



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**ESTUDO DE INTEGRAÇÃO DA CENTRAL TÉRMICA DE BELULUANE (CTB
2000 MW) E MEDIDAS DE OTIMIZAÇÃO NA PROVÍNCIA DE MAPUTO –
REDE DE TRANSPORTE SUL**

AUTOR:

Eufrásio José Francisco Munhiça

SUPERVISORES:

Mestre Fernando Chachaia, Eng^o [UEM]

Eng^o Anélsio Rivisse [EDM]

Maputo, Novembro de 2023



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

CURSO DE LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**ESTUDO DE INTEGRAÇÃO DA CENTRAL TÉRMICA DE BELULUANE (CTB
2000 MW) E MEDIDAS DE OTIMIZAÇÃO NA PROVÍNCIA DE MAPUTO –
REDE DE TRANSPORTE SUL**

AUTOR:

Eufrásio José Francisco Munhiça

SUPERVISORES:

Mestre Fernando Chachaia, Engº [UEM]

Engº Anélsio Rivisse [EDM]

Maputo, Novembro de 2023

TERMO DE ENCERRAMENTO:

Declaramos, para os devidos fins, que o estudante Eufrásio José Francisco Muniz exerceu todas as atividades de estágio determinadas a ele, na Direção de Eletrificação e Projetos e Divisão de Transportes Sul, durante o período compreendido entre 13/03/2023 e 13/06/2023, totalizando 3 meses de estágio.

Empresa		Estagiário	
DECLARAÇÃO		<i>Eufrásio Muniz</i>	
avaliação	contínua em		
30082023			
Anelise A. R. R. R.		Coordenador de estágio	
847316488		PARECER	
		☐ avaliação aprovada	
		☐ reprovada, motivo:	
		nm: 1/1	



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

Curso de Engenharia Eléctrica

TERMO DE ATRIBUIÇÃO DE TEMA DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

REFERÊNCIA DO TEMA:	2023ELEPD59	Data:	22/09/2023
---------------------	-------------	-------	------------

1. TÍTULO DO TEMA

ESTUDO DE IMPACTOS DA INTEGRAÇÃO DA CENTRAL TÉRMICA DE
BELULUANE (CTB 2 GW) NA REDE DE TRANSPORTE DA REGIÃO SUL E
MEDIDAS DE OTIMIZAÇÃO DA REDE

2. DESCRIÇÃO SUMÁRIA DO TRABALHO A DESENVOLVER

2.1. Introdução

Este trabalho tem como objetivo principal realizar uma análise abrangente do impacto da integração da Central Térmica de Beluluane (CTB 2000 MW) na rede sul, considerando fatores como fluxo de potência e a capacidade de transmissão das linhas tendo em conta os seus limites térmicos, níveis de curto circuito, estabilidade de tensão e a qualidade de energia. Além disso, serão exploradas possíveis estratégias de mitigação para os desafios identificados durante a análise. Ao compreender o impacto dessa integração, este estudo contribuirá para o planeamento e operação eficazes da rede eléctrica da região sul, garantindo a confiabilidade do fornecimento de energia eléctrica para a população e as indústrias. Um elemento crucial neste estudo é o uso do software PSSE (Power System Simulation for Engineering) como ferramenta principal de análise. O PSSE é uma plataforma poderosa e amplamente reconhecida para simulação e análise de sistemas de energia eléctrica. Sua capacidade de modelagem, análise de fluxo de potência, análise de estabilidade e simulação de contingência o torna uma escolha ideal para avaliar o impacto da integração da Central de Beluluane na rede sul.

2.2. Formulação do Problema

Na região sul de Moçambique, enfrentamos um desafio crítico no setor elétrico, com uma capacidade de geração atual de apenas 490 MW e uma demanda crescente que atingiu um pico de 540 MW em 2023 e se prevê que esteja acima dos 630 MW até 2026, o que representa uma taxa de crescimento de 5 % ao ano. Para abordar essa lacuna entre a oferta e a demanda de energia, o governo de Moçambique e seus parceiros planejam construir de entre outras a Central Térmica de Beluluane, uma instalação de geração de 2 GW. No entanto, a expansão substancial da capacidade de geração traz consigo uma série de questões cruciais para a operação da rede elétrica da região Sul.

Problema: Como a incorporação da Central Térmica de Beluluane de 2 GW na rede elétrica da região sul de Moçambique afetará a estabilidade, confiabilidade e eficiência desse sistema elétrico?

2.3. Justificativa

A seleção deste tema de projeto é resultado da experiência de estágio profissional na empresa Eletricidade de Moçambique (EDM), onde tive a oportunidade de interagir com profissionais especializados em operação de redes elétricas. Essa vivência proporcionou-me uma compreensão mais profunda das complexidades e obstáculos envolvidos na operação e expansão da rede elétrica em Moçambique.

