

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Lucas Jardim Silva

Análise e simulação de intervenções em instalações do Sistema Interligado Nacional

Florianópolis
2022

Lucas Jardim Silva

Análise e simulação de intervenções em instalações do Sistema Interligado Nacional

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Renato Lucas Pacheco, Dr.

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Lucas Jardim
Análise e simulação de intervenções em instalações do
Sistema Interligado Nacional / Lucas Jardim Silva ;
orientador, Renato Lucas Pacheco, 2022.
57 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, , Graduação em
Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Elétrica. 2. Intervenções. 3. Sistema
Interligado Nacional. 4. Anarede. 5. Fluxo de Potência. I.
Pacheco, Renato Lucas. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia Elétrica. III. Título.

Lucas Jardim Silva

Análise e simulação de intervenções em instalações do Sistema Interligado Nacional

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Elétrica” e aceito, em sua forma final, pelo Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

Florianópolis, 09 de maio de 2022.

Prof. Miguel Moreto, Dr.
Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

Banca Examinadora:

Prof. Renato Lucas Pacheco, Dr.
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Miguel Moreto, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Antonio Felipe da Cunha de Aquino, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus queridos pais e a todos aqueles que me ajudaram e me apoiaram a chegar até aqui.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Jeová Deus que por meio do seu amor, criou tudo que existe de uma maneira muito inteligente e na qual pude confirmar ainda mais durante a graduação.

Quero agradecer também ao meu orientador, o professor Renato Lucas Pacheco pelo seu apoio, confiança e disponibilidade dada para a realização deste trabalho.

Também a minha família, meu pai Eduardo, minha mãe Cleonice e minha irmã Luiza, por me ajudarem durante todos esses anos e por me incentivarem desde pequeno a estudar e a buscar mais conhecimento.

Estendo os meus agradecimentos à minha noiva Glacy, que sempre esteve comigo me trazendo alegria mesmo nos momentos mais difíceis. A conclusão desse curso deve-se muito aos incentivos dessa pessoa maravilhosa e importante na minha vida.

Por fim agradeço aos meus amigos da CGT Eletrosul, em especial a Patrícia, o Maico e o Rogério pela parceria e por todo o conhecimento passado.

“Pois ele disse: Eu nunca deixarei você e nunca o abandonarei.”

(Hebreus 13:5b)

RESUMO

Este trabalho apresenta três análises de simulações com desligamentos de equipamentos pertencentes ao Sistema Interligado Nacional. Os equipamentos que serão isolados eletricamente são, uma linha de transmissão de 138 kV que interliga a subestação de Blumenau para a subestação de Blumenau Dois, o transformador 1 de 525 kV/230 kV da subestação de Curitiba e por fim o barramento de 230 kV da subestação de Blumenau. Essas simulações estão relacionadas com os pedidos de intervenções no SIN por empresas de energia, para manutenção ou melhorias em instalações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, assim mantendo a qualidade e a continuidade da mesma. As análises de intervenções são baseadas nos critérios do procedimento de rede 2.3 do ONS – Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos. Esses procedimentos são importantes para que se escolha os melhores momentos para a realização dessas intervenções sem por em risco o Sistema Interligado Nacional. É utilizando o programa computacional Anarede para simular o fluxo de potência do SIN com esses equipamentos desligados. Será verificado que para a linha de transmissão e o barramento o melhor dia para ocorrer à intervenção é no domingo, pois a carga do sistema é menor. Para a intervenção com desligamento do transformador é possível ser realizado em dia de semana.

Palavras-chave: Fluxo de Potência. Anarede. Sistema Interligado Nacional. Intervenções

ABSTRACT

This work presents three analyzes of simulations with shutdowns of equipment belonging to the National Interconnected System. The equipment that will be electrically isolated are a 138 kV transmission line that interconnects the Blumenau substation to the Blumenau Dois substation, the 525 kV/230 kV transformer 1 of the Curitiba substation and finally the 230 kV bus from the Blumenau substation. These simulations are related to requests for interventions in the SIN by energy companies, for maintenance or improvements in electric energy generation, transmission, and distribution facilities, thus maintaining its quality and continuity. Intervention analyzes are based on the criteria of the ONS network procedure 2.3 – Assumptions, criteria, and methodology for electrical studies. These procedures are important for choosing the best moments to carry out these interventions without jeopardizing the National Interconnected System. It is using the computer program Anarede to simulate the power flow of the SIN with these equipments turned off. It will be verified that for the transmission line and for the bus the best day for the intervention to occur is on Sunday, as the system load is lower. Intervention with transformer shutdown can be carried out on weekdays.

Keywords: Power flow. Anarede. National Interconnected System. Intervention

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Estrutura de um SEP	17
Figura 2.2 – Exemplo de um sistema de potência	18
Figura 3.1 – Interface do Anarede	25
Figura 3.2 – Patamares de carga	26
Figura 3.3 – Tabela base para o Patamar de carga	27
Figura 3.4 – Parte do diagrama gráfico do SIN	28
Figura 3.5 – Localizar barra	29
Figura 3.6 – Campo de pesquisa de subestação	29
Figura 3.7 – Janela de monitoração	30
Figura 3.8 – Janela de monitoração preenchida	31
Figura 3.9 – Janela de Análise de Sensibilidade de Retirada de Circuito	32
Figura 3.10 – Janela de seleção de circuito	33
Figura 3.11 – Modelagem de carga	34
Figura 3.12 – Janela do fluxo de potência	35
Figura 4.1 – Linha BLU-BND C1	38
Figura 4.2 – Desligamento da Linha BLU-BND C1	39
Figura 4.3 – Relatório de convergência BLU-BND C1	39
Figura 4.4 – Cargas próximas da região de Blumenau Dois	40
Figura 4.5 – Desligamento LT BLU-BND C1 no dia de domingo	41
Figura 4.6 – Representação da subestação de Curitiba	42
Figura 4.7 – Desligamento TF1 SE CBA	43
Figura 4.8 – Perda do TF dois da SE CBA	44
Figura 4.9 – Relatório de convergência da perda do TF2 da SE CBA	44
Figura 4.10 – Limites Operacionais	45
Figura 4.11 – Termoelétrica de Araucária	46
Figura 4.12 – Simulação com 200 MW em Araucária	47
Figura 4.13 - Barramento de 230 kV da SE BLU	48
Figura 4.14 – Desligamento da barra de 230 kV da SE BLU	48
Figura 4.15 – Barras com tensões abaixo de 0,9 pu.	49

Figura 4.16 – Planilha com as barras menores que 0,9 pu para carga de sábado	51
Figura 4.17 – Planilha com as barras menores que 0,9 pu para carga de domingo	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Regiões e seus respectivos números

26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SIN	Sistema Interligado Nacional
Anarede	Análise de Redes Elétricas
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
Cepel	Centro de Pesquisas de Energia Elétrica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
LT	Linha de Transmissão
CA	Corrente Alternada
SE	Subestação
BLU	Subestação Blumenau
BND	Subestação Blumenau Dois
BA	Barramento
C1	Circuito um
C2	Circuito dois
CBA	Curitiba
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
TF	Transformador
RS	Rio Grande do Sul
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica

SUMÁRIO

<u>1</u>	<u>INTRODUÇÃO</u>	15
<u>1.1</u>	<u>Objetivo</u>	16
<u>1.1.1</u>	<u>Objetivo Geral</u>	16
<u>1.1.2</u>	<u>Objetivos Específicos</u>	16
<u>1.2</u>	<u>Estrutura do Trabalho</u>	16
<u>2</u>	<u>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	17
<u>2.1</u>	<u>Sistema Elétrico de Potência</u>	17
<u>2.2</u>	<u>Fluxo de Potência</u>	18
<u>2.3</u>	<u>Método de Newton – Raphson</u>	19
<u>3</u>	<u>ANAREDE</u>	25
<u>3.1</u>	<u>Modelagem e diagrama gráfico</u>	25
<u>3.2</u>	<u>Buscar subestação</u>	28
<u>3.3</u>	<u>Dados de Monitoração</u>	29
<u>3.4</u>	<u>Análise de Sensibilidade</u>	31
<u>3.5</u>	<u>Modelagem de carga</u>	33
<u>3.6</u>	<u>Execução do Fluxo de Potência</u>	34
<u>4</u>	<u>INTERVENÇÕES</u>	37
<u>4.1</u>	<u>Linhas de Transmissão</u>	37
<u>4.2</u>	<u>Transformadores</u>	41
<u>4.3</u>	<u>Barramentos</u>	47
<u>5</u>	<u>CONCLUSÃO</u>	53
	<u>REFERÊNCIAS</u>	55
	<u>APÊNDICE A – Mapa do Sistema Interligado Nacional (SIN)</u>	57

1 INTRODUÇÃO

O crescimento econômico de um país acontece por alguns fatores importantes e um destes está relacionado com o desenvolvimento do seu sistema energético. O Brasil tem um sistema grande e complexo que passa por constantes reformulações. Sendo diferente da maioria dos outros países do globo, é um país conhecido por ter um território privilegiado e assim tem como principal fonte de geração de energia as usinas hidrelétricas. A segunda maior fonte são as usinas térmicas que muitas vezes servem de complemento para a geração de energia.

Como na maior parte das vezes, os pontos de geração ficam distantes dos centros de carga, o transporte dessa energia é feita por linhas de transmissão, o que no Brasil é um sistema de transmissão e geração único e de grande extensão chamado Sistema Interligado Nacional (SIN).

O SIN é constituído por quatro subsistemas, sendo eles: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Norte e Nordeste (ONS, 2022). Possuindo milhares de quilômetros de linhas que possibilitam o intercâmbio de energia de forma confiável, sendo que para a grande maioria dos casos um mesmo centro de carga pode ser alimentado por mais de uma linha.

No SIN acontecem várias importantes intervenções relacionadas à sua expansão, a melhorias e a reforços. Sendo as intervenções um procedimento que ocasiona uma indisponibilidade ou restrição operativa no conjunto de instalações da rede de operação que gera e transmite energia elétrica para os consumidores. Mas para que essas intervenções aconteçam, certas regras precisam ser respeitadas para que se mantenha a qualidade da energia elétrica que chega aos consumidores. Uma dessas regras é chamada de critério de confiabilidade, que em casos de desligamentos junto com a perda de qualquer outro elemento do sistema, o SIN deve permanecer operando sem violar os limites de tensão e carregamento dos outros equipamentos.

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) é o órgão responsável pelo SIN sob a fiscalização da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que por meio de leilões de energia tornam agentes responsáveis por empreendimentos elétricos do SIN, como subestações, linhas de transmissão, transformadores e outros equipamentos. Para manter a coordenação e controle da geração e transmissão de energia, o ONS propõe regras nas quais são chamadas de Procedimentos de Rede. Todas as atividades feitas pelos agentes no SIN

devem ser baseadas nessas regras que se fazem necessárias para manter o fornecimento da energia elétrica. E uma dessas atividades na qual é o objetivo desse trabalho e que diariamente é realizada tanto pelos agentes quanto pelo ONS são as análises de intervenções no SIN.

Essas análises são necessárias para alocar cada intervenção no melhor dia e horário ao longo do ano, sem pôr em risco o sistema e a integridade dos seus equipamentos, mantendo a continuidade da energia entregue aos consumidores.

1.1 Objetivos

Nas seções a seguir estão descritos os objetivos deste Trabalho de Conclusão de Curso.

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é o estudo e análise do fluxo de potência do Sistema Interligado Nacional, em casos de intervenções com desligamentos baseados nos critérios que estão nos Procedimentos de Rede da ONS, utilizando o programa computacional chamado Anarede desenvolvido pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel).

1.1.2 Objetivos Específicos

Do objetivo principal, desdobram-se as seguintes metas a serem atingidas:

- a) A elaboração de um material de apoio para a utilização do Anarede.
- b) Estudos do fluxo de potência e de um método iterativo para o mesmo.
- c) Análise de intervenções com desligamentos no SIN.

1.2 Estrutura do Trabalho

O trabalho está dividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo conforme já visto traz as considerações iniciais como uma breve introdução ao tema do trabalho. O segundo capítulo apresenta a teoria do fluxo de potência e o método iterativo utilizado pelo programa computacional Anarede para a solução do fluxo de potência. O terceiro capítulo apresenta o Anarede e suas principais funções das quais serão utilizadas para as análises. O quarto capítulo traz as simulações e análises de intervenções no SIN. E por fim o último capítulo tem a conclusão do trabalho incluindo propostas de continuidade futura do mesmo.

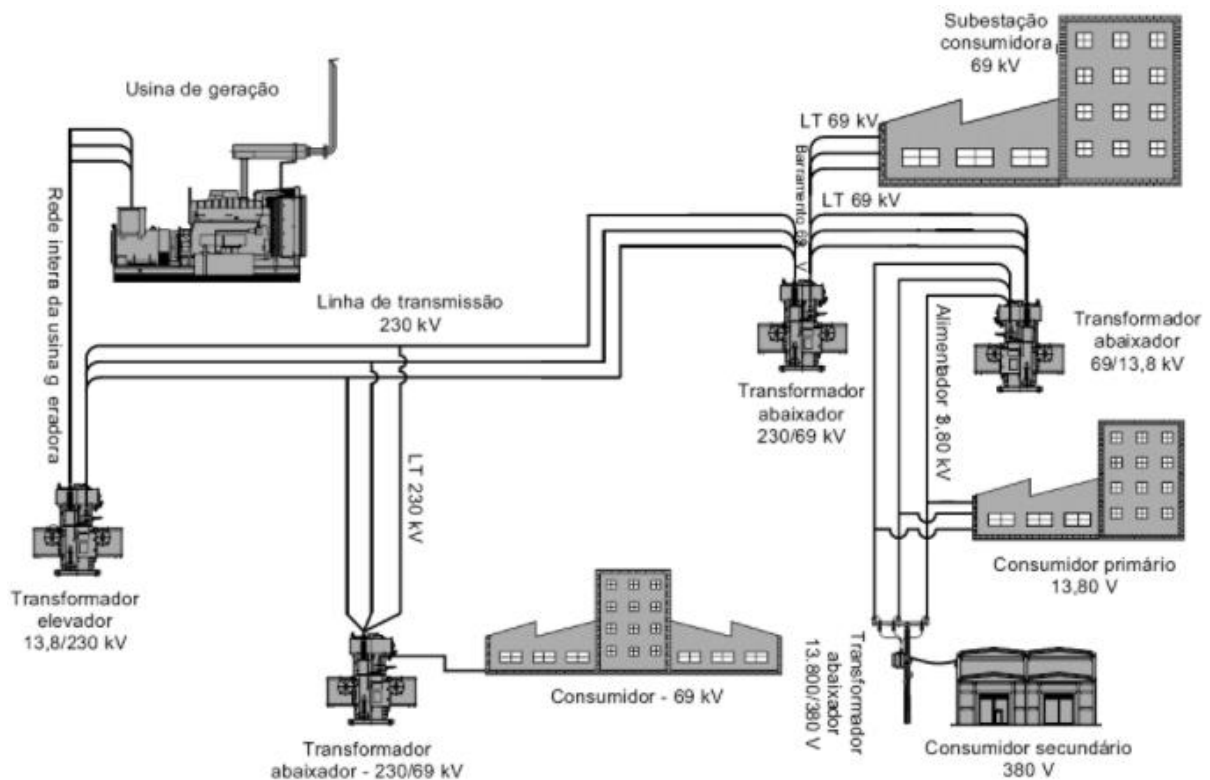
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo fazer uma revisão dos principais conceitos e fundamentos do estudo do fluxo de potência, ou também chamado de fluxo de carga.

