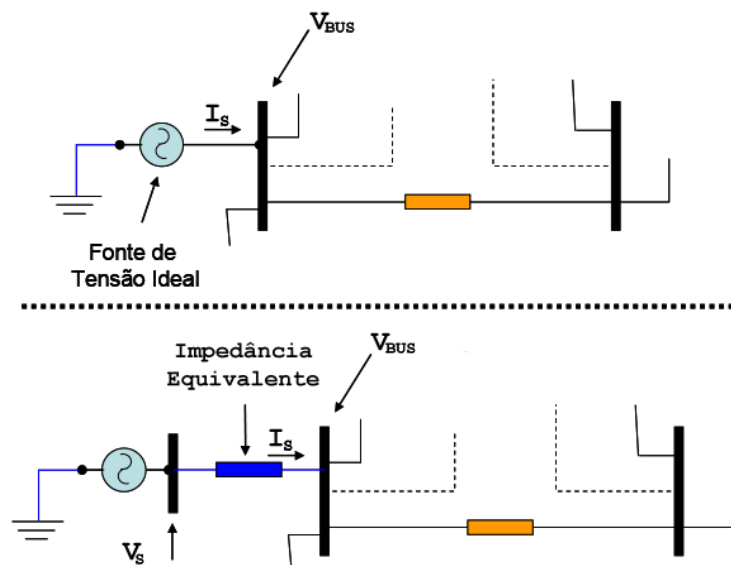
Esse fato ocorre devido a desconsideração da impedância das fontes equivalentes resultarem em contribuições errôneas para as faltas. Assim, objetivando-se incluir essas impedâncias na modelagem, pode-se partir do princípio que a tensão e a injeção de potência em cada barra de fronteira deverão se manter constantes para que, assim, representem o mesmo caso de regime permanente.

Com isso, pode-se garantir que a corrente injetada pela fonte ideal será a mesma independentemente da presença da impedância equivalente. Dessa forma, para calcular a tensão que a fonte ideal localizada na sua posição original deverá ter, é necessário adicionar a queda de tensão na impedância equivalente à tensão na barra de fronteira.

Buscando-se a simplificação do algoritmo proposto, ao invés de retirar a impedância equivalente, alterou-se o ponto de conexão da fonte ideal de tal forma a se conectar diretamente à chave ideal.

Com isso, pode-se realizar a simulação do fluxo de carga no próprio ATP e, como resultado, obter a corrente passante pelo gerador, o que possibilita o cálculo da tensão que a fonte ideal deverá ter no caso original com a impedância equivalente. A Figura 39 mostra a diferença entre os casos intermediário e final.

Figura 39: Diferença entre os Casos Intermediário e Final.



Fonte: Própria do autor (2022), adaptada de (FONSECA, 2016).

Criando-se esse caso intermediário com tempo de simulação ajustado para zero, o que implica na simulação apenas do regime permanente, e realizando-se a sua simulação, a qual pode ser feita de forma automática por meio da utilização da função *dos* do MATLAB, será criado um arquivo de saída de extensão “.lis” contendo as informações acerca da potência e corrente passantes pelas chaves ideais.

4.4 Importação dos Resultados Intermediários

Com os resultados da simulação do caso intermediário abordado na Seção 4.3, deve-se realizar a sua importação. Devido a sua estruturação em forma de tabelas, a qual pode ser vista na Figura 40 com colunas de posição e largura fixas, será utilizada a mesma metodologia descrita na Seção 4.1, a qual se utiliza da função *readtable* do MATLAB.

Dos dados fornecidos pelo arquivo de resultados citado previamente, devem-se adquirir as informações referentes a corrente (módulo e ângulo) e potência (real e reativa) associadas as chaves ideais. É válido enfatizar que, como mostrado na Figura 40, o fluxo de potência é fornecido por fase, enquanto que, no ANAREDE, é fornecido de forma trifásica.

Assim, padronizou-se o uso da forma trifásica, forma mais comumente encontrada nos estudos de fluxo de potência, o que acarretou na necessidade de somar as potências de cada uma das fases para obter-se o resultado desejado.

Figura 40: Arquivo de Saída do ATP – Caso Intermediário.

Output for steady-state phasor switch currents.							
Node-K	Node-M	I-real	I-imag	I-magn	Degrees	Power	Reactive
3A	0004LA	1.65869413E+01	2.72736848E+01	3.19214740E+01	58.6934	1.14546146E+03	-3.40751567E+06
3B	0004LB	1.53262332E+01	-2.80015549E+01	3.19214740E+01	-61.3066	1.14546146E+03	-3.40751567E+06
3C	0004LC	-3.19131745E+01	7.27870114E-01	3.19214740E+01	178.6934	1.14546146E+03	-3.40751567E+06
5A	255XLA	-4.27510209E+02	-4.46833443E+02	6.18405292E+02	-133.7340	-1.42277671E+07	6.44613082E+07
5B	255XLB	-1.73214008E+02	5.93651423E+02	6.18405292E+02	106.2660	-1.42277671E+07	6.44613082E+07
5C	255XLC	6.00724217E+02	-1.46817980E+02	6.18405292E+02	-13.7340	-1.42277671E+07	6.44613082E+07
3A	0005LA	4.91786267E+02	5.08886057E+02	7.07685489E+02	45.9790	1.66512265E+07	-7.36851960E+07
3B	0005LB	1.94815120E+02	-6.80342429E+02	7.07685489E+02	-74.0210	1.66512265E+07	-7.36851960E+07
3C	0005LC	-6.86601386E+02	1.71456372E+02	7.07685489E+02	165.9790	1.66512265E+07	-7.36851960E+07
8A	2560LA	-1.60513590E+02	-1.89605705E+02	2.48424910E+02	-130.2501	-3.89305015E+06	2.73808769E+07

Fonte: Própria do autor (2022).