O desafio energético na região sul de Moçambique, evidenciado pelo déficit de energia em relação à demanda, é um problema de grande impacto. A proposta de construir a Central de Beluluane, com capacidade considerável, abre oportunidades para atender essa demanda crescente e melhorar o fornecimento de energia.

Além disso, a possibilidade de exportar energia, incluindo para a África do Sul, tem implicações econômicas significativas. Isso me motivou a investigar como essa integração afetará a rede elétrica

2.4. Objetivos

2.4.1. Objetivo geral

- Estudar os impactos da integração da Central Térmica de Beluluane na rede de transporte da região sul.

2.4.2. Objetivos específicos

- Realizar o levantamento de dados detalhados da rede elétrica da região sul
- Modelar computacionalmente a rede elétrica, incorporando os dados colhidos.
- Analisar fluxo de potência em várias condições de carga para identificar possíveis limitações na capacidade de transmissão.
- Conduzir estudos de contingência com os modelos de equipamentos de proteção.
- Avaliar as necessidades de compensação reativa em diferentes cenários.
- Analisar os níveis de curto-circuito através os dados de equipamentos de manobra e as características da rede elétrica.
- Modelar eventos de estabilidade transitória e simular a resposta da rede elétrica após perturbações significativas para confirmar a estabilidade do sistema
- Propor soluções e estratégias de mitigação para garantir a integração segura e eficiente da Central Térmica de Beluluane na rede elétrica da região sul de Moçambique.

2.5. Metodologia

Para elaboração deste trabalho serão aplicadas as seguintes metodologias:

- ✓ **Revisão Bibliográfica:** Será realizada uma revisão abrangente da literatura, abrangendo livros, artigos científicos e documentos relacionados à eletrônica de potência, sistemas de transmissão de energia elétrica, integração de centrais de grande porte na rede elétrica e estudos de impacto na estabilidade e operação da rede.
- ✓ **Pesquisa Qualitativa:** Entrevistas serão conduzidas com operadores da rede de transmissão para colher informações descritivas sobre desafios técnicos associados à integração de centrais de grande capacidade, as implicações na estabilidade da rede, métodos de simulação e análise de sistemas elétricos, bem como melhores práticas recomendadas para mitigar impactos negativos.
- ✓ **Pesquisa Documental:** Serão consultados documentos e registros para obter informações específicas sobre a configuração da rede de transmissão na região sul de Moçambique e detalhes relacionados à Central Térmica de Beluluane.
- ✓ **Simulação Computacional:** O software PSS/E (Power System Simulation for Engineers) versão 34.5.0 será utilizado para realizar simulações computacionais que permitirão analisar o impacto da integração da central térmica na rede elétrica e avaliar sua estabilidade e eficiência operacional.

3. LOCAL DE REALIZAÇÃO

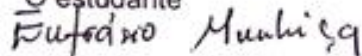
Maputo, Beluluane

4. SUPERVISORES

	Nome	Assinatura
Da UEM	Mestre Fernando Chachaia, Engº	
Da Instituição	Engº Anésio Rivisse	

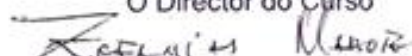
Maputo, 26 de Setembro de 2023

O estudante



(Eufrásio José Francisco Munhica)

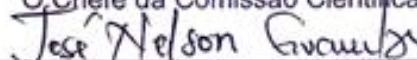
O Director do Curso



(Engº. Zefanias José Mabote)

14.11.2023

O Chefe da Comissão Científica



(Mestre José Nelson Guambe, Engº.)

16/11/23

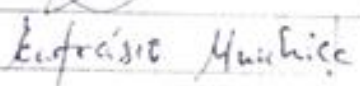
Plano de Actividades

Trabalho de Estágio Profissional

Tema: Estudo dos Impactos de Integração da Central Térmica de Beluluane (CTB 2 GW) na Rede de Transmissão da Região Sul e Medidas de Otimização da Rede

Referência: 2023ELEPD59

Data: 22/09/2023

Semana prevista	Data prevista	Hora prevista	Semana Real	Data real	Duração real	Assunto
3	26/08	09h00	7	22/09	10h30 à 13h00	Apresentação de TAT
5	02/09	09h00	8			Apresentação dos Capítulos I e II
8	29/09	09h00	10			Apresentação das correções dos Capítulos I e II e Apresentação dos Capítulos III, IV e V
9	06/10	09h00	11			Apresentação das correções dos Capítulos III, IV e V
10	13/10	09h00	12			Apresentação do Relatório Final Revisado
Supervisor: Mestre Fernando Chachaia, Engº				Assinatura		
Estudante: Eufrásio José Francisco Munhica				Assinatura		

Observações:

Data:

22/09/2023



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

EL - GUIA DE AVALIAÇÃO DO RELATÓRIO ESCRITO

Nome do estudante: Eufrásio José Francisco