2.1 Sistema Elétrico de Potência

O Sistema Elétrico de Potência (SEP) é definido como o conjunto de todas as usinas geradoras, linhas de transmissão e sistemas de distribuição (ZANETTA, 2006). Sua função é obter energia elétrica de alguma fonte primária natural e transporta-la aos locais de consumo. A Figura 2.1 ilustra um exemplo de estrutura de um SEP.

Figura 2.1 – Estrutura de um SEP



Fonte: MAMEDE, 2021.

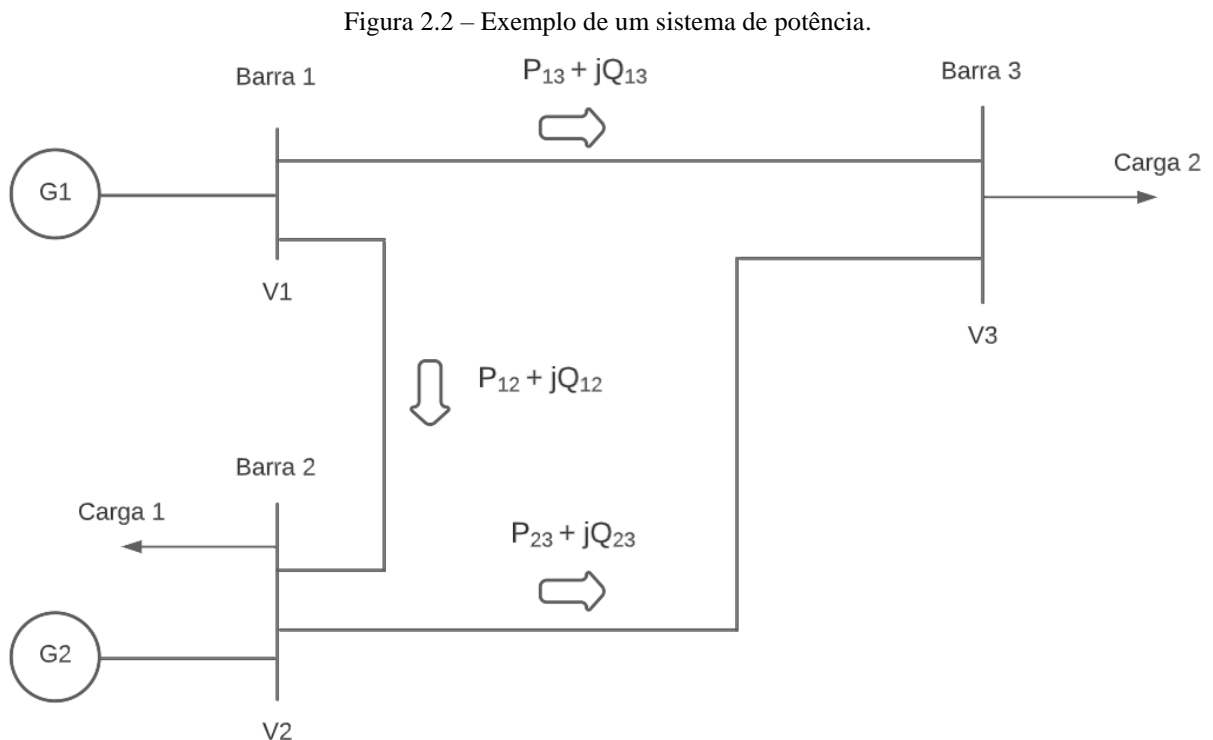
O SEP funciona com base em cinco etapas, sendo a primeira a geração de energia elétrica. As usinas de geração, como as hidrelétricas, estão localizadas geralmente mais próximas de recursos naturais, como exemplo os rios, onde acontece o aproveitamento do

desnível do terreno para transformar a queda da água em energia elétrica. A segunda etapa é a elevação da tensão através das subestações chamadas elevadoras. A terceira etapa é a transmissão na qual por meio de cabos condutores “fixados” em grandes torres se transmite a eletricidade de alta tensão. Na quarta etapa a eletricidade tem sua tensão reduzida por meio de transformadores abaixadores que se localizam nas subestações. A quinta e última etapa é a distribuição da energia elétrica para os diversos tipos de consumidores. O Sistema Interligado Nacional (SIN) é um exemplo típico de sistema de potência.

2.2 Fluxo de Potência

Um dos objetivos do estudo do fluxo de potência é o planejamento e a operação de sistemas de energia elétrica com a finalidade atender o contínuo crescimento da carga, assim como suas variações diárias (ZANETTA, 2006).

A Figura 2.2 ilustra um exemplo básico de sistema elétrico de potência, onde a principal função é entregar as potências ativas e potências reativas as cargas ligadas nas barras V2 e V3. A transmissão das potências que são geradas nas barras V1 e V2 ocorre por meio das linhas de transmissão que interligam as barras.



Fonte: Própria do autor, 2022.

Cada barra do sistema tem a tensão caracterizada por módulo e ângulo de fase, sendo assim a expressão da tensão fica $V_i = |V_i| \angle \theta_i$, sendo i o número da barra. A potência aparente complexa que flui entre a barra i até a barra j é representando por $S_{ij} = P_{ij} + jQ_{ij}$, sendo P a potência ativa e Q a potência reativa.

As representações das barras do sistema de potência no problema de fluxo de potência são caracterizadas em três diferentes tipos chamados de barra de carga, barra de geração e pelo menos uma barra no sistema denominada de referência ou slack.

a) Barra de carga ou PQ são aquelas das quais é conhecido os valores de P e Q , sendo necessário determinar os valores de V e θ . Assim como o próprio nome já as identifica, as barras PQ geralmente possuem cargas ligadas a elas. Como exemplo a barra V3 da Figura 2.2.

b) Barra de geração ou PV são aquelas das quais é conhecido os valores de P e V , sendo necessário conhecer os valores de Q e θ . Esse tipo de barra tem a capacidade de manter a magnitude da tensão constante. As barras denominadas PV podem ser identificadas por possuírem, por exemplo, um gerador ou um compensador síncrono ligado na mesma, tal como a barra V2 da Figura 2.2.

c) Barra de referência são aquelas das quais é conhecido os valores de V e $\theta = 0^\circ$, sendo necessário determinar os valores de P e Q . A barra serve de referência angular para as demais barras do sistema, além de fechar o balanço de potência. É sempre necessário existir uma barra de referência, na formulação do problema de fluxo de potência. Como exemplo a barra V1 da Figura 2.2.

Como diz MONTICELLI (2011, p.205) a partir do cálculo do fluxo é possível determinar as tensões complexas das barras, a distribuição das potências ativas e reativas que passam pelas linhas ou transformadores e entre outras grandezas de interesse.

2.3 Método de Newton – Raphson

O Anarede utiliza como método iterativo padrão o de Newton - Raphson para calcular o fluxo de potência do sistema. Este tem sido bastante confiável e é de convergência rápida se comparado com outros métodos iterativos existentes.

Para tanto, considere-se duas funções f_1 e f_2 , de duas incógnitas x_1 e x_2 , conforme (1) e (2).

$$f_1(x_1, x_2) = C_1 \quad (1)$$

$$f_2(x_1, x_2) = C_2 \quad (2)$$

onde C_1 e C_2 são constantes já conhecidas.

Se $x_1^{(0)}$ e $x_2^{(0)}$ é uma estimativa inicial da solução e $\Delta x_1^{(0)}$ e $\Delta x_2^{(0)}$ é um pequeno desvio da solução correta, obtém-se (3) e (4).

$$f_1(x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)}, x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)}) = C_1 \quad (3)$$

$$f_2(x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)}, x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)}) = C_2 \quad (4)$$

Expandindo o lado esquerdo de (3) e (4) na série de Taylor, têm-se (5) e (6).

$$f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) + \Delta x_1^{(0)} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} \Big|_{x_1^{(0)}, x_2^{(0)}} + \Delta x_2^{(0)} \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \Big|_{x_1^{(0)}, x_2^{(0)}} + \dots = C_1 \quad (5)$$

$$f_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) + \Delta x_1^{(0)} \frac{\partial f_2}{\partial x_1} \Big|_{x_1^{(0)}, x_2^{(0)}} + \Delta x_2^{(0)} \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \Big|_{x_1^{(0)}, x_2^{(0)}} + \dots = C_2 \quad (6)$$

Assumindo que os valores de $\Delta x_1^{(0)}$ e $\Delta x_2^{(0)}$ são muito pequenos, serão desprezadas as derivadas superiores à primeira ordem, pode-se descrever o sistema na forma matricial, de acordo com (7).

$$\begin{bmatrix} C_1 - f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) \\ C_2 - f_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} \end{bmatrix}_{x_1^{(0)}, x_2^{(0)}} \times \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix} \quad (7)$$

onde as derivadas parciais são calculadas em $x_1^{(0)}$ e $x_2^{(0)}$.

(7) pode ser reescrita de uma forma mais compacta, conforme (8).

$$\begin{bmatrix} \Delta C_1^{(0)} \\ \Delta C_2^{(0)} \end{bmatrix} = [J^{(0)}] \times \begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix} \quad (8)$$

onde $[J^{(0)}]$ é chamada de Matriz Jacobiana.

(8) pode ainda ser reescrita de acordo com (9).

$$\begin{bmatrix} \Delta x_1^{(0)} \\ \Delta x_2^{(0)} \end{bmatrix} = [J^{(0)}]^{-1} \times \begin{bmatrix} \Delta C_1^{(0)} \\ \Delta C_2^{(0)} \end{bmatrix} \quad (9)$$

(9) fornece uma solução para os valores de $\Delta x_1^{(0)}$ e $\Delta x_2^{(0)}$. Assim estimativas melhores para a solução das incógnitas de (1) e (2) são mostradas em (10) e (11).

$$x_1^{(1)} = x_1^{(0)} + \Delta x_1^{(0)} \quad (10)$$

$$x_2^{(1)} = x_2^{(0)} + \Delta x_2^{(0)} \quad (11)$$

Usando os valores de $x_1^{(0)}$ e $x_2^{(0)}$ no processo todo novamente, serão obtidas estimativas de soluções ainda melhores. O processo se repete até a iteração em que Δx_1 e Δx_2 se tornam menores que um determinado valor pré-estabelecido, sendo no geral 10^{-5} .

Para aplicar o método Newton – Raphson para um problema de fluxo de potência de um sistema com diversas barras, considera-se a proposição mostrada em (12).

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_N \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1N} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{N1} & Y_{N2} & \cdots & Y_{NN} \end{pmatrix} \times \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_N \end{bmatrix} \quad (12)$$

(12) é chamada de matriz de admitância de barra, onde I_N é a injeção de corrente nas barras do sistema e o V_N as tensões em cada barra. Os elementos da diagonal (Y_{NN}) representam a soma das admitâncias conectadas a uma dada barra $k = 1, 2, 3... N$. Os demais elementos (Y_{kN}) representa a negativa da soma das admitâncias conectadas entre duas determinadas barras. A injeção de corrente em uma barra k é calculada conforme (13):

$$I_k = \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \quad (13)$$

onde n representa às barras ligadas a barra k. Sendo assim a potência complexa relativa a esta barra k é dada por (14):

$$S_k = P_k + jQ_k = V_k I_k^* \quad (14)$$

Substituindo (13) em (14), tem-se (15).

$$P_k - jQ_k = V_k^* \sum_{n=1}^N Y_{kn} V_n \quad (15)$$

A tensão na barra k é calculada conforme (16).

$$V_k = V_k \angle \delta_k \quad (16)$$

Assim, a tensão na barra n que esta ligada na barra k é obtida conforme (17).

$$V_n = V_n \angle \delta_n \quad (17)$$

A soma das admitâncias conectadas entre as barras k e n é obtida com o auxílio de (18).

$$Y_{kn} = Y_{kn} \angle \theta_{kn} \quad (18)$$

Assim substituindo (16), (17) e (18) em (15), o cálculo da potência injetada pode ser obtida com o auxílio de (19).

$$P_k - jQ_k = \sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \angle (\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) \quad (19)$$

Separando as partes real e imaginária de (19) pela fórmula de Euler, obtém-se a potência ativa (20) e a potência reativa (21) injetadas na barra k.

$$P_k = \sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \cos(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) \quad (20)$$

$$Q_k = - \sum_{n=1}^N |V_k V_n Y_{kn}| \sin(\theta_{kn} + \delta_n - \delta_k) \quad (21)$$

As potências líquidas injetadas $P_{ke} = P_{kGerado} - P_{kCarga}$ e $Q_{ke} = Q_{kGerado} - Q_{kCarga}$ são designadas para todas as barras de carga do sistema, sendo estas grandezas correspondentes às constantes C_1 e C_2 de (1) e (2). Para todas as barras de carga serão estimados os valores desconhecidos de $|V|$ e δ , sendo estes correspondentes às estimativas iniciais $x_1^{(0)}$ e $x_2^{(0)}$ de (3) e (4).

Por fim, substituindo as variáveis $|V|$ e δ em (20) e (21), tem-se as equações de potência calculadas P_{kc} e Q_{kc} , que correspondem às funções $f_1(x_1^{(0)}, x_2^{(0)})$ e $f_2(x_1^{(0)}, x_2^{(0)})$ do lado esquerdo de (7). Dessa forma, obtém-se (22) e (23).

$$\Delta P_k^{(0)} = P_{ke} - P_{kc}^{(0)} \quad (22)$$

$$\Delta Q_k^{(0)} = Q_{ke} - Q_{kc}^{(0)} \quad (23)$$

A forma matricial de (7) para o problema de fluxo de potência toma a forma de (24).