Com as informações das correntes passantes pelas chaves ideais dos módulos dos geradores (I_S), as quais são as mesmas das fontes ideais desse módulo, da matriz

de impedância da fonte equivalente (Z_S) e das tensões na barra (V_{BUS}), pode-se calcular as tensões da fonte ideal (V_S) por meio da Equação 2.

$$V_S = Z_{EQ} \cdot I_S + V_{BUS} \quad (2)$$

Porém, como abordado na Seção 3.3.4, a representação da fonte ideal no ATP adotada neste trabalho pressupõe que as tensões são equilibradas, fazendo com que seja necessário fornecer a tensão (módulo e ângulo) da fase A. Dessa forma, a Equação (2) pode ser simplificada, dando origem a Equação 3.

$$\dot{V}_{SA} = \dot{z}_s \cdot \dot{I}_{SA} + \dot{z}_m \cdot \dot{I}_{SB} + \dot{z}_m \cdot \dot{I}_{SC} + \dot{V}_{BUS_A} \quad (3)$$

Ainda, para se obter os valores das impedâncias própria ($\dot{z}_s$) e mútua ($\dot{z}_m$) a partir das impedâncias de sequência que foram usadas no modelo da fonte equivalente, pode-se utilizar as equações 4 e 5 conforme demonstrado por (DOMMEL, 1996).

$$\dot{z}_s = \frac{1}{3} \cdot (\dot{z}_0 + 2 \cdot \dot{z}_1) \quad (4)$$

$$\dot{z}_m = \frac{1}{3} \cdot (\dot{z}_0 - \dot{z}_1) \quad (5)$$

4.5 Criação do Arquivo ATP Final

Para criar o arquivo definitivo que será usado no ATP para a realização dos estudos a partir dos cálculos desenvolvidos na seção anterior, é necessário desfazer a alteração do ponto de conexão da fonte ideal para que seu ponto de conexão volte a ser o que está sendo mostrado na Figura 33 e ajustar as tensões nas fontes ideais para os valores calculados ao final da Seção 4.4.

4.6 Validação da Conversão

Visando-se a validação da conversão proposta, serão comparados os níveis de curto-circuito trifásico e monofásico nas barras retidas entre o ATP e o ANAFAS em conformidade com (ONS, 2021a). Adicionalmente, serão comparados os valores de fluxo de potência nas barras de fronteira entre o ATP e o ANAREDE.

Para a comparação dos níveis de curto, é necessário realizar o levantamento desses níveis em ambos os programas. No ANAFAS, isso pode ser feito facilmente por meio de linha de comando para geração do relatório dos níveis de curto (CEPEL, 2021) e da função *dos* do MATLAB para executar esse comando.

Já para o ATP, para cada barra presente no arquivo, são geradas duas cópias do arquivo criado ao final da Seção 4.5 com a adição de uma chave conectando as três fases ao solo em uma das cópias e, na outra cópia, uma chave conectando apenas a fase A ao solo, visando, assim, simular faltas trifásica e monofásica para cada uma das barras representadas no ATP.

Para a comparação dos fluxos nas barras de fronteira, é necessário realizar a simulação desses fluxos nos programas ATP e ANAREDE. No ATP, basta realizar a simulação do arquivo ATP com o tempo de simulação ajustado para zero e obter os valores de potência nas barras de fronteira usando-se da mesma metodologia descrita na Seção 4.3, porém, usando o arquivo gerado ao final da Seção 4.5.

Já para o ANAREDE, deve-se gerar o relatório completo do sistema (*RLIN*) e realizar a importação dos seus dados de forma semelhante ao relatório *RSHL* descrita nas seções 4.1 e 4.2, porém observando-se que cada barra pode ter mais que duas linhas de dados no arquivo do relatório.

Por fim, será gerado um arquivo com a comparação entre esses níveis de curto-circuito e fluxos de cargas, contendo seus valores absolutos e a diferença percentual entre eles com base nos valores obtidos no ANAFAS e ANAREDE.

5 ANÁLISE DE RESULTADOS

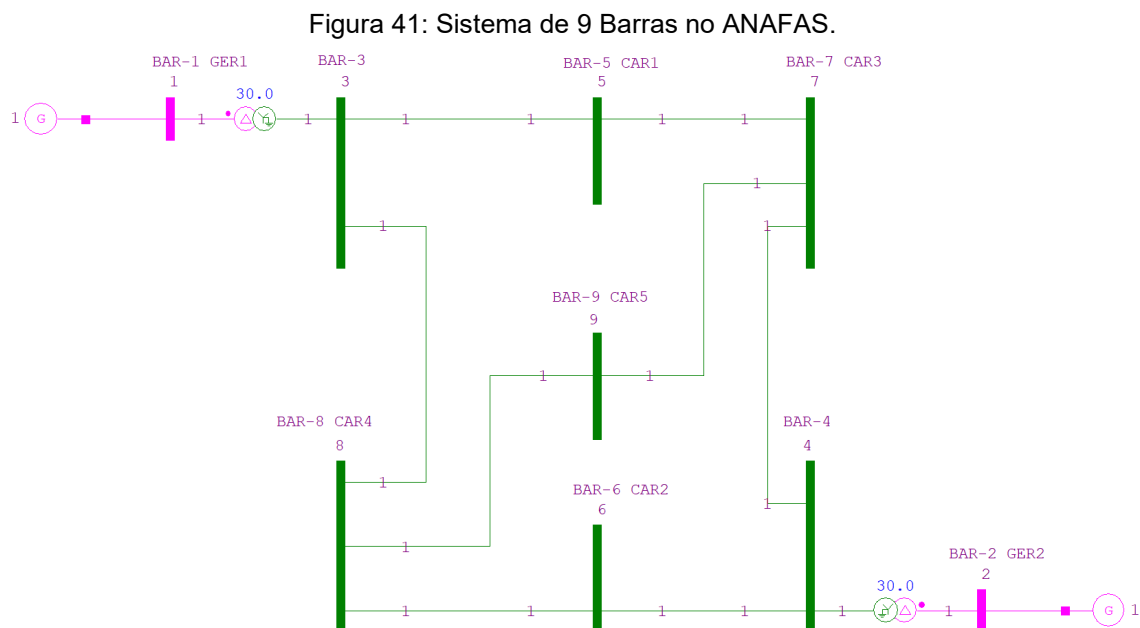
Buscando-se validar o programa desenvolvido, foram usados dois sistemas de teste retirados de (ALVES, 2007) para que, assim, os resultados apresentados neste capítulo possam ser facilmente replicados e averiguados.