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta P_N^{(0)} \\ \Delta Q_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta Q_N^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_N} & \frac{\partial P_2}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2}{\partial |V_N|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_N}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_N}{\partial \delta_N} & \frac{\partial P_N}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_N}{\partial |V_N|} \\ \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial \delta_N} & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2}{\partial |V_N|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_N}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_N}{\partial \delta_N} & \frac{\partial Q_N}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_N}{\partial |V_N|} \end{bmatrix}_{|V_N|^{(0)}, \delta_N^{(0)}, |V_2|^{(0)} \text{ e } \delta_2^{(0)}} \times \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_N^{(0)} \\ \Delta |V_2|^{(0)} \\ \vdots \\ \Delta |V_N|^{(0)} \end{bmatrix} \quad (24)$$

A barra número 1 é considerada uma barra de referência de tipo $V\theta$, então não aparece em (24). É usada para realizar o balanço das potências.

A solução para (24) é alcançada invertendo a matriz jacobiana e obtendo os valores de $\Delta \delta_k^{(0)}$ e $\Delta |V_k|^{(0)}$. Esses valores são adicionados às estimativas iniciais, conforme (25) e (26).

$$\Delta |V_k|^{(1)} = |V_k|^{(0)} + \Delta |V_k|^{(0)} \quad (25)$$

$$\Delta\delta_k^{(1)} = \delta_k^{(0)} + \Delta\delta_k^{(0)} \quad (26)$$

O processo é então repetido até que os valores das variações $\Delta|V_k|$ e $\Delta\delta_k$ sejam tão pequenos quanto se deseja.

3 ANAREDE

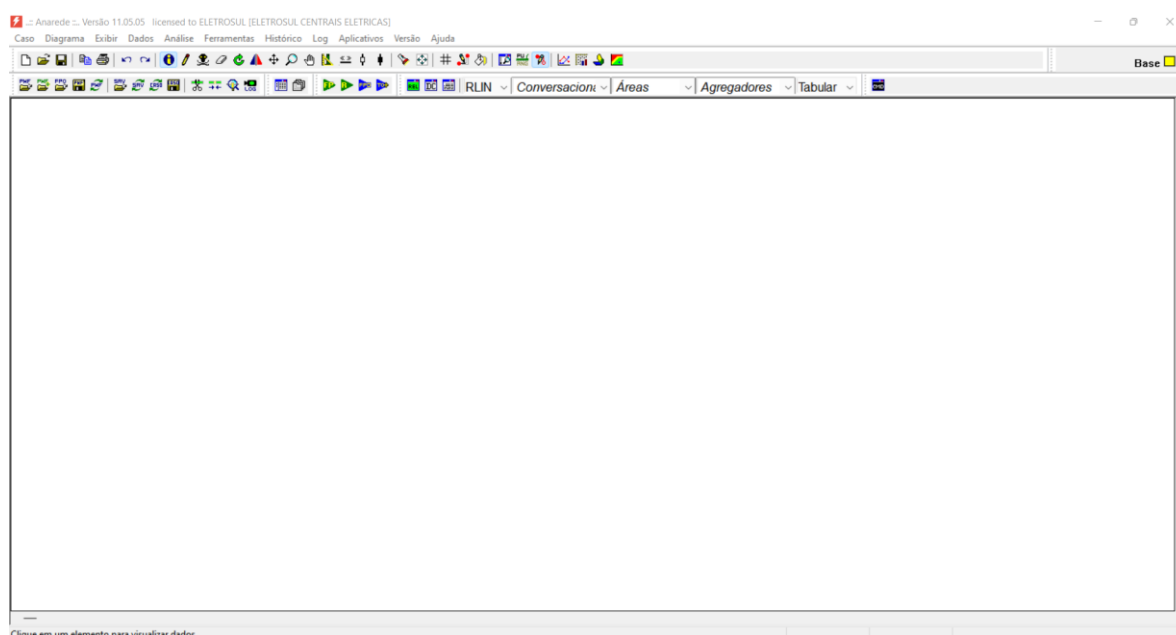
Para realizar as simulações de fluxo de potência do SIN, será utilizado o programa computacional chamado Anarede, desenvolvido pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – Cepel. O Anarede é o programa mais utilizado no Brasil para análise de Sistemas Elétricos de Potência em regime permanente (Cepel, 2018). Tanto o ONS quanto as concessionárias de energia realizam algumas de suas atividades como análise e planejamento do sistema elétrico por meio do Anarede.

Neste tópico serão apresentadas as principais funcionalidades do programa para que seja possível realizar as análises de intervenções que são o foco do capítulo quatro desse trabalho.

3.1 Modelagem e diagrama gráfico

Ao executar o programa a seguinte interface apresentada na Figura 3.1 aparecerá. O menu superior da interface tem a maior parte das funções do programa na qual será utilizada para as simulações.

Figura 3.1 – Interface do Anarede

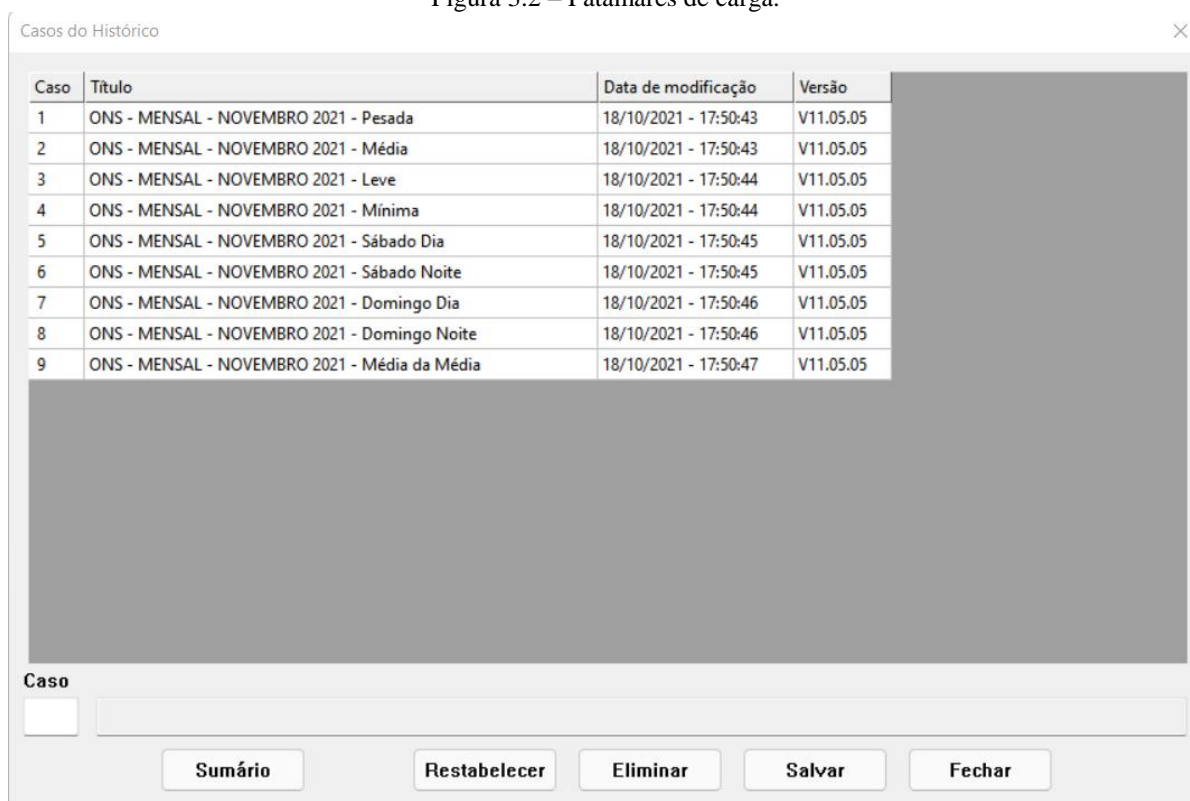


Fonte: Própria do autor, 2022.

A primeira etapa para as análises de intervenções é adicionar o chamado caso de referência, um arquivo fornecido pelo ONS como previsto nos procedimentos de rede que tem como extensão de nome .SAV, o qual pode ser carregado no programa Anarede. O arquivo apresenta como o sistema elétrico se comportará para um determinado mês do ano, ou seja, ele tem a previsão da geração das usinas, o comportamento das cargas no sistema e por fim os equipamentos que estão ou não isolados eletricamente naquele período. Nas simulações que serão realizadas no capítulo quatro são utilizados os casos de referência dos meses de novembro 2021 e dezembro 2021.

Seguindo os passos Histórico e, depois, abrir no menu superior do Anarede, o arquivo casos de referência será carregado no programa. Após esse procedimento, um quadro aparecerá com os patamares de cargas para serem selecionados, como mostra a Figura 3.2. Os patamares de carga representam um certo dia e horário da semana, isso se deve pois, a carga e a geração no sistema geralmente são diferentes dependendo do dia e da hora.

Figura 3.2 – Patamares de carga.



Fonte: Própria do autor, 2022.

A base para escolher o tipo de patamar de carga está nos procedimentos de rede da ONS, mais precisamente no submódulo 4.4 - Consolidação da previsão de carga para programação eletroenergética. A Figura 3.3 ilustra a tabela base que está presente neste submódulo.

Figura 3.3 – Tabela base para o Patamar de carga.

Patamar de carga	Maio a Agosto		Abril, Setembro e Outubro		Novembro a Março	
	2ª a 6ª feira	Sábado, domingo e feriado	2ª a 6ª feira	Sábado, domingo e feriado	2ª a 6ª feira	Sábado, domingo e feriado
Leve	01ª h à 7ª h	1ª h à 18ª h 23ª h à 24ª h	1ª h à 8ª h	1ª h à 18ª h 23ª h à 24ª h	1ª h à 8ª h	1ª h à 20ª h 24ª h
Média	8ª h à 10ª h 23ª h à 24ª h	19ª h à 22ª h	09ª h à 10ª h 21ª h à 24ª h	19ª h à 22ª h	09ª h à 10ª h 19ª h à 24ª h	21ª h à 23ª h
Pesada	11ª h à 22ª h	-	11ª h à 20ª h	-	11ª h à 18ª h	-

Fonte: Procedimentos de rede da ONS no submódulo 4.4, 2021.

Como exemplo ilustrativo, se o transformador de 138/69 kV da subestação de Florianópolis esta programado para ser desligado numa quinta-feira do mês de agosto entre os horários das 13:00h às 17:00h, o patamar de carga que deve ser escolhido para simular o fluxo de potência é o de carga pesada.

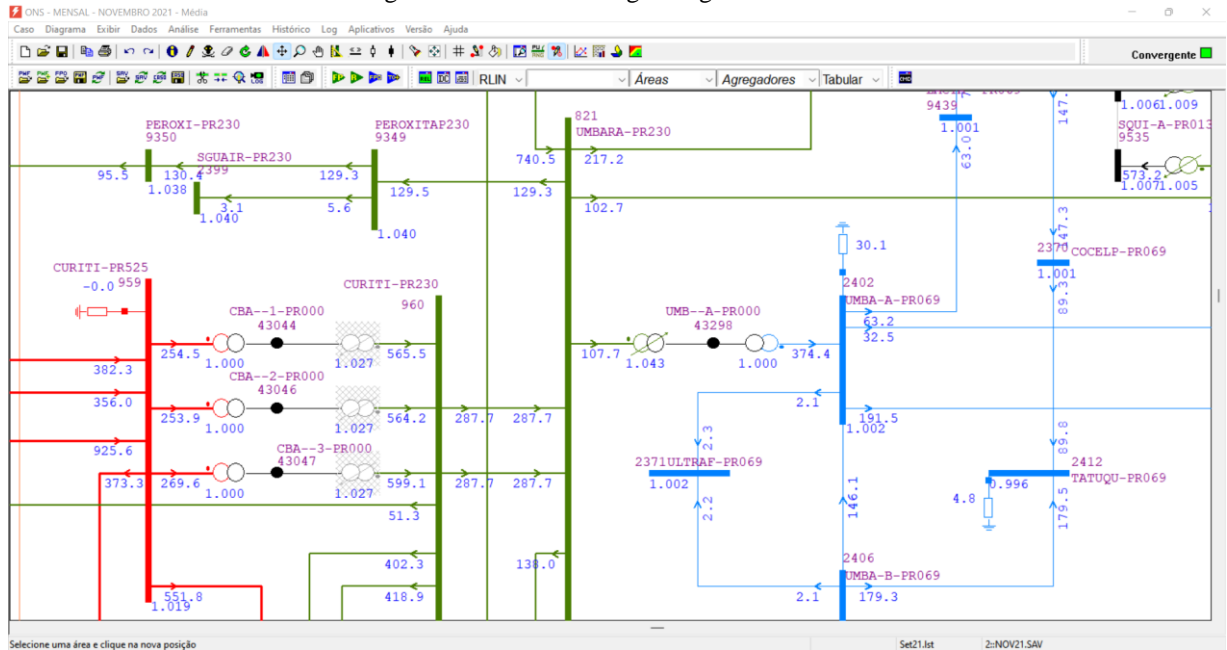
Pode ser observado que todo esse processo apresentado até o momento, tem como objetivo modelar o sistema em relação à geração e a carga, para que a simulação de desligamento feita no Anarede se torne o mais próximo possível do que irá ocorrer no sistema real, no caso o SIN.

Um exemplo interessante do porquê é essencial que se faça a modelagem correta no programa computacional é que para certas subestações, o desligamento de qualquer um dos seus transformadores seria mais prudente acontecer nos meses mais frios do ano do que aqueles que são quentes, pois nesses meses frios acontece um aumento da capacidade do sistema elétrico devido à redução de carga, podendo evitar uma sobrecarga indevida que possa danificar o equipamento. Por fim o patamar de carga deve ser selecionado e carregado através do Restabelecer na parte inferior do quadro.

Após a etapa de modelagem do sistema, o arquivo do diagrama gráfico pode ser carregado no programa. Este arquivo, com extensão de nome chamada LST, pode ser disponibilizado pelo ONS por meio de uma solicitação. Este irá apresentar em formato gráfico o Sistema Interligado Nacional (SIN). Seguindo os passos Diagrama e logo depois carregar, no menu superior do Anarede, o arquivo do diagrama será carregado no programa.

A Figura 3.4, a seguir, mostra uma parte do diagrama gráfico do SIN na região do Paraná e seu sistema modelado, com as tensões de barra, as correntes nas linhas, a geração e carga.

Figura 3.4 – Parte do diagrama gráfico do SIN.



Fonte: Própria do autor, 2022.

3.2 Buscar subestação

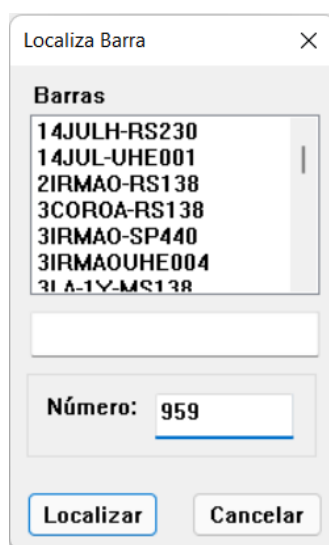
O SIN possui uma grande quantidade de equipamentos, como linhas de transmissão, transformadores e barramentos, o que torna exaustivo se para cada simulação e análise feita no Anarede precisa-se encontrar o equipamento manualmente. Assim existe um procedimento rápido para buscar uma subestação, ou melhor, a sua barra.

A partir da Figura 3.4, é possível observar que cada barra tem um número representativo. Como exemplo, a barra de 525 kV da SE Curitiba, em vermelho no canto inferior esquerdo da figura, tem como número representativo o 959.

Desse modo, conhecendo o número representativo, uma maneira rápida e que será utilizada para encontrar uma subestação é através do Localizar Barra CA no menu superior do Anarede, simbolizado com o desenho de uma lanterna.

A Figura 3.5 ilustra o buscador de barra e como proceder.

Figura 3.5 – Localizar barra.



Fonte: Própria do autor, 2022.

Mas como em muitos casos o número representativo da barra não é conhecido previamente, também será utilizada outra forma de busca. Com as letras iniciais do nome da subestação é possível preencher um campo em branco localizado no menu do Anarede, assim será possível encontrar todas as informações da subestação procurada, bem como o seu número representativo. A Figura 3.6 mostra o campo em branco preenchido com a palavra palho, ou seja, as primeiras letras da SE Palhoça.

Figura 3.6 – Campo de pesquisa de subestação.



Fonte: Própria do autor, 2022.

3.3 Dados de Monitoração

Também será muito utilizada a função de monitoração na qual tem como objetivo a indicação de uma área no SIN, para que o programa analise parâmetros importantes como, por exemplo, as tensões nas barras, o fluxo de potência, a geração e outros. E, a partir desses parâmetros, verificar a existência de sobrecargas, afundamento de tensão e entre outros

problemas que podem ocorrer nessa área devido aos desligamentos programados e suas contingências.

Cada área é representada por um estado brasileiro na qual possui um conjunto de números correspondentes. A Tabela 1.1 apresenta as regiões que serão utilizadas nesse trabalho.

Tabela 1.1 – Regiões e seus respectivos números.

Região	Números
Santa Catarina	51, 52, 53, 54
Rio Grande do Sul	1, 2, 3, 4, 5 e 6
Paraná	101, 102, 103, 104 e 105

Fonte: Própria do autor, 2022.

Seguindo o passo Dados e depois Monitoração no menu do Anarede, a seguinte janela como ilustra a Figura 3.7 aparecerá.

Figura 3.7 – Janela de monitoração

Fonte: Própria do autor, 2020.

O primeiro passo é escolher o Tipo de Monitoração, sendo que para as simulações de intervenções com desligamento no próximo capítulo será utilizado às opções de monitoração de fluxo e monitoração de tensão. A segunda parte é escolher o Tipo, onde a escolha sempre será pela palavra área, pois o objetivo é verificar se existem sobrecargas ou tensões fora dos limites na área onde irá ocorrer o desligamento. Em Número será indicado à região que

precisa ser monitorada baseada nos números da Tabela 1.1. E por fim no campo de condição será selecionado intervalo. Com os campos preenchidos a função é carregada através do Inserir e depois Aceitar na janela de comando. A Figura 3.8 demonstra um exemplo de dados de monitoração de tensão para a região de Santa Catarina.

Figura 3.8 – Janela de monitoração preenchida.

The screenshot shows a software window titled "Dados de Monitoração (DMFL, DMFL CIRC, DMGR, DMTE e DMET)". The window contains the following elements:

- Tipo de Monitoração:** Tensão (dropdown menu)
- Entry 1:**
 - Tipo: Area (dropdown)
 - Número: 51 (dropdown)
 - Nome: SC - 525 kV (dropdown)
 - Condição: Intervalo (dropdown)
- Entry 2:**
 - Tipo: Area (dropdown)
 - Número: 54 (dropdown)
 - Nome: SC - Consumidores RB (dropdown)
- Condição:** (dropdown menu)
- Empty Entry 3:**
 - Tipo: (dropdown)
 - Número: (dropdown)
 - Nome: (dropdown)
 - Condição: (dropdown)
- Empty Entry 4:**
 - Tipo: (dropdown)
 - Número: (dropdown)
 - Nome: (dropdown)
- Barras Fronteiras
- Operação:**
 - Adicionar
 - Remover
- Buttons:**
 - Selecionar...
 - Inserir
 - Alterar
 - Remover
- Bottom Buttons:**
 - Aceitar
 - Remover Tudo
 - Fechar

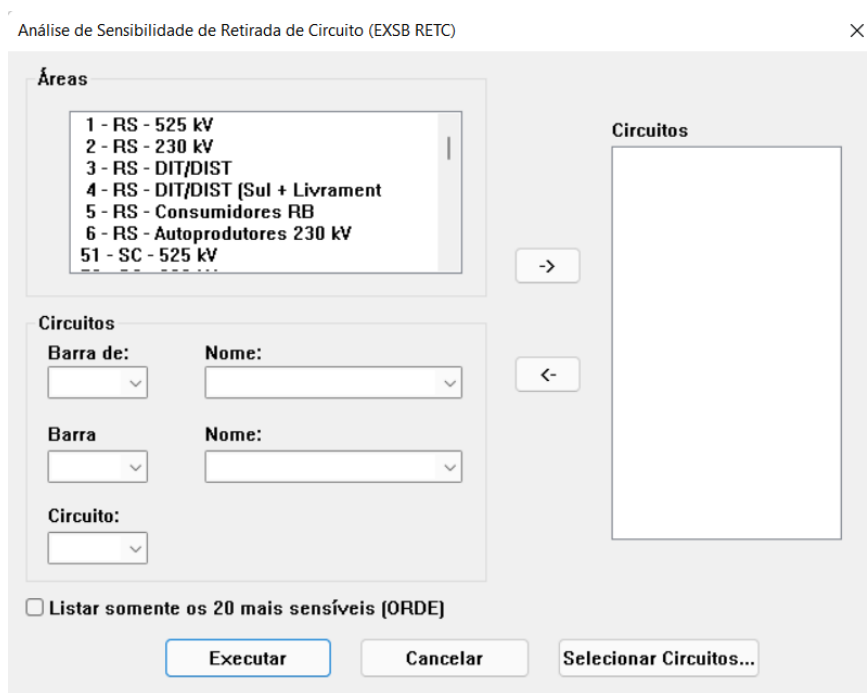
Fonte: Própria do autor, 2022.

3.4 Análise de Sensibilidade

Na análise de sensibilidade um dos objetivos é verificar quais alterações no sistema tem a maior chance de ocasionar algum problema crítico. A função que será utilizada para as simulações de intervenções é a Análise de Sensibilidade de Retirada de Circuito que calcula os circuitos que são mais sensíveis devido à retirada de uma determinada linha de transmissão e apresenta através de uma tabela suas porcentagens, sendo a maior porcentagem o circuito mais sensível. Essa funcionalidade é importante para verificar as contingências que poderiam causar maiores problemas ao SIN devido a alguma intervenção com desligamento. A análise de sensibilidade é executada através do menu superior do Anarede seguindo os passos Análise

depois Análise de Sensibilidade e por fim de Retirada de Circuito. Quando selecionado essa função a seguinte janela aparecerá como é ilustrado na Figura 3.9.

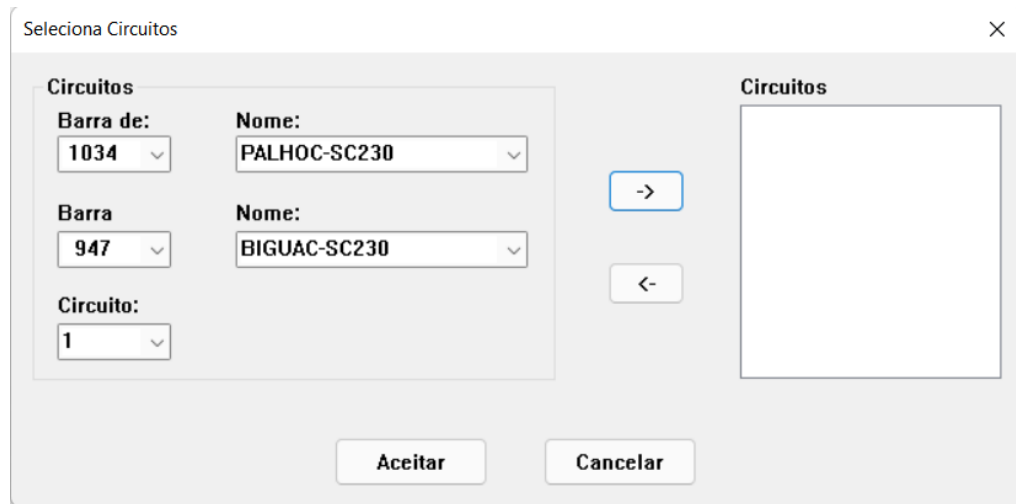
Figura 3.9 – Janela de Análise de Sensibilidade de Retirada de Circuito.



Fonte: Própria do autor, 2022.

No campo nomeado como Áreas é escolhido o conjunto de números que representam a região onde ocorrerá o desligamento, como exemplo necessita-se a retirada da linha de transmissão que interliga SE Palhoça a SE Biguaçu para a realização de uma manutenção preventiva numa certa chave seccionadora. Como essa LT está na região de Santa Catarina serão escolhidos os números de 51 a 54 no campo de Áreas. Após selecionar as áreas, com o desenho da seta direita, tudo o que foi selecionado será colocado no campo de Circuitos, onde a sensibilidade de todas as linhas da região será monitorada. Em Selecionar Circuitos será indicada a linha de transmissão que será isolada eletricamente. A Figura 3.10 ilustra o novo campo de interação que se apresentará, onde em Barra de e Barra para será escolhido as barras que são interligadas pela linha de transmissão na qual será desligada e como duas subestações podem ser interligadas por dois circuitos na qual possuem o mesmo nome é necessário indicar no campo Circuito, o número da LT, podendo ser o primeiro ou o segundo circuito. Na Figura 3.10 o exemplo é o mesmo comentado anteriormente, onde no campo Barra de foi colocado o número 1034 que representa a subestação de Palhoça e no campo Barra Para foi colocada o número 947 de Biguaçu.

Figura 3.10 – Janela de seleção de circuito.



Fonte: Própria do autor, 2022.

Em seguida, novamente através do desenho da seta direita a linha de transmissão escolhida, será colocada no bloco de Circuitos para isolamento elétrico. Por fim em Aceitar a condição é confirmada.

3.5 Modelagem de carga

O programa computacional Anarede modela o sistema com as cargas como potência constante no seu modo padrão (*default*), o que torna alguns casos de desligamentos difíceis de convergir, pois o sistema tem que manter as potências ativas e reativas na carga a mesma antes e após um equipamento ser desligado. Sendo assim o programa permite então modelar as cargas como corrente constante ou como impedância constante o que irá facilitar a convergência de casos em que a perda de um elemento importante causa a divergência no método do fluxo de potência, como é o caso dos desligamentos de barras no SIN. Seguindo os passos Dados, depois Rede CA e em seguida para Carga Equivalente e por fim por linguagem de seleção no menu superior do programa, será possível alterar a carga como impedância constante na qual esta ilustrado na Figura 3.11.

Na primeira parte é escolhida a área de cargas que se pretende modelar, sendo no exemplo as cargas da região de Santa Catarina de 51 a 54. A segunda parte é dada quatro parâmetros, sendo eles A, C e B, D que definem as parcelas de carga representadas por corrente e impedância constantes respectivamente. Então para alterar as cargas como

impedância constante é colocada nos parâmetros B e D os valores de 100% como é apresentado na Figura 3.11

Figura 3.11 – Modelagem de carga.

Dados de Carga (DCAR)

Tipo: Área Número: 51 Nome: SC - 525 kV

Condição: Intervalo

Tipo: Área Número: 54 Nome: SC - Consumidores RB

Condição

Tipo: Número: Nome:

Condição:

Tipo: Número: Nome:

Carga Ativa

A: %

B: 100 %

Carga Reativa

C: %

D: 100 %

Tensão Limite: %

Ajuste VDef (MDEF)

Operação

Inserir Alterar Remover

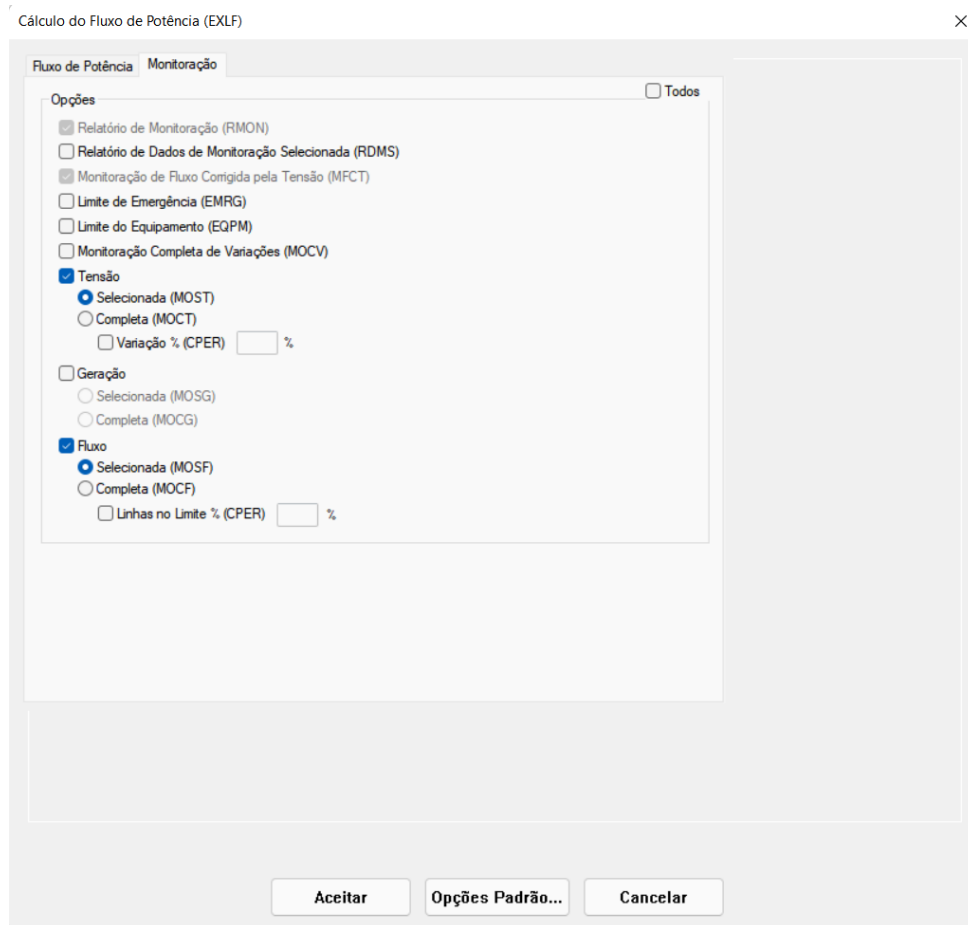
Executar Limpar Cancelar

Fonte: Própria do autor, 2022.