Dessa forma, foram escolhidos os sistemas com 9 e 16 barras. Entretanto, foi necessário atualizar seus arquivos para os padrões atuais de formatação do ANAFAS e ANAREDE presentes em (CEPEL, 2021) e (CEPEL, 2022). Adicionalmente, será refeito o sistema com 9 barras, porém impondo-se a mesma premissa de tensão pré-falta adotada pelo programa ANAFAS para fins de comparação.

5.1 Sistema de 9 Barras

O sistema de 9 barras foi modelado no ANAFAS, o qual é mostrado na Figura 41, e no ANAREDE, o qual pode ser visto na

Figura 42, tomando-se como base o caso de nove barras mostrado em (ALVES, 2007).



Fonte: Própria do autor (2022), adaptada de (ALVES, 2007).

Tabela 3: Nível de Curto-Circuito Monofásico – Sistema de 9 Barras.

Barra	Nível de Curto-Circuito Monofásico no ANAFAS [kA]	Nível de Curto-Circuito Monofásico no ATP [kA]	Diferença %
1	0,00	0,00	-
2	0,00	0,00	-
3	1,89	2,09	10,58
4	1,84	2,05	11,41
5	1,12	1,24	10,71
6	1,28	1,44	12,50
7	1,26	1,43	13,49
8	1,33	1,49	12,03
9	0,94	1,06	12,77

Fonte: Própria do autor (2022).

Adicionalmente, obtiveram-se os fluxos de potência nas barras de fronteira mostrados na Tabela 4 e na Tabela 5.

Tabela 4: Fluxo de Potência Ativa – Sistema de 9 Barras.

Barra	Potência Ativa no ANAREDE [MW]	Potência Ativa no ATP [MW]	Diferença %
1	178,7	179,1	0,22
9	150,0	150,5	0,33

Fonte: Própria do autor (2022)

Tabela 5: Fluxo de Potência Reativa – Sistema de 9 Barras.

Barra	Potência Reativa no ANAREDE [Mvar]	Potência Reativa no ATP [Mvar]	Diferença %
1	10,4	9,94	4,42
9	19,2	18,8	2,08

Fonte: Própria do autor (2022)

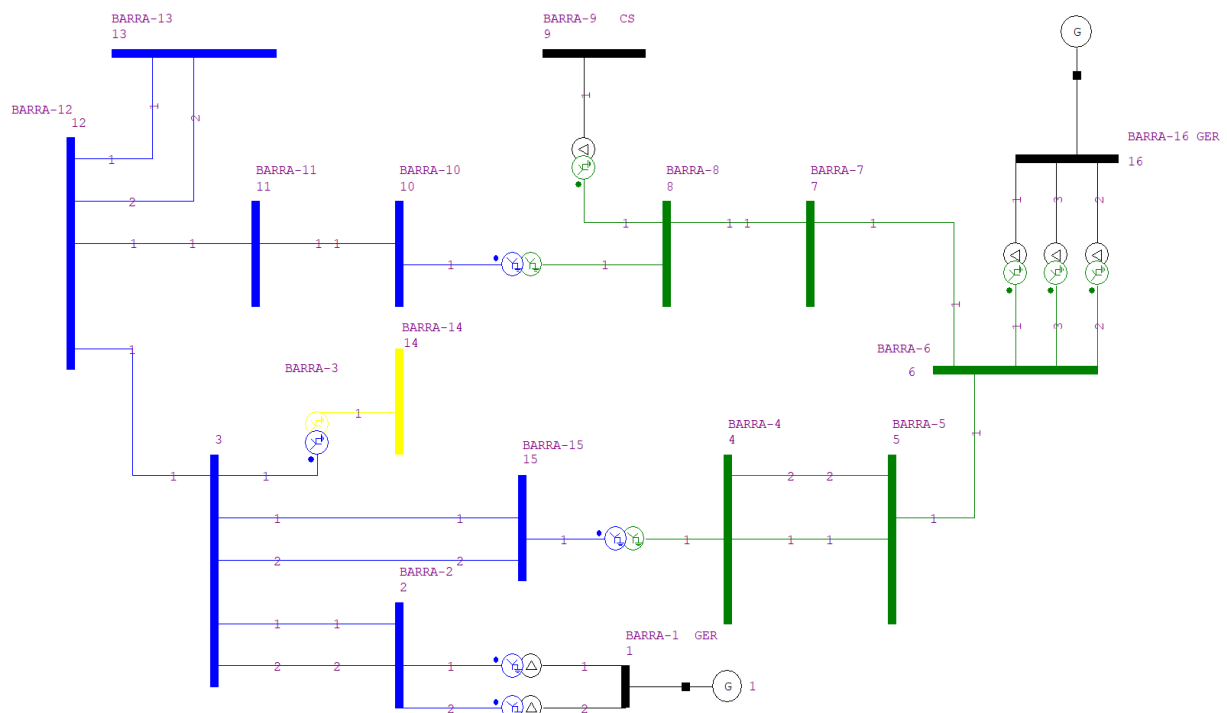
Observando-se os resultados de fluxo de potência obtidos, pode-se inferir que as condições de regime permanente desse sistema foram representadas adequadamente. Já com os resultados dos níveis de curto-circuito, poder-se-ia inferir que a metodologia apresentada neste trabalho não está adequada para essa análise.

Porém, deve-se ressaltar que o programa ANAFAS não leva em consideração os efeitos das cargas conectadas ao sistema, tão pouco das tensões e fluxo de potência do regime permanente. Assim, visto que a simulação do ATP considera todos esses efeitos, os valores de falta encontrados estão mais condizentes com o sistema físico que os encontrados pelo ANAFAS.