3.6 Execução do Fluxo de Potência

No Anarede o fluxo de potência é executado através do menu superior seguindo os passos Análise e em seguida Fluxo de Potência. O programa tem como modo padrão o método iterativo de Newton-Raphson, sendo este o utilizado para simular todas as intervenções com desligamento do capítulo quatro desse trabalho. Na janela do fluxo de potência contém uma aba chamada de monitoração, nessa aba serão marcadas as opções Tensão Seleccionada e Fluxo Seleccionada, na qual tem como objetivo mostrar no relatório de convergência as tensões de barras e os carregamentos dos equipamentos do sistema. Esse relatório de convergência é apresentado pelo programa Anarede sempre após as simulações do fluxo de potência. A Figura 3.12 ilustra a janela.

Figura 3.12 – Janela do fluxo de potência.



Fonte: Própria do autor, 2022.

4 INTERVENÇÕES

Intervenção é qualquer procedimento que ocasiona uma indisponibilidade ou restrição operativa no conjunto de instalações da rede de operação que transmite energia elétrica. Intervenções fazem parte do planejamento da operação elétrica no SIN e são solicitadas pelos agentes de geração e transmissão, que encaminham para o ONS, conforme os procedimentos de rede. As intervenções programadas são necessárias por motivos como manutenções corretivas ou preventivas, testes em equipamentos, ampliação, reforços e melhorias no sistema.

As análises de intervenções são realizadas todos os dias pelos engenheiros do ONS e pelos agentes de transmissão e de distribuição, como é o caso da CELESC, com o objetivo de garantir a integridade dos equipamentos da rede de operação e de minimizar os riscos para o sistema. As intervenções devem ser alocadas nos períodos mais convenientes, sempre visando manter a continuidade do atendimento aos usuários e a confiabilidade do sistema (Submódulo 6.5, 2009).

4.1 Linhas de Transmissão

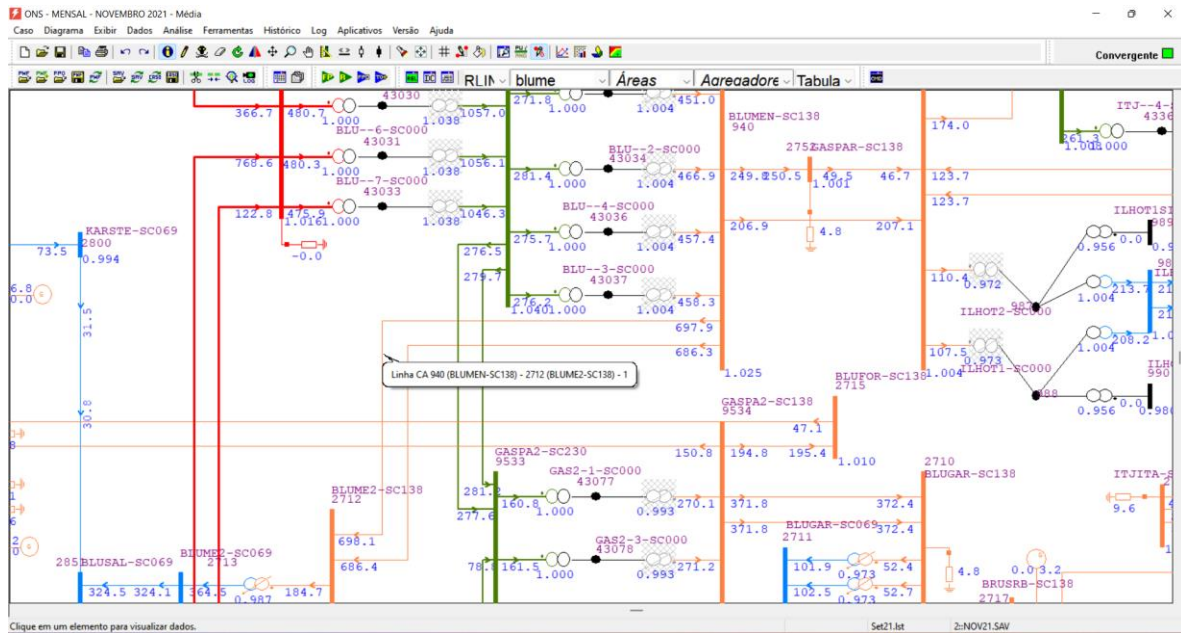
As linhas de transmissão são o meio pelo qual se transporta energia elétrica de um determinado ponto de geração, denominado fonte, até um local de carga, denominado consumidor (MAMEDE, 2005).

A seguir será analisada a simulação de um caso de intervenção no SIN com desligamento de uma linha de transmissão. A linha que será simulada é a de 138 kV que interliga a subestação Blumenau para a subestação Blumenau Dois, ou seja, a LT BLU-BND C1.

Supondo que a equipe de manutenção responsável pela subestação Blumenau-SC necessita que a linha de transmissão Circuito 1, que interliga as subestações Blumenau e Blumenau Dois, seja isolada do sistema elétrico para que haja uma substituição do transformador de potencial da fase A. E que essa intervenção está programada para acontecer no dia 9 de novembro de 2021, uma terça-feira. A equipe pretende desligar a linha entre os horários das 9h até às 16h. Sendo assim, com base no quadro da Figura 3.3, para simular essa intervenção com desligamento, será utilizado o tipo de carga média e pesada.

A Figura 4.1 apresenta uma parte do sistema de potência da região onde está localizada a subestação Blumenau, mais especificamente as duas linhas que interligam as subestações Blumenau e Blumenau Dois, sendo os valores estando em amperes. No programa, o Circuito 1 possui uma corrente de 697,9 A e o Circuito 2 tem uma corrente de 686,3 A.

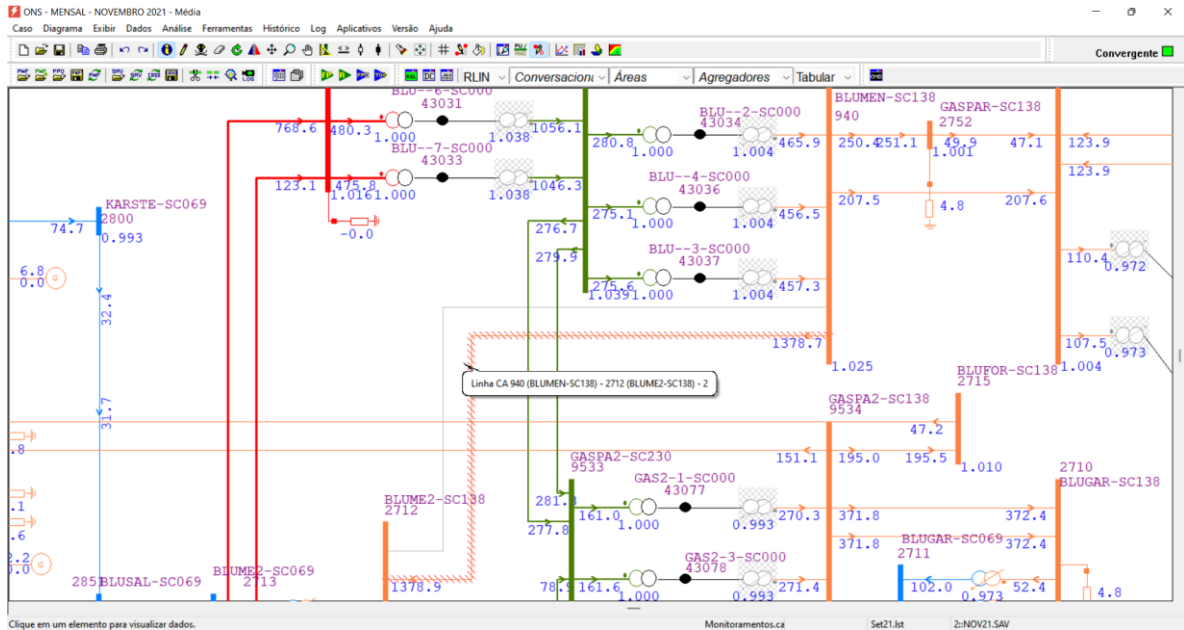
Figura 4.1 – Linha BLU-BND C1.



Fonte: Própria do autor, 2022.

Fazendo uma análise prévia do caso, pode-se dizer que, ao se retirar o Circuito 1, o fluxo de potência irá se rearranjar e mais corrente poderá passar pelo Circuito 2 para poder “alimentar” as cargas próximas a Blumenau dois. Na Figura 4.2, onde os valores estão em amperes, foi desligada a linha programada BND-BLU C1 e simulado o fluxo de potência. Por causa da retirada dessa linha, a LT BND-BLU C2 ficou em sobrecarga, hachurada no Anarede, com uma corrente de 1378,7 A, sendo este valor de corrente maior do que a linha pode suportar. No SIN não é permitido que qualquer desligamento simples como o de um equipamento cause adversidades como sobrecarga ou tensões fora do limite em outros equipamentos do sistema, como é especificado pelo Procedimento de rede 2.3 do ONS (2021) que diz: “4.2.1.1. - Uma solicitação de intervenção deve ser aprovada quando atender aos seguintes requisitos: d) não podem ocorrer violações, em regime, de limites operativos definidos para condição normal de operação em qualquer elemento na Rede de Operação”. A Figura 4.3 apresenta o relatório de simulação do fluxo de potência ao se retirar a linha de transmissão requerida.

Figura 4.2 – Desligamento da Linha BLU-BND C1.



Fonte: Própria do autor, 2022.

Figura 4.3 – Relatório de convergência BLU-BND C1.

CEPEL - CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELETRICA - PROGRAMA DE ANALISE DE REDES - V11.05.05

ONS - MENSAL - NOVEMBRO 2021 - Média
 MONITORACAO DE TENSÃO SELECIONADA

NUM.	BARRA NOME	ARE	TENSÃO			VIOLACAO (PU)	SHUNTBAR (Mvar)	SHUNTLIN (Mvar)	SEVERIDADE
			MIN	MOD.	MAX				
1237	MONTEN-RS138	3	0.950	0.948	1.050	-0.002	7.20	*	
2854	BNSBAS-SC138	53	0.950	0.947	1.050	-0.003		*	
10016	CEGERO-SC138	53	0.950	0.947	1.050	-0.003		*	
9923	CERBRA-SC138	53	0.950	0.947	1.050	-0.003		*	
1307	PANAM--RS069	3	0.950	0.946	1.050	-0.004		*	
2352	GUARICPCH013	103	0.950	0.942	1.050	-0.008		*	
1847	NAVIRA-MS138	103	0.950	0.936	1.050	-0.014		**	

----- IND SEVER. 3.2 -----

MONITORACAO DE FLUXOS SELECIONADOS CORRIGIDOS PELA TENSÃO - MFCT

DA BARRA NOME	PARA BARRA NOME	NC	MW	FLUXOS Mvar	VIOLACAO MVA/V	CARREGAMENTO MVA	SEVERIDADE
2712	940						115.24 %
BLUME2-SC138	BLUMEN-SC138	2	-326.9	-81.6	329.6	43.6	**
1185	1182						122.38 %
ALEGR2-RS069	ALEGRE-RS069	1	58.6	-9.3	58.7	10.7	***
9214	1257						106.91 %
CANOA3-RS138	CINPAL-RS138	1	-149.9	-35.6	152.9	9.9	*
2854	2821						101.68 %
BNSBAS-SC138	ORLEAN-SC138	1	-75.0	-35.0	87.4	1.4	*
1888	1878						105.21 %
LDCBRIBIO013	LDCRBR-MS138	1	25.0	-5.9	26.3	1.3	*
1888	1878						105.21 %
LDCBRIBIO013	LDCRBR-MS138	2	25.0	-5.9	26.3	1.3	*
1138	1861						101.58 %
SIDROL-MS138	SIDROL-MS013	1	11.2	5.4	12.2	0.2	*
1307	1301						100.56 %
PANAM--RS069	CALTA1-RS069	1	-21.5	-4.0	23.1	0.1	*

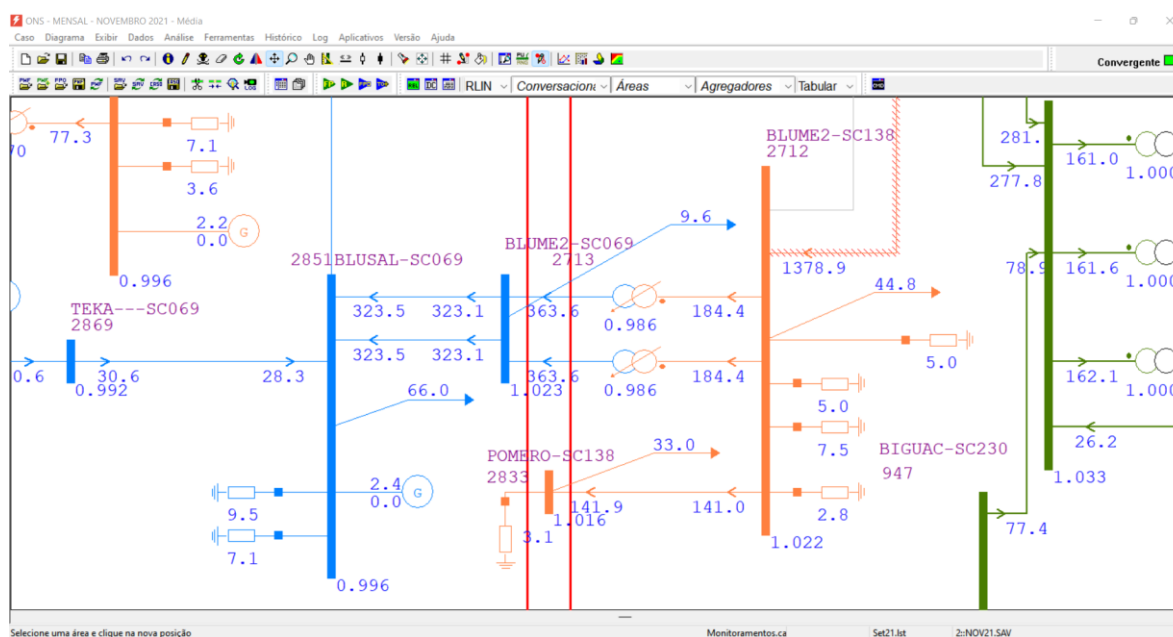
----- IND SEVER. 9.3 -----

Fonte: Própria do autor.

No relatório de convergência é importante observar duas informações importantes. A primeira é que o Circuito 2 ficou com uma sobrecarga de 15,24% (carregamento de 115,24%) o que não é muito alto, podendo-se dizer que a linha não passou muito além do seu limite suportado. E a segunda informação importante é que já existem, no próprio caso do Anarede, circuitos em sobrecarga como, por exemplo, no RS, com 122,38% de carregamento, mas que não é causada pelo desligamento da LT BLU-BND C1. É importante sempre verificar, antes de qualquer desligamento, as linhas do sistema que já estão em sobrecarga ou as barras que já estão com os seus limites de tensão fora do padrão requisitado, para não sobrepor sobrecargas e/ou tensões fora dos limites.

A sobrecarga que aconteceria nessa intervenção se deve principalmente à grande quantidade de carga na região de Blumenau Dois, como é ilustrado na Figura 4.4.

Figura 4.4 – Cargas próximas da região de Blumenau Dois.

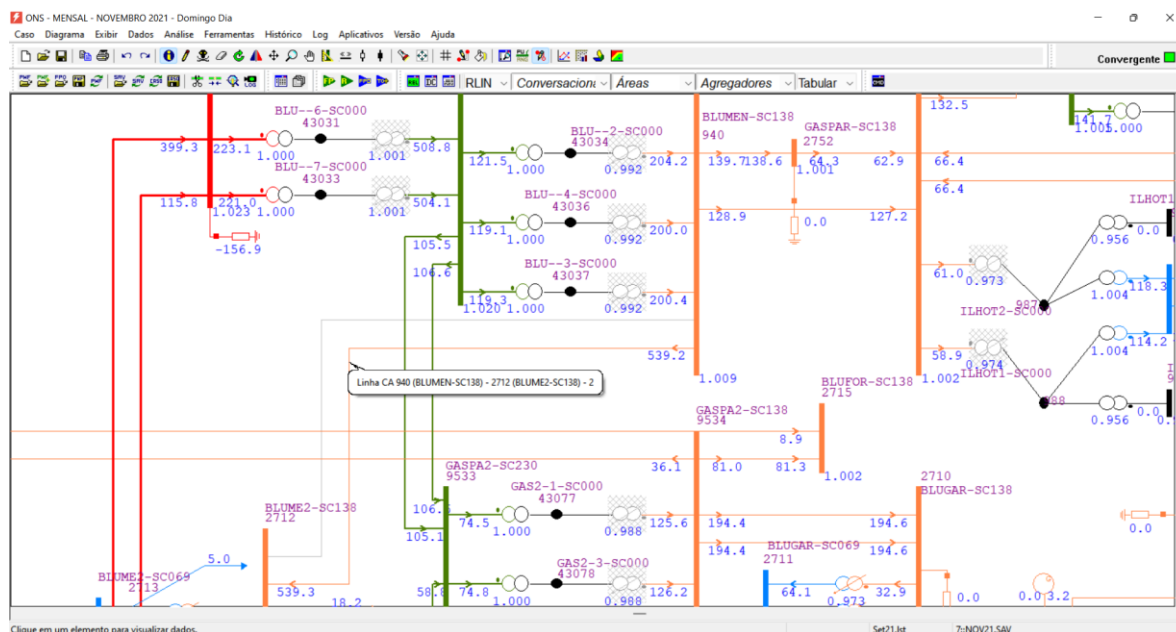


Fonte: Própria do autor, 2022.

No programa computacional Anarede, as cargas são representadas por uma seta saindo do barramento e, no caso que está sendo analisado, a soma das cargas é em torno de 153,4 MW. Como visto, para carga média não será possível à realização dessa intervenção, mas poderá ser verificado se é possível no dia de domingo, onde as cargas são menores, exigindo menos do sistema. Todavia, isso tem o custo de pagar horas extras aos trabalhadores da manutenção, o que nenhuma empresa gostaria, pois é um dinheiro considerável. A Figura

4.5, com valores em amperes, ilustra o desligamento novamente do Circuito 1 mas no dia de domingo.

Figura 4.5 – Desligamento LT BLU-BND C1 no dia de domingo.



Fonte: Própria do autor, 2022.

Como mostra a Figura 4.5, é possível verificar que não houve sobrecargas, principalmente no Circuito 2, que ficou com um carregamento de 539,2 A. Essa intervenção com desligamento, a princípio, poderá acontecer no dia de domingo, baseada na simulação de fluxo de potência realizada no Anarede, faltando apenas analisar as contingências que, por motivo didático, será apresentada apenas nas próximas sessões desse trabalho.

4.2 Transformadores

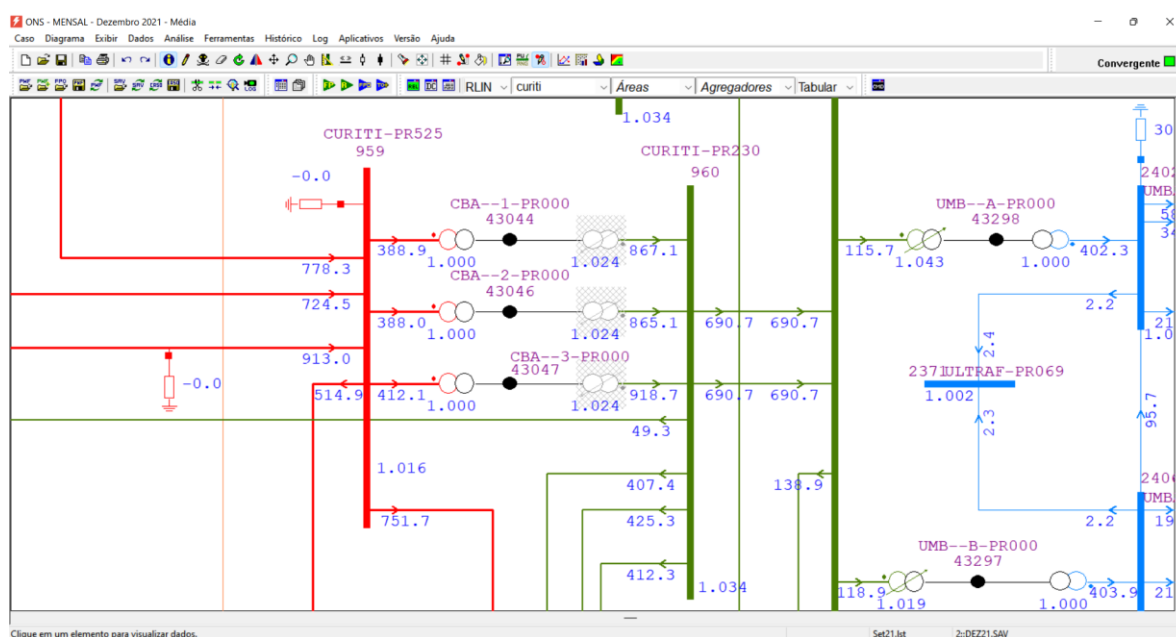
O transformador é um equipamento que, por meio de indução eletromagnética, transfere energia de um circuito, chamado primário, para outro circuito, denominado secundário, mantendo a mesma potência, porém com tensões e correntes diferentes (MAMEDE, 2005).

Agora será analisada uma intervenção com desligamento de um transformador que, no caso, é o Transformador 1 de 525 kV/230kV de tensão, da subestação de Curitiba, ou seja TF1 SE CBA.

Em certos momentos da vida útil de um transformador, é necessário verificar, por exemplo, o nível de óleo do mesmo, contudo para que isso aconteça, é preciso isolar eletricamente esse transformador do sistema do qual ele faz parte. Suponha-se que a equipe de manutenção da SE Curitiba precisa verificar o nível de óleo do Trafo 1 no dia 06 de dezembro de 2021, uma segunda-feira. Essa intervenção vai acontecer apenas na parte da manhã, entre os horários das 9h até às 11h, ou seja, um horário comercial. Com base na Tabela da ONS ilustrada na Figura 3.3, a carga que deve ser escolhida no Anarede para essa simulação é a carga média de dezembro.

A Figura 4.6, com valores de corrente em amperes, apresenta a subestação de Curitiba com seus três transformadores interligando a barra de 525 kV e a barra de 230 kV. Os transformadores 1, 2 e 3 estão carregados com 867,1 A, 865,1 A e 918,7 A, no lado de baixa, respectivamente.

Figura 4.6 – Representação da subestação de Curitiba.



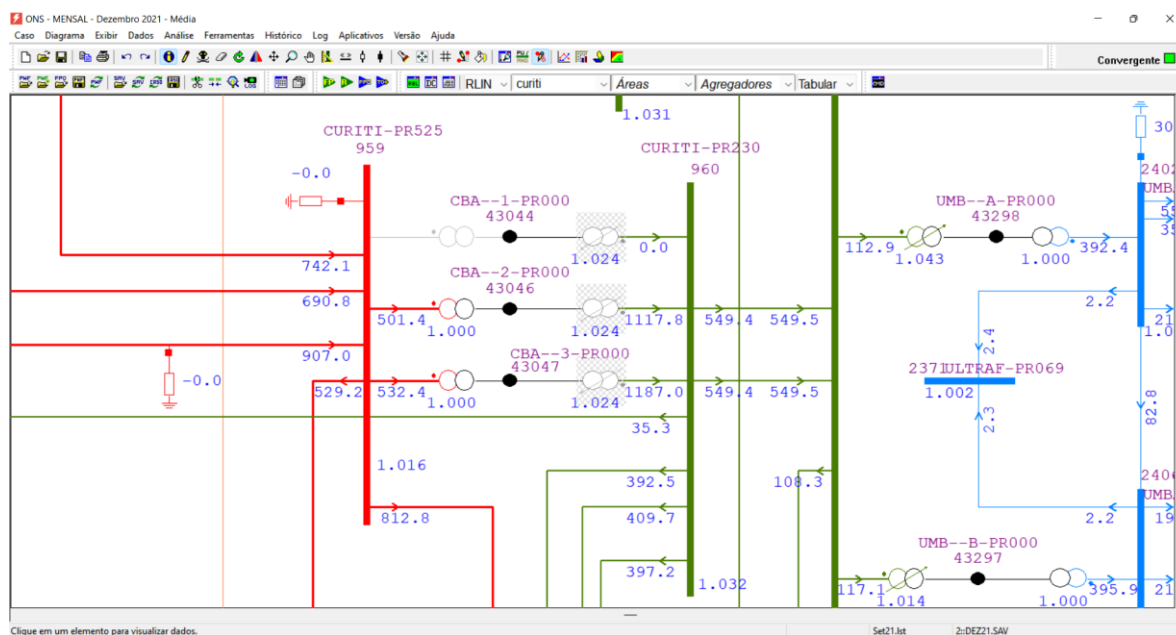
Fonte: Própria do autor.

A análise prévia desse caso supõe que, ao desligar o transformador 1, os outros dois transformadores passem a ter uma corrente maior, devido ao fluxo que vem das linhas da região de 525 kV, em vermelho, e vai para o barramento de 230 kV, em verde, como pode ser observado na Figura 4.6.

A Figura 4.7 mostra o desligamento do transformador 1 de 525kV/230kV e a simulação do fluxo de potência. Verifica-se que, apesar desse desligamento, não existiu

sobrecarga nos transformadores 2 e 3, embora tenham tido um aumento de corrente, e ficando com 1117,8 A e 1187 A no lado de 230 kV, respectivamente.

Figura 4.7 – Desligamento TF1 SE CBA.



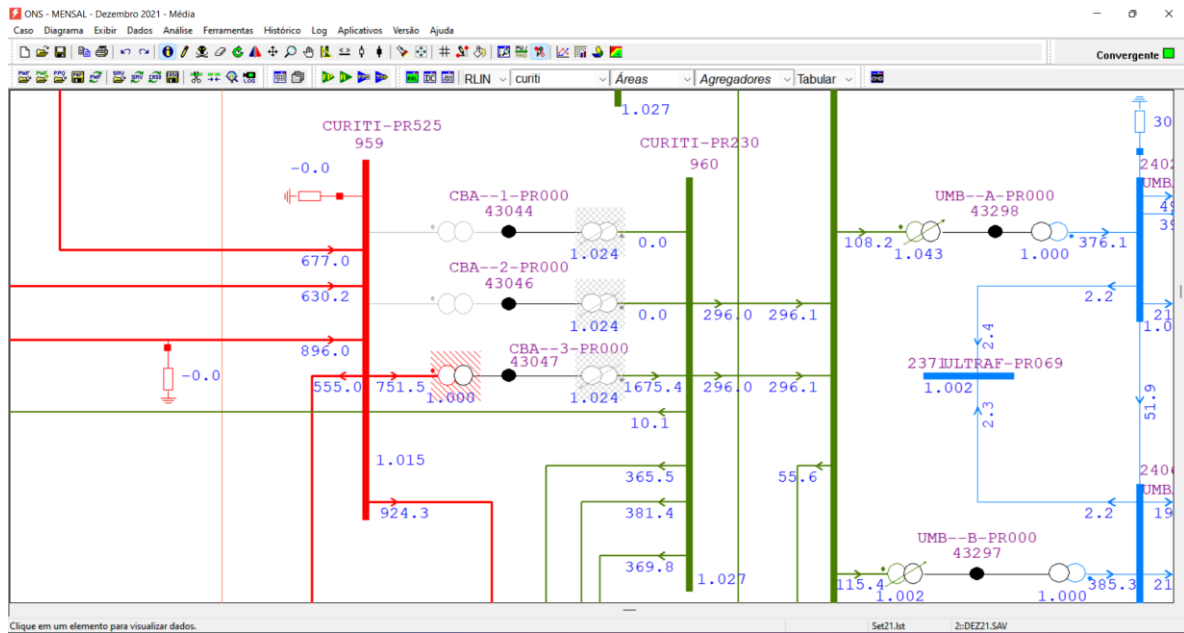
Fonte: Própria do autor, 2022.