5.2 Sistema de 16 Barras

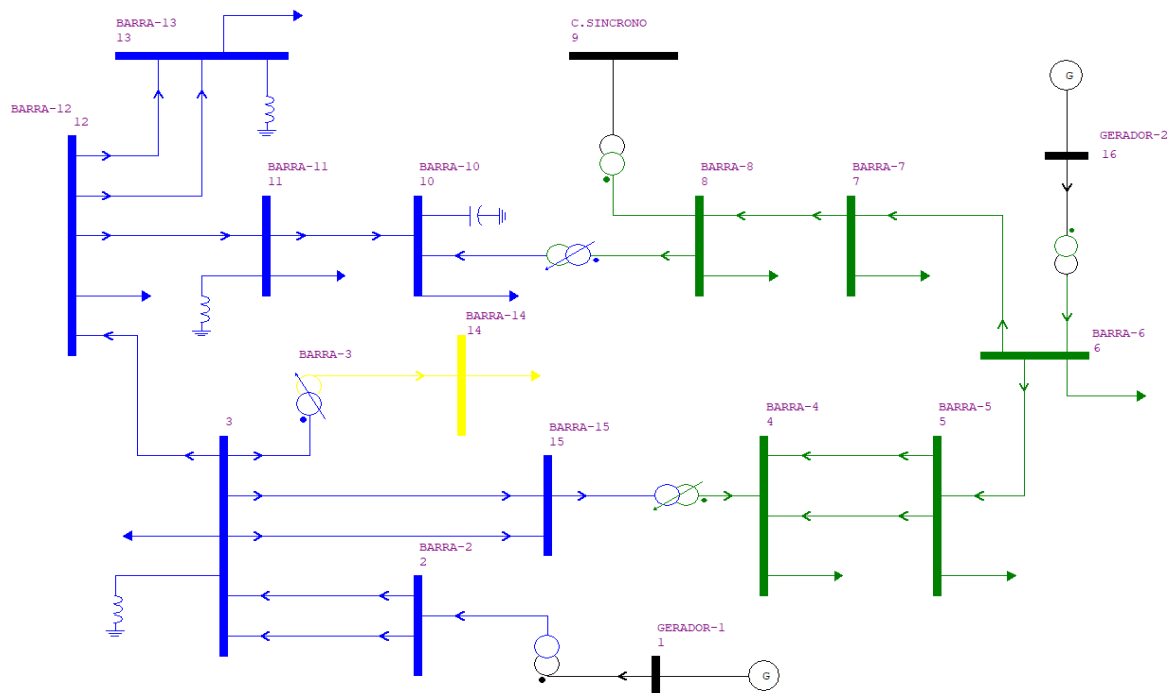
O sistema de 16 barras foi modelado no ANAFAS, o qual é mostrado na Figura 43, e no ANAREDE, o qual pode ser visto na Figura 44, tomando-se como base o caso de dezesseis barras mostrado em (ALVES, 2007). Ainda, na representação do ANAREDE, corrigiu-se a reatância de 2,5 para 1,6667 do transformador equivalente localizado entre as barras 16 e 6, assim como foi retirado o compensador síncrono de todas as bases de dados.

Figura 43: Sistema de 16 Barras no ANAFAS.



Fonte: Própria do autor (2022), adaptada de (ALVES, 2007).

Figura 44: Sistema de 16 Barras no ANAREDE.



Fonte: Própria do autor (2022), adaptada de (ALVES, 2007).

Após a utilização do programa proposto, obtiveram-se os dados comparativos dos níveis de falta mostrados na Tabela 6 e na Tabela 7.

Tabela 6: Nível de Curto-Circuito Trifásico – Sistema de 16 Barras.

Barra	Nível de Curto-Circuito Trifásico no ANAFAS [kA]	Nível de Curto-Circuito Trifásico no ATP [kA]	Diferença %
1	51,73	53,15	2,75
2	1,90	1,96	3,16
3	1,71	1,80	5,26
4	1,95	2,10	7,69
5	2,02	2,16	6,93
6	2,40	2,56	6,67
7	1,79	1,91	6,70
8	1,62	1,74	7,41
9	14,92	16,21	8,65
10	1,10	1,18	7,27
11	1,21	1,28	5,79
12	1,44	1,53	6,25
13	1,30	1,39	6,92
14	2,31	2,51	8,66
15	1,42	1,53	7,75
16	41,84	44,29	5,86

Fonte: Própria do autor (2022).

Tabela 7: Nível de Curto-Circuito Monofásico – Sistema de 16 Barras.

Barra	Nível de Curto-Circuito Monofásico no ANAFAS [kA]	Nível de Curto-Circuito Monofásico no ATP [kA]	Diferença %
1	0,00	0,00	-
2	2,65	2,75	3,77
3	1,60	1,97	23,13
4	1,65	1,99	20,61
5	1,97	2,15	9,14
6	3,40	3,59	5,59
7	1,95	2,06	5,64
8	1,95	2,09	7,18
9	0,00	0,00	-
10	1,15	1,23	6,96
11	1,10	1,22	10,91
12	1,29	1,53	18,60
13	0,99	1,30	31,31
14	2,26	2,62	15,93
15	1,15	1,43	24,35
16	0,00	0,00	-

Fonte: Própria do autor (2022).

Adicionalmente, obtiveram-se os fluxos de potência nas barras de fronteira mostrados na Tabela 8 e na Tabela 9.

Tabela 8: Fluxo de Potência Ativa – Sistema de 16 Barras.

Barra	Potência Ativa no ANAREDE [MW]	Potência Ativa no ATP [MW]	Diferença %
1	350,0	346,2	-1,09
16	209,1	208,0	-0,53

Fonte: Própria do autor (2022).

Tabela 9: Fluxo de Potência Reativa – Sistema de 16 Barras.