A primeira análise foi feita com sucesso, mas ainda é preciso verificar e simular a perda de mais um equipamento, na chamada de análise de contingência, como diz no Procedimento de rede 2.3 do ONS (2021) “2.2.2.1. Os estudos de fluxo de potência devem abranger, além da condição operativa normal, a análise de contingências de transformadores e outros equipamentos do sistema elétrico, com o objetivo de definir as ações necessárias para o SIN operar sem violar os limites de tensão e carregamento.”

A pior contingência, para esse caso, seria a perda de outro transformador de 525 kV/230kV da mesma subestação, pois isso deixaria a SE Curitiba operando no sistema com apenas um desses equipamentos. A Figura 4.8 apresenta, em amperes, o desligamento do Transformador 2 da SE CBA. Assim, é possível observar que o Transformador 3 ficou em sobrecarga, hachurado no Anarede, com um carregamento de 1675,4 A no lado de baixa. A Figura 4.9 apresenta o relatório de convergência, onde o TF 3 está com o carregamento de 101,69%, ou seja, uma sobrecarga de 1,69%, sendo essa uma porcentagem muito pequena, estando muito próxima do seu limite de condição normal de operação. Como não se pode

saber exatamente como estará à carga no dia da intervenção, podendo ela estar maior ou até mesmo menor do que no caso do Anarede, ou seja, não existindo essa sobrecarga no transformador 3 da subestação de Curitiba, deve-se considerar a sobrecarga e continuar analisando o caso.

Figura 4.8 – Perda do TF dois da SE CBA.



Fonte: Própria do autor, 2022.

Figura 4.9 – Relatório de convergência da perda do TF2 da SE CBA.

CEPEL - CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELETRICA - PROGRAMA DE ANALISE DE REDES - V11.05.05

ONS - MENSAL - Dezembro 2021 - Média
MONITORACAO DE TENSAO SELECIONADA

NUM.	BARRA	NOME	ARE	MIN	TENSÃO MOD.	MAX	VIOLACAO (PU)	SHUNTBAR (Mvar)	SHUNTLIN (Mvar)	SEVERIDADE
998	PAMPASUTE001	1	0.950	0.950	1.050	0.000	5.00			*
1307	PANAM--RS069	3	0.950	0.950	1.050	-0.000				*
812	SEMPAC--PR138	103	0.950	0.948	1.050	-0.002				*
2877	SCMBRI--SC069	53	0.950	0.940	1.050	-0.010	9.60			*
2352	GUARICPCHO13	103	0.950	0.940	1.050	-0.010				**
1237	MONTEN-RS138	3	0.950	0.933	1.050	-0.017	7.20			**

----- IND SEVER. 4.9 -----

MONITORACAO DE FLUXOS SELECIONADOS CORRIGIDOS PELA TENSÃO - MFCT

DA BARRA	PARA BARRA	NC	MW	FLUXOS Mvar	VIOLACAO MVA/V	CARREGAMENTO %	SEVERIDADE
43047	959	3	-683.5	-42.0	683.4	11.4	* 101.69 %
CBA--3-PR000	CURITI-PR525	3	683.5	42.0	683.4	11.4	* 101.69 %
CBA--3-PR000	CURITI-PR230	3	683.5	42.0	683.4	11.4	* 107.80 %
CRUZAL-RS138	CALTA1-RS069	1	55.1	7.6	58.2	4.2	* 106.90 %
PBRANC-PR013	PBRANC-PR138	1	-44.4	3.2	43.8	2.8	* 106.90 %

----- IND SEVER. 4.4 -----

Fonte: Própria do autor, 2022.

Mesmo estando em sobrecarga, é possível verificar se o transformador 3 admite um certo carregamento além do seu limite padrão, por um determinado período de tempo. No Manual de Procedimento da Operação, submódulo 5.11, que é encontrado no site do ONS, há o cadastro de informações operacionais de limites de equipamentos do SIN. Nesse documento, como é ilustrado na Figura 4.10, é verificado se é possível que o transformador 3 fique em sobrecarga pelo tempo em que acontecerá a intervenção.

Figura 4.10 – Limites Operacionais

ONS Operador Nacional do Sistema Elétrico

Manual de Procedimentos da Operação - Módulo 5 - Submódulo 5.11

Cadastro de Informações Operacionais	Código	Revisão	Item	Vigência
Cadastro de Limites Operacionais de Linhas de Transmissão e Transformadores da Área 525 kV da Região Sul	CD-CT.S.5SU.02	73	2.2.5	25/02/2022

Limites de Condição de Emergência de Curta Duração			
Enrolamento (kV)	Valor operacional (A)	Duração (Hh:mm)	Fator limitante
230	NP	-	Eletrização Estática
525	NP	-	Eletrização Estática

5.27. SE CURITIBA – TRANSFORMADOR TF 3 525/230/13,8 KV

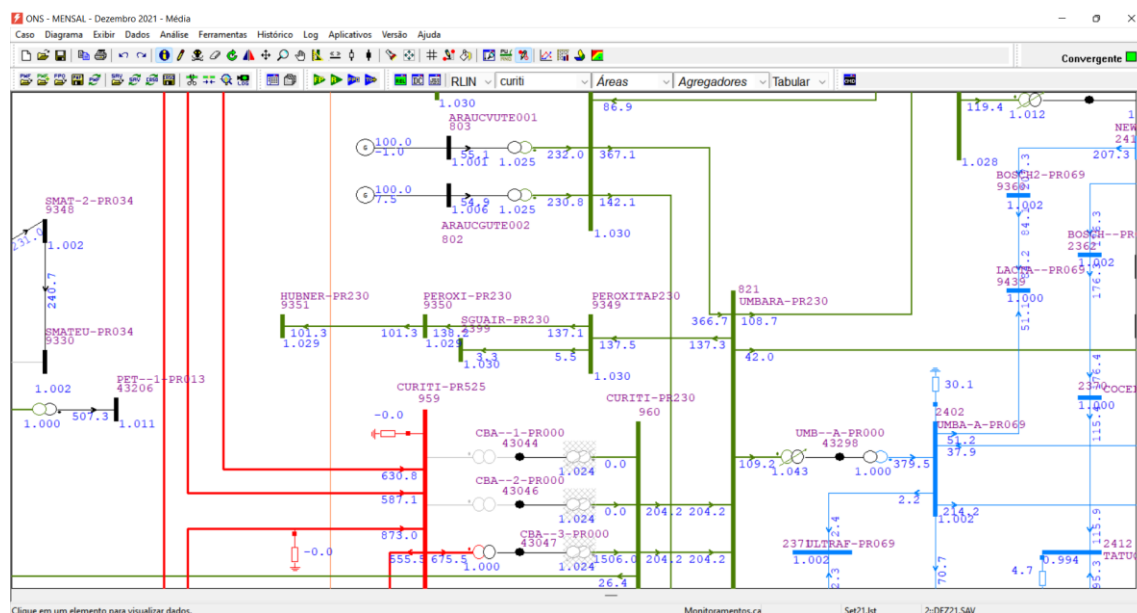
Limites de Condição Normal de Operação		
Enrolamento (kV)	Valor operacional (A)	Fator limitante
230	1.687	-
525	739	-

Limites de Condição de Emergência de Longa Duração			
Enrolamento (kV)	Valor operacional (A)	Duração (Hh:mm)	Fator limitante
230	NP	-	Não informado.
525	NP	-	Não informado.

Fonte: Submódulo 5.11 do ONS, 2022.

A tabela de Limites de Condição de Emergência de Longa Duração, da Figura 4.10, mostra que, no valor operacional, não é permitida (NP) sobrecarga no transformador 3, nem mesmo por um determinado período de tempo.

Figura 4.12 – Simulação com 200 MW em Araucária.



Fonte: Própria do autor, 2022.

4.3 Barramentos

As subestações são dotadas de barramentos nos quais são conectados, tanto os circuitos alimentadores, como os circuitos de distribuição, incluindo-se os transformadores de potência, banco de capacitores e outros equipamentos. (MAMEDE, 2021).

Será analisada a simulação de uma intervenção com desligamento de barra. A barra que será isolada eletricamente do SIN é a da subestação de Blumenau de 230 kV, ou seja, a BA 230kV SE BLU.

Supondo que a equipe de manutenção, responsável pela subestação de Blumenau, precisa desligar a barra de 230 kV para verificar uma falha mecânica que está acontecendo com duas chaves sequeccionadoras da linha de transmissão que interliga Blumenau a Itajaí. Essa intervenção está marcada para acontecer entre as 13h e às 18h do dia 27 de novembro de 2021, um sábado. Com base na tabela da Figura 3.3, a carga que deve ser escolhida para realizar a simulação da intervenção é a carga de sábado leve.

A Figura 4.13, em amperes, mostra a barra de 230 kV da SE Blumenau, onde seis linhas de transmissão e sete transformadores utilizam o barramento como nó. Trata-se de uma subestação bastante importante para o SIN na região sul do Brasil.

Na Figura 4.14, toda a região próxima da subestação de Blumenau teve um “afundamento” de tensão, ou seja, uma diminuição dos valores de tensão. No relatório de convergência do caso na Figura 4.15, apresenta todas as barras que tiveram as suas tensões abaixo de 0,9 pu após o desligamento da barra.

Figura 4.15 – Barras com tensões abaixo de 0,9 pu.

2723	CAMBMB-SC138	53	0.950	0.898	1.050	-0.052	4.80	*****	
2726	CEB-1Y-SC138	53	0.950	0.898	1.050	-0.052		*****	
986	ILHOTA-SC069	53	0.950	0.898	1.050	-0.052		*****	
2898	WEGFUN-SC138	53	0.950	0.894	1.050	-0.056		*****	
2775	ITAJFZ-SC138	53	0.950	0.890	1.050	-0.060	12.00	*****	
2776	ITAJSA-SC069	53	0.950	0.888	1.050	-0.062	3.60	*****	
2717	BRUSRB-SC138	53	0.950	0.886	1.050	-0.064	21.60	*****	
2830	PICARR-SC138	53	0.950	0.884	1.050	-0.066	12.00	*****	
2757	BRUSQ3-SC138	53	0.950	0.881	1.050	-0.069	4.80	*****	
2718	BRUSQU-SC138	53	0.950	0.878	1.050	-0.072	14.40	*****	
992	ITAJAI-SC138	53	0.950	0.877	1.050	-0.073		*****	
985	ILHOTA-SC138	53	0.950	0.876	1.050	-0.074		*****	
2754	GUARMI-SC138	53	0.950	0.874	1.050	-0.076	1.20	*****	
2894	WEG---TAP138	53	0.950	0.873	1.050	-0.077		*****	
2895	WEG---SC138	53	0.950	0.873	1.050	-0.077		*****	
2778	ITJITA-SC138	53	0.950	0.873	1.050	-0.077	9.60	*****	
2783	JARAGU-SC138	53	0.950	0.871	1.050	-0.079	6.60	*****	
991	ITAJAI-SC230	52	0.950	0.871	1.050	-0.079		*****	
2752	GASPAR-SC138	53	0.950	0.870	1.050	-0.080	4.80	*****	
10197	MAL-1Y-SC138	53	0.950	0.869	1.050	-0.081		*****	
2811	MAL-2YTAP138	53	0.950	0.869	1.050	-0.081		*****	
2809	MALWEE-SC138	53	0.950	0.869	1.050	-0.081		*****	
2777	ITJSAL-SC138	53	0.950	0.869	1.050	-0.081		*****	
10199	JRL-2Y-SC138	53	0.950	0.869	1.050	-0.081		*****	
10198	JRL-1Y-SC138	53	0.950	0.869	1.050	-0.081		*****	
2784	JARRLU-SC138	53	0.950	0.869	1.050	-0.081	4.80	*****	
2815	NAVEGA-SC138	53	0.950	0.867	1.050	-0.083	14.40	*****	
10183	NGSPNE-SC138	53	0.950	0.867	1.050	-0.083		*****	
10184	PNENGS-SC138	53	0.950	0.867	1.050	-0.083		*****	
2781	PTONAV-SC138	53	0.950	0.867	1.050	-0.083		*****	
940	BLUMEN-SC138	53	0.950	0.863	1.050	-0.087		*****	
9983	CAMBOR-SC138	53	0.950	0.862	1.050	-0.088	14.40	*****	
2712	BLUME2-SC138	53	0.950	0.862	1.050	-0.088	7.50	*****	
2833	POMERO-SC138	53	0.950	0.861	1.050	-0.089	3.00	*****	
990	ILHOT2SIN001	53	0.950	0.855	1.050	-0.095		*****	
989	ILHOT1SIN001	53	0.950	0.855	1.050	-0.095		*****	
----- IND SEVER.		2337.1	-----						

Fonte: Própria do autor, 2022.

A razão é que fluxo de potência que alimentava as cargas ligadas às tensões de 138 kV e 69 kV chegava principalmente pelas linhas de transmissão da tensão de 525 kV da subestação de Blumenau, o que deixou de acontecer ao desligar a barra por causa da intervenção.

O Quadro 4.1 apresenta os valores de tensões admissíveis nos estudos elétricos, o qual foi retirado do Procedimento de Rede 2.3 da ONS.

Quadro 4.1 – Valores de tensão admissíveis no SIN.

Tensão nominal de operação ⁽¹⁾	Condição operativa normal		Condição operativa sob contingências	
	(kV)	(pu) ⁽²⁾	(kV)	(pu) ⁽²⁾
< 230	–	0,95 a 1,05	–	0,90 a 1,05
230	218 a 242	0,95 a 1,05	207 a 242	0,90 a 1,05
345	328 a 362	0,95 a 1,05	311 a 362	0,90 a 1,05
440	418 a 460	0,95 a 1,046	396 a 460	0,90 a 1,046
500	500 a 550	1,00 a 1,10	475 a 550	0,95 a 1,10
525	500 a 550	0,95 a 1,048	475 a 550	0,90 a 1,048
765	690 a 800	0,90 a 1,046	690 a 800	0,90 a 1,046

Fonte: Procedimento de rede 2.3 do ONS, 2021.