Barra	Potência Ativa no ANAREDE [Mvar]	Potência Ativa no ATP [Mvar]	Diferença %
1	-59,6	-60,2	1,01
16	-16,2	-16,8	3,70

Fonte: Própria do autor (2022).

Observando-se os resultados do fluxo de potência é possível inferir, novamente, que a metodologia proposta representa adequadamente o regime permanente do sistema. Analisando-se os resultados dos níveis de curto desse sistema, é possível perceber uma grande diferença percentual para as faltas monofásicas.

Entretanto, adicionalmente ao que foi abordado na seção anterior, tem-se que a magnitude das correntes de falta para esse sistema estão próximas das correntes de carga, o que, somado com as compensações intrínseca das linhas de transmissão, podem resultar numa elevação dos níveis de faltas, principalmente de faltas assimétricas.

5.3 Sistema de 9 Barras Modificado

O sistema de 9 barras foi modelado no ANAFAS, o qual é mostrado na Figura 41, e no ANAREDE, o qual pode ser visto na

Figura 42, tomando-se como base o caso de nove barras mostrado em (ALVES, 2007) e impondo-se que as tensões das fontes ideais sejam nominais independentemente da simulação de fluxo de potência do ANAREDE. Dessa forma, após a utilização do programa proposto, obtiveram-se os dados comparativos dos níveis de falta mostrados na Tabela 10 e na Tabela 11.

Tabela 10: Nível de Curto-Circuito Trifásico – Sistema de 9 Barras Modificado.

Barra	Nível de Curto-Circuito Trifásico no ANAFAS [kA]	Nível de Curto-Circuito Trifásico no ATP [kA]	Diferença [%]
1	25,56	25,14	-1,64
2	27,95	27,50	-1,61
3	1,42	1,41	-0,70
4	1,45	1,44	-0,69
5	1,14	1,13	-0,88
6	1,24	1,24	0,00
7	1,24	1,25	0,81
8	1,28	1,28	0,00
9	1,03	1,03	0,00

Fonte: Própria do autor (2022).

Tabela 11: Nível de Curto-Circuito Monofásico – Sistema de 9 Barras Modificado.

Barra	Nível de Curto-Circuito Monofásico no ANAFAS [kA]	Nível de Curto-Circuito Monofásico no ATP [kA]	Diferença %
1	0,00	0,00	-
2	0,00	0,00	-
3	1,89	1,86	-1,59
4	1,84	1,82	-1,09
5	1,12	1,10	-1,79
6	1,28	1,26	-1,56
7	1,26	1,27	0,79
8	1,33	1,33	0,00
9	0,94	0,94	0,00

Fonte: Própria do autor (2022).

Adicionalmente, obtiveram-se os fluxos de potência nas barras de fronteira mostrados na Tabela 12 e na Tabela 13.

Tabela 12: Fluxo de Potência Ativa – Sistema de 9 Barras Modificado

Barra	Potência Ativa no ANAREDE [MW]	Potência Ativa no ATP [MW]	Diferença %
1	178,7	126,7	-29,10
9	150,0	133,5	-11,00

Fonte: Própria do autor (2022)

Tabela 13: Fluxo de Potência Reativa – Sistema de 9 Barras Modificado.

Barra	Potência Reativa no ANAREDE [MVar]	Potência Reativa no ATP [MVar]	Diferença %
1	10,4	7,9	-24,04
9	19,2	15,2	-20,83

Fonte: Própria do autor (2022).

Analisando-se os resultados dos níveis de curto-circuito, é possível notar que, ao assumir a mesma premissa de tensão pré-falta utilizada pelo ANAFAS, os valores obtidos pelos dois programas são consideravelmente mais próximos. Entretanto, ao observa-se os resultados de fluxo de carga, pode-se perceber um distanciamento das

condições de regime permanente, ou seja, um distanciamento das condições operativas reais desse sistema.

6 CONCLUSÃO E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE

Buscando-se diminuir o elevado tempo necessário para a realização de modelagens de sistemas elétrico para estudos de transitórios eletromagnéticos de manobra, foi desenvolvido um algoritmo capaz de utilizar as informações, já previamente consolidadas, contidas em arquivo nos formatos reconhecidos pelos programas ANAREDE e ANAFAS para, assim, criar o arquivo necessário para realização das simulações desses estudos no programa ATP.

Observando-se os resultados apresentados no Capítulo 5 quanto aos fluxos de potência, pode-se inferir que o algoritmo proposto realizou a representação adequada das condições de operação normal do sistema.

Partindo-se para os resultados dos níveis de curto-circuito, é possível perceber uma maior diferença se comparado aos erros encontrados para o fluxo de potência. Entretanto, tais resultados são esperados, visto que o programa ANAFAS não leva em consideração os efeitos devido à presença das cargas, além de considerar as tensões pré-falta como sendo a tensão nominal do sistema.

Dessa forma, pode-se concluir que o algoritmo proposto atende aos requisitos necessários para elaboração da modelagem utilizada nos estudos de transitórios eletromagnéticos de manobra, utilizando-se como base as modelagens do sistema em estudo feitas nos programas ANAFAS e ANAREDE.

Assim, é possível utilizar essa metodologia para reduzir significativamente o tempo necessário para a modelagem desses sistemas para estudos de transitórios eletromagnéticos de manobra, o que implica na redução do tempo de execução desses estudos.

Isso se torna especialmente vantajoso com o aumento do sistema a ser representado, pois o trabalho necessário para modelá-lo aumenta rapidamente com o crescimento das vizinhanças elétricas, o que ocorre em estudos práticos.

Como trabalhos futuros, visto que o algoritmo proposto utiliza os componentes modelados no ANAFAS para elaborar sua representação no ATP, é importante realizar a inclusão de novos componentes, tais como transformadores de três enrolamentos e compensadores síncronos, visto que estes componentes apresentam importantes papéis no desempenho do SEB.

Ainda, devido à metodologia proposta ser voltada para a criação direta do arquivo reconhecido pelo ATP, o qual não apresenta interface gráfica, poder-se-ia elaborar essa representação na interface gráfica do programa ATPDraw, visando a facilitação de possíveis modificações na modelagem e um melhor entendimento do sistema modelado.

REFERÊNCIAS

ALVES, W. F. **Proposição de Sistemas-Teste para Análise Computacional de Sistemas de Potência**. 2007. Tese (Mestrado em Computação). Universidade Federal Fluminense. Programa de Pós-Graduação em Computação em Potência. Recife, 2007.

CANADIAN/AMERICAN EMTP USER GROUP. **Alternative Transients Program (ATP) Rule Book**. Oregon: EEUG, 2016.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **Manual do Usuário – ANAFAS, Versão 7.5**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2021.

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **Manual do Usuário – ANAREDE, Versão 11.06.02**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2022.

D' Ajuz, Ary. et. al. **Transitórios elétricos e coordenação de isolamento: aplicação em sistemas de potência de alta tensão**. Rio de Janeiro: EDUFF, 1987. Disponível em: <<https://www.worldcat.org/pt/title/816761744>>. Acesso em: 20 ago. 2022.

DOMMEL, H. W. **Electromagnetic Transients Program Reference Manual: EMTP Theory Book**. Oregon: EEUG, 1996.

FONSECA, L. C. A. et. al. **Ferramenta Gráfica para Síntese de uma Sub-Malha para Estudos de Transitórios Eletromagnéticos**. Pernambuco: CHESF, 2016. Disponível em: <<https://www.chesf.com.br/pdi/Pages/RevistaNova%C3%A7%C3%A3oN2/FerramentaGr%C3%A1ficaEstudosTransit%C3%B3rios.aspx>>. Acesso em: 13 ago. 2022.

GRAINGER, J. J.; STEVENSON W. D. **Power System Analysis**. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1994. Disponível em: <<https://www.worldcat.org/pt/title/1158774283>>. Acesso em: 22 ago. 2022.

GREENWOOD, A. **Electrical Transients in Power Systems**. 2. ed. Nova Iorque: Wiley Interscience, 1991. Disponível em: <<https://www.worldcat.org/pt/title/1055178651>>. Acesso em: 20 ago. 2022.

MATHWORKS. **Help Center**. 2022. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/help/matlab>>. Acessado em: 12 set. 2022.

MONTICELLI, A. J. **Fluxo de Carga em Redes de Energia Elétrica**. Edgar Blücher, 1983. Disponível em: <<https://www.worldcat.org/pt/title/816748035>>. Acesso em: 19 ago. 2022.

KINDERMANN, G. **Curto-Circuito**. 6. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 2018.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Diretrizes para a Elaboração de Projetos Básicos para Empreendimentos de Transmissão: Estudos Elétricos, Especificação das Instalações, de Equipamentos e de Linhas de Transmissão**. Rio de Janeiro: ONS, 2013.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Carta ONS – DPL/0880/2022**. Rio de Janeiro: ONS, 2022.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Premissas, Critérios e Metodologia para Estudos Elétricos: Critérios**. Rio de Janeiro: ONS, 2021a. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/procedimentos-de-rede/vigentes>>. Acesso em: 12 set. 2022.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. **Premissas, Critérios e Metodologia para Estudos Elétricos: Metodologia**. Rio de Janeiro: ONS, 2021b. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/procedimentos-de-rede/vigentes>>. Acesso em: 12 set. 2022.

SANTOS Jr., G. L. et. al. **Ferramenta Gráfica e Interativa para Automação do Ajuste de Casos-Base Associados a Estudos de Transitórios Eletromagnéticos Devidos a Manobras em ATP**. Rio de Janeiro: SNPTEE, 2007. Disponível em: <<https://www.cgti.org.br/publicacoes/ferramenta-grafica-e-interativa-para-automacao-do-ajuste-de-casos-base-associados-a-estudos-de-transitorios-eletromagneticos-devidos-a-manobras-em-atp/>>. Acesso em: 09 ago. 2022.

ZANETTA, L. C. et. al. **Equivalentes de Redes Elétricas para Cálculo de Transitórios Eletromagnéticos no Programa ATP**. São Paulo: CTEEP, 2005. Disponível em: <http://www.cteep.com.br/port/institucional/projetos/projeto_0068-032_2004_site.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2022.