Para qualquer contingência no SIN devido a uma intervenção com desligamento, nenhum barramento deve ficar abaixo de 0,9 pu e, caso isso aconteça, aquela intervenção não poderá ocorrer naquele momento. Em casos de desligamento de barras, chamados de contingências múltiplas, devido à perda de vários equipamentos, é utilizado ainda outro critério no mesmo procedimento de rede que diz “4.1.4. Na análise de intervenções, devem ser consideradas as seguintes contingências: (b) perda de seção de barra nas subestações envolvidas na intervenção... (2) Interrupção de carga superior a 300 MW...”.

Isso quer dizer que o ONS considera que todas as barras que tiveram sua tensão menor que 0,9 pu em uma contingência múltipla têm o risco de corte de carga, e não é permitido que esse risco de corte seja maior que 300 MW, para que a intervenção possa ser realizada. Por isso, no estudo elétrico da perda de barra, devem ser somadas todas as cargas que tiveram o seu barramento abaixo de 0,9 pu.

A partir do Anarede, é possível transferir as informações do sistema de potência com o ponto de operação, onde a barra de 230 kV da SE Blumenau está desligada, para uma planilha. Pode-se colocar filtros para que a planilha mostre apenas as barras que ficaram com tensões abaixo de 0,9 pu, como é apresentado na coluna J da Figura 4.16.

Figura 4.16 – Planilha com as barras menores que 0,9 pu para carga de sábado.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
	Númer	Tipo	Grupo	Tensão	Nome	Grupo	Limite	Estado	Visualiz	Tensão	Tensão	Ângulo	Geraçã	Geraçã	O	Geraçã	Barra C	Carga A	Carga R	Shunt	Injeção	Injeção	Área	
793	940	0-PQ	G	138	BLUMEN-	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,863	119,1	-30											53	
831	985	0-PQ	G	138	ILHOTA-SC	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,876	120,9	-29												53
832	986	0-PQ	I	69	ILHOTA-SC	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,898	62	-30												53
833	987	0-PQ	U	991	ILHOT1-SC	6	0,400-1,90	Ligado	1-MidPoi	0,894	886	-30												53
834	988	0-PQ	U	991	ILHOT2-SC	6	0,400-1,90	Ligado	1-MidPoi	0,894	886	-30												53
835	989	0-PQ	T	990	ILHOT1SIN	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,855	846,4	-30												53
836	990	0-PQ	T	990	ILHOT2SIN	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,855	846,4	-30												53
837	991	0-PQ	F	230	ITAJAI-SC2	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,871	200,3	-28												52
838	992	0-PQ	G	138	ITAJAI-SC1	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,877	121	-28												53
2267	2712	0-PQ	G	138	BLUMEZ-S	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,862	119	-30						23,6	8,9					53
2272	2717	0-PQ	G	138	BRUSRB-S	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,886	122,3	-27	3,2	0	0	0		54,9	26,7					53
2273	2718	0-PQ	G	138	BRUSQU-S	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,878	121,2	-28						44,3	15,2					53
2278	2723	0-PQ	G	138	CAMBMB-S	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,898	123,9	-24						39,8	17,7					53
2281	2726	0-PQ	G	138	CEB-1Y-SC	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,898	123,9	-27												53
2305	2752	0-PQ	G	138	GASPAR-S	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,87	120,1	-29							33,5	9,7				53
2306	2754	0-PQ	G	138	GUARMI-S	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,874	120,6	-29	12	0	0	0		30	8,9					53
2309	2757	0-PQ	G	138	BRUSQ3-S	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,881	121,6	-27						14,1	5					53
2322	2775	0-PQ	G	138	ITAFIZ-SC1	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,89	122,8	-26	2,1	0	0	0		48,1	16,4					53
2323	2776	0-PQ	I	69	ITAISA-SC1	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,888	61,3	-31						33,8	11,1					53
2324	2777	0-PQ	G	138	ITJSAI-SC1	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,869	119,9	-30						16,6	6,5					53
2325	2778	0-PQ	G	138	ITJITA-SC1	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,873	120,5	-29						45,3	15,9					53
2328	2781	0-PQ	G	138	PTONAV-S	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,867	119,6	-30						6	1,2					53
2330	2784	0-PQ	G	138	JARAGU-S	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,871	120,2	-29						30,8	10					53
2331	2783	0-PQ	G	138	JARRLU-SC	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,869	119,9	-29						28,2	9,4					53
2351	2809	0-PQ	G	138	MALWEE-	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,869	119,9	-29						1	0,2					53
2352	2811	0-PQ	G	138	MAL-2YTA	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,869	119,9	-29												53
2356	2815	0-PQ	G	138	NAVEGA-S	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,867	119,6	-30						34,3	14					53
2369	2830	0-PQ	G	138	PICARR-SC	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,884	122	-29						39,2	16,2					53
2372	2833	0-PQ	G	138	POMERO-	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,861	118,8	-30						16,4	5,4					53
2422	2894	0-PQ	G	138	WEG-TAI	5	0,950-1,05	Ligado	0-Normal	0,873	120,5	-29												53

Fonte: Própria do autor, 2022.

A partir dessa planilha, é somada a quantidade de carga ativa de todas as barras com tensões abaixo de 0,9 pu, coluna R. O corte de carga no dia de sábado se deu no valor de 611 MW, o que é um valor maior que os 300 MW indicado pelo procedimento de rede 2.3 do ONS. Então essa intervenção não poderá ocorrer no dia pretendido.

A Figura 4.17 apresenta o corte de carga para o dia de domingo, para o mesmo caso de intervenção. Pode ser observado que não existiram barras com tensões abaixo de 0,9 pu, ou seja, para o caso de domingo, o desligamento da barra de 230 kV da subestação de Blumenau não causa “afundamento” de tensão no sistema de potência. A dificuldade dessa região do SIN é que, em Blumenau, existem muitas metalúrgicas, que aumentam a carga. Além disso, as linhas de 525 kV da SE BLU constituem um dos grandes pontos de intercâmbio de energia entre as regiões do Paraná e Santa Catarina, como mostra o Mapa do SIN, no Apêndice A.

Esta intervenção só poderá ser realizada no dia de domingo, com pagamento de horas extras para os funcionários da empresa, ou poderá ser remarcada para outro mês onde as cargas estarão mais leves, como é o caso dos meses frios.

Figura 4.17 – Planilha com as barras menores que 0,9 pu para carga de domingo.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	
1	Númer	Tipo	Grupo	Tensão	Nome	Grupo	Limite	Estado	Visualiz	Tensão	Tensão	Ângulo	Geraçã	Geraçã	Geraçã	Geraçã	Barra C	Carga A	Carga R	Shunt (I	Injeção	Injeção	Área	
835	989	D - PQ	T	990	ILHOT15IN	5	0,950-1,05	Ligado	0 - Normal	0,891	882,1	-41												53
836	990	D - PQ	T	990	ILHOT25IN	5	0,950-1,05	Ligado	0 - Normal	0,891	882,1	-41												53
10064																								
10065																								
10066																								
10067																								
10068																								
10069																								
10070																								
10071																								
10072																								
10073																								
10074																								
10075																								
10076																								
10077																								
10078																								
10079																								
10080																								
10081																								
10082																								
10083																								
10084																								
10085																								
10086																								
10087																								
10088																								
10089																								
10090																								
10091																								

Fonte: Própria do autor, 2022.

É importante observar que as análises de intervenções com desligamento de barras já são consideradas contingências, ou melhor, as chamadas contingências múltiplas. Ou seja, a mesma análise feita no caso do transformador da subestação de Curitiba não é necessário nesse caso de desligamento do barramento.

5 CONCLUSÃO

As análises de intervenções no SIN são muito importantes, principalmente para as grandes empresas de transmissão e distribuição de energia no país, pois, por meio dessas simulações e análises, é possível economizar dinheiro e tempo, sendo estas duas palavras muito importantes para qualquer empresa.

As intervenções devem ser feitas para garantir uma boa qualidade da energia que chega para a população do país, sendo que a ONS, responsável pelo SIN, cobra esse requisito das empresas de energia. Como existem muitas intervenções que devem ser realizadas durante o mês pelas concessionárias de energia, é fundamental que sejam distribuídas da melhor forma possível durante a semana. Aquelas mais críticas, como foi o caso da intervenção na barra de 230 kV de Blumenau, só podem ser feitas no dia de domingo. Aquelas que são mais tranquilas, como é o caso do transformado 1 da SE Curitiba, podem ser feitas em dias da semana, apesar da carga ser alta.

A análise de intervenções é uma área bem abrangente, que demanda um certo tempo e experiência do engenheiro electricista, com muitos casos específicos, com poucas referências bibliográficas além dos procedimentos de rede e que também dependem da geração e intercâmbio de energia entre as regiões. Mas não é feito por apenas um analista, mas sim discutido entre a empresa de energia que solicitou a intervenção e o ONS, que tem a última decisão de aprovar ou não.

Seria interessante para um trabalho futuro analisar, também, uma intervenção com desligamento de disjuntor ou desligamento de banco de reatores e capacitores, talvez algumas combinações de eventos desses equipamentos.

REFERÊNCIAS

ZANETTA, Luiz Cera. **Fundamentos de Sistemas Elétricos de Potência**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2005. 312 p.

MONTICELLI, Alcir; GARCIA, Ariovaldo. **Introdução a sistemas de energia elétrica**. 2. ed. Campinas, Sp: Editora Unicamp, 2011. 264 p.

STEVERSON, William D.; GRAINGER, John J.. **Power Systems Analysis**. Europe: McGraw-Hill, 1994. 784 p.

MAMEDE FILHO, João. **Manual de Equipamentos Elétricos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2005. 800 p

CEPEL. **ANAREDE**: análise de sistemas elétricos de potência em regime permanente. Análise de sistemas elétricos de potência em regime permanente. 2022. Disponível em: <http://www.cepel.br/produtos/anared-2/anarede/>. Acesso em: 10 jan. 2022.

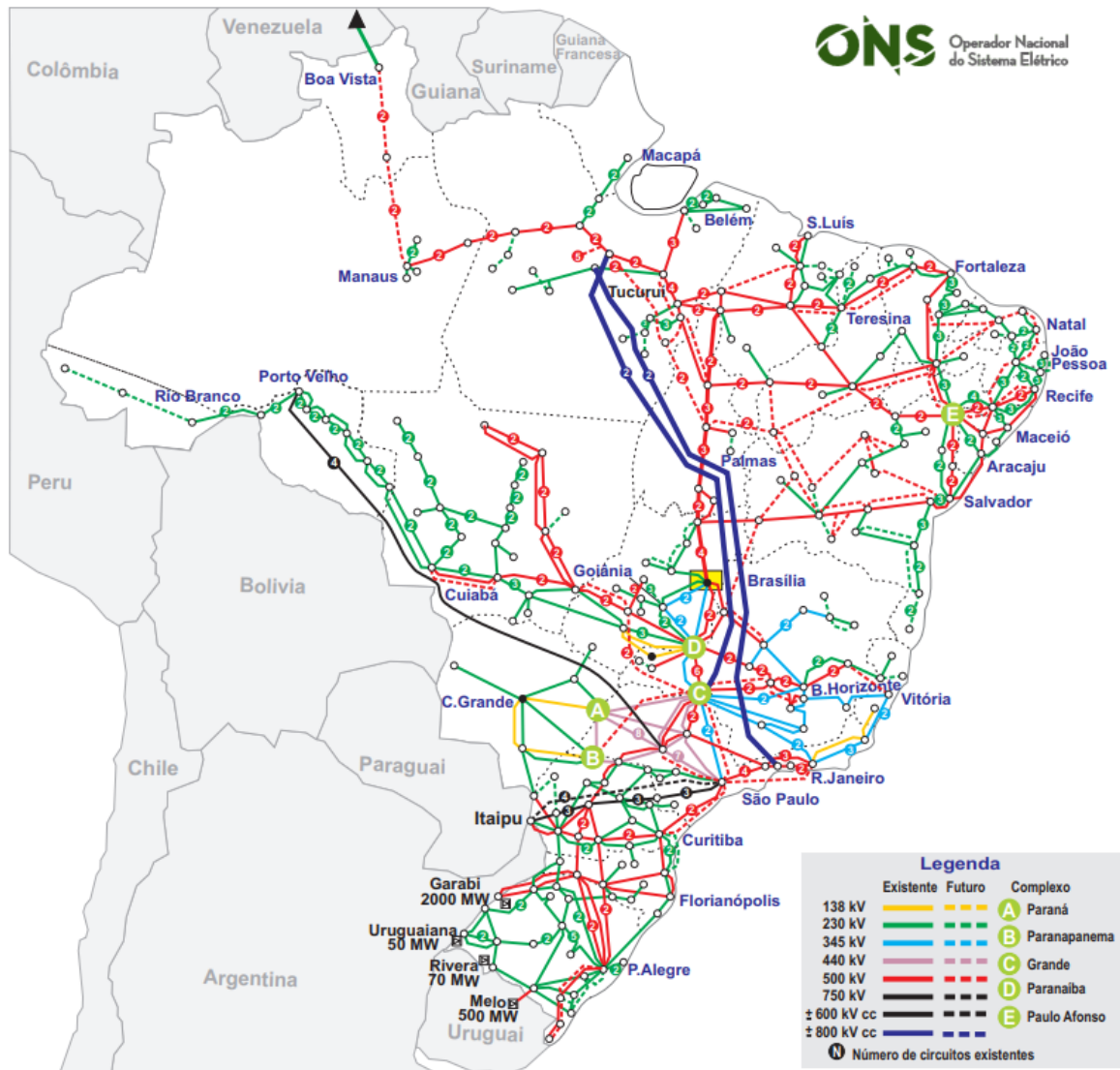
ONS. **Mapas**. 2022. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/mapas>. Acesso em: 24 fev. 2022.

ONS. **O Sistema Interligado Nacional**. 2022. Disponível em: <http://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>. Acesso em: 01 jan. 2022.

ONS. **Procedimentos de Rede 2.3 - Premissas, critérios e metodologia para estudos elétricos**. 2021. Disponível em: https://apps08.ons.org.br/ONS.Sintegre.Proxy/ecmprsite/ecmfragmentsdocuments/Subm%C3%B3dulo%202.3-CR_2021.08.docx_77a6e3f8-0c6b-4500-b225-45c2fa8d1ba3.pdf. Acesso em: 05 fev. 2022.

MAMEDE FILHO, João. **Subestações de Alta Tensão**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2021. 380 p.

APÊNDICE A – Mapa do Sistema Interligado Nacional (SIN).



Fonte: ONS, 2022.