APÊNDICE A – ARQUIVO ATP RESULTANTE DO CASO DE 9 BARRAS

```

BEGIN NEW DATA CASE
POWER FREQUENCY
C dT >> Tmax >> Xopt >> Copt >>Epsiln>
1.E-6 0 60. 60.
500 1 1 1 1 0 0 1 0
/BRANCH
C =====LTs=====
$VINTAGE,1
C < n1 >> n2 >>ref1><ref2>< R >> L >> C >>Leng >><><><>
-10004LA255XLA 2.697900e-021.460040e-011.792061e-011.000000e+03 0 0 0
-20004LB255XLB 8.993000e-034.866800e-022.986768e-011.000000e+03 0 0 0
-30004LC255XLC 0
-10006LA255ZLA 5.078400e-022.555070e-013.470699e-011.000000e+03 0 0 0
-20006LB255ZLB 1.692800e-028.516900e-025.784499e-011.000000e+03 0 0 0
-30006LC255ZLC 0
-10005LA2570LA 1.587000e-021.348950e-011.996219e-011.000000e+03 0 0 0
-20005LB2570LB 5.290000e-034.496500e-023.327032e-011.000000e+03 0 0 0
-30005LC2570LC 0
-10010LA255YLA 1.745700e-021.333080e-012.903592e-011.000000e+03 0 0 0
-20010LB255YLB 5.819000e-034.443600e-024.839320e-011.000000e+03 0 0 0
-30010LC255YLC 0
-10007LA256WLA 1.348950e-021.142640e-011.689981e-011.000000e+03 0 0 0
-20007LB256WLB 4.496500e-033.808800e-022.816635e-011.000000e+03 0 0 0
-30007LC256WLC 0
-10008LA2561LA 1.888530e-021.599696e-012.370510e-011.000000e+03 0 0 0
-20008LB2561LB 6.295100e-035.332320e-023.950851e-011.000000e+03 0 0 0
-30008LC2561LC 0
-1000ALA2560LA 6.189300e-022.697900e-014.060492e-011.000000e+03 0 0 0
-2000ALB2560LB 2.063100e-028.993000e-026.767486e-011.000000e+03 0 0 0
-3000ALC2560LC 0
-10009LA255WLA 1.428300e-021.253730e-011.837429e-011.000000e+03 0 0 0
-20009LB255WLB 4.761000e-034.179100e-023.062382e-011.000000e+03 0 0 0
-30009LC255WLC 0
$VINTAGE,0
C =====Trs=====
C < n1 >> n2 >>ref1><ref2>< R >> L >> C >> <>
TRANSFORMER 8KN2CA 1.E6 0
9999
14ABKTA4ABKTC 0.00000.150419.516
26FHDTA 0.000013.930187.79
TRANSFORMER 8KN2CA 8KN2CB 0
14ABKTB4ABKTA
26FHDTB
TRANSFORMER 8KN2CA 8KN2CC 0
14ABKTC4ABKTB
26FHDTC
TRANSFORMER 8KN3CA 1.E6 0
9999
14ABLTA4ABLTC 0.00000.216119.516
26FHETA 0.000020.005187.79
TRANSFORMER 8KN3CA 8KN3CB 0
14ABLTB4ABLTA
26FHETB
TRANSFORMER 8KN3CA 8KN3CC 0
14ABLTC4ABLTB
26FHETC
$VINTAGE,1
C < n1 >> n2 >>ref1><ref2> < R > < L > < C > <>
$VINTAGE,0
C =====Elementos Serie=====
$VINTAGE,1
C < n1 >> n2 >>ref1><ref2> < R > < L > < C > <>
$VINTAGE,0

```

```

C =====GERS=====
C < n1 >< n2 ><ref1><ref2>< R >< L >
51H5A2GAF04BGA          1.0e+71.000000e+07
52H5A2GBF04BGB          0.00004.761000e-01
53H5A2GCF04BGC
51H5A3GAF04CGA          1.0e+71.000000e+07
52H5A3GBF04CGB          0.00004.025902e-01
53H5A3GCF04CGC
C =====SHUNTs=====
$VINTAGE,1
C < n1 >< n2 ><ref1><ref2> < R > < L > < C > <>
JAG1PA          6.227712e+02  2.325013e+02  0
JAG1PB          6.227712e+02  2.325013e+02  0
JAG1PC          6.227712e+02  2.325013e+02  0
JAFZPA          5.486144e+02  3.630536e+02  0
JAFZPB          5.486144e+02  3.630536e+02  0
JAFZPC          5.486144e+02  3.630536e+02  0
JAG0PA          5.301487e+02  2.061689e+02  0
JAG0PB          5.301487e+02  2.061689e+02  0
JAG0PC          5.301487e+02  2.061689e+02  0
JAFXPA          7.937525e+02  3.896603e+02  0
JAFXPB          7.937525e+02  3.896603e+02  0
JAFXPC          7.937525e+02  3.896603e+02  0
JAFYPA          1.207542e+03  5.874528e+02  0
JAFYPB          1.207542e+03  5.874528e+02  0
JAFYPC          1.207542e+03  5.874528e+02  0
$VINTAGE,0
/SWITCH
C < n 1>< n 2>< Tclose ><Top/Tde >< Ie ><Vf/CLOP >< type > <>
C =====LTs=====
3A0004LA          -1.      100.      0
3B0004LB          -1.      100.      0
3C0004LC          -1.      100.      0
5A255XLA          -1.      100.      0
5B255XLB          -1.      100.      0
5C255XLC          -1.      100.      0
5A0006LA          -1.      100.      0
5B0006LB          -1.      100.      0
5C0006LC          -1.      100.      0
7A255ZLA          -1.      100.      0
7B255ZLB          -1.      100.      0
7C255ZLC          -1.      100.      0
3A0005LA          -1.      100.      0
3B0005LB          -1.      100.      0
3C0005LC          -1.      100.      0
8A2570LA          -1.      100.      0
8B2570LB          -1.      100.      0
8C2570LC          -1.      100.      0
8A0010LA          -1.      100.      0
8B0010LB          -1.      100.      0
8C0010LC          -1.      100.      0
6A255YLA          -1.      100.      0
6B255YLB          -1.      100.      0
6C255YLC          -1.      100.      0
6A0007LA          -1.      100.      0
6B0007LB          -1.      100.      0
6C0007LC          -1.      100.      0
4A256WLA          -1.      100.      0
4B256WLB          -1.      100.      0
4C256WLC          -1.      100.      0
7A0008LA          -1.      100.      0
7B0008LB          -1.      100.      0
7C0008LC          -1.      100.      0
9A2561LA          -1.      100.      0
9B2561LB          -1.      100.      0
9C2561LC          -1.      100.      0
8A2560LA          -1.      100.      0
8B2560LB          -1.      100.      0

```

```

      8C2560LC      -1.      100.      0
      9A000ALA      -1.      100.      0
      9B000ALB      -1.      100.      0
      9C000ALC      -1.      100.      0
      7A0009LA      -1.      100.      0
      7B0009LB      -1.      100.      0
      7C0009LC      -1.      100.      0
      4A255WLA      -1.      100.      0
      4B255WLB      -1.      100.      0
      4C255WLC      -1.      100.      0
C =====TRs=====
      1A4ABKTA      -1.      100.      0
      1B4ABKTB      -1.      100.      0
      1C4ABKTC      -1.      100.      0
      3A6FHDTA      -1.      100.      0
      3B6FHDTB      -1.      100.      0
      3C6FHDTC      -1.      100.      0
      2A4ABLTA      -1.      100.      0
      2B4ABLTB      -1.      100.      0
      2C4ABLTC      -1.      100.      0
      4A6FHETA      -1.      100.      0
      4B6FHETB      -1.      100.      0
      4C6FHETC      -1.      100.      0
C =====Elementos Serie=====
C =====GERS=====
      1AF04BGA      -1.      100.      0
      1BF04BGB      -1.      100.      0
      1CF04BGC      -1.      100.      0
      2AF04CGA      -1.      100.      0
      2BF04CGB      -1.      100.      0
      2CF04CGC      -1.      100.      0
C =====SHUNTs=====
      7AJAFZPA      -1.      100.      0
      7BJAFZPB      -1.      100.      0
      7CJAFZPC      -1.      100.      0
      8AJAG0PA      -1.      100.      0
      8BJAG0PB      -1.      100.      0
      8CJAG0PC      -1.      100.      0
      6AJAFYPA      -1.      100.      0
      6BJAFYPB      -1.      100.      0
      6CJAFYPC      -1.      100.      0
      9AJAG1PA      -1.      100.      0
      9BJAG1PB      -1.      100.      0
      9CJAG1PC      -1.      100.      0
      5AJAFXPA      -1.      100.      0
      5BJAFXPB      -1.      100.      0
      5CJAFXPC      -1.      100.      0
/SOURCE
C =====GERS=====
C < n 1><>< Ampl. >< Freq. ><Phase/T0>< A1 >< T1 >< TSTART >< TSTOP >
14H5A3GA +12578.555      60.+15.434813      -1.      100.
14H5A3GB +12578.555      60.-104.56519      -1.      100.
14H5A3GC +12578.555      60.-224.56519      -1.      100.
14H5A2GA +12843.043      60.+22.375138      -1.      100.
14H5A2GB +12843.043      60.-97.624862      -1.      100.
14H5A2GC +12843.043      60.-217.62486      -1.      100.
/OUTPUT
BLANK BRANCH
BLANK SWITCH
BLANK SOURCE
BLANK OUTPUT
BLANK PLOT
BEGIN NEW DATA CASE
BLANK

```

ANEXO A – ARQUIVO ANAFAS USADO NO CASO DE 9 BARRAS

```

TIPO
P
TITU      1
*** Caso de Curto-Circuito - Sistema-Teste 9 barras ***
DBAR
(NB  CEMA      BN              VBAS DISJUN              DDMMAAAADDMMMAAAA IA SA  F
(-----)
  1  BAR-1 GER1GR              13.8                      1  G
  2  BAR-2 GER2GR              13.8                      1  G
  3  BAR-3                      230                      1
  4  BAR-4                      230                      1
  5  BAR-5 CAR1                230                      1
  6  BAR-6 CAR2                230                      1
  7  BAR-7 CAR3                230                      1
  8  BAR-8 CAR4                230                      1
  9  BAR-9 CAR5                230                      1
99999
DCIR
(BF  CE  BT   NCT  R1    X1    R0    X0    CN    S1    S0    TAP  TB  TCIA DEFE KM CD RNDE  XNDE CP RNPA  XNPA SA
(-----)
  3    5   1L   170   920   510  2760
  3    8   1L   100   850   300  2550
  4    7   1L    90   790   270  2370
  5    7   1L   320  1610   960  4830
  6    4   1L    85   720   255  2160
  6    8   1L   110   840   330  2520
  7    9   1L   119  1008   357  3024
  8    9   1L   390  1700  1170  5100
  0    1   1G           2500999999999999
  0    2   1G           2114999999999999
  1    3   1T           534           512          D          YN
  2    4   1T           768           733          D          YN
99999
DARE
(NN  C
(--- =
  1      Área oriunda de algum bloco de dados
99999

```

ANEXO B – ARQUIVO ANAREDE USADO NO CASO DE 9 BARRAS

```

TITU
Sistema-Teste de 9 Barras - Caso Base
DOPC IMPR
(Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E (Op) E
QLIM L CREM L CTAP L NEWT L MOCT L MOCG L MOCF L RCVG L RMON L
99999
DBAR
(No )OETGb( nome )Gl( V)( A)( Pg)( Qg)( Qn)( Qm)( Bc )( Pl)( Ql)( Sh)Are(Vf)
1 2 A BAR-1 GER1 A1030 0.178.7 10.4-122. 122. 11000
2 1 A BAR-2 GER2 A1035 -.5 150.19.24 -96. 96. 11000
3 E BAR-3 A1029-5.2 11000
4 E BAR-4 A1027-6.7 11000
5 E BAR-5 CAR1 A1012-8.9 55. 27. 11000
6 E BAR-6 CAR2 A1022 -9. 37. 18. 11000
7 E BAR-7 CAR3 A1007-11. 68. 45. 11000
8 E BAR-8 CAR4 A1019-10. 90. 35. 11000
9 E BAR-9 CAR5 A1003-13. 75. 28. 11000
99999
DLIN
(De )d O d(Pa )NcEP ( R% )( X% )(Mvar)(Tap)(Tmn)(Tmx)(Phs)(Bc )(Cn)(Ce)Ns
1 3 1 5.34 1. 300 330
2 4 1 7.68 1. 230 253
3 5 1 1.7 9.2 15.8 200 220
3 8 1 1. 8.5 17.6 200 220
4 7 1 .9 7.9 16.2 200 220
5 7 1 3.2 16.1 30.6 200 220
6 4 1 .85 7.2 14.9 200 220
6 8 1 1.1 8.4 25.6 200 220
7 9 1 1.19 10.08 20.9 200 220
8 9 1 3.9 17. 35.8 200 220
99999
DGLT
(G (Vmn) (Vmx)
A .95 1.05
99999
DARE
(Ar (Xchg) ( Identificacao da area ) (Xmin) (Xmax)
1 0. *** AREA 1 ***
99999
DGBT

```

```
(G ( kV)
A 13.8
E 230.
99999
DGGB
(G Co Es
A 0 1
E 0 1
99999
FIM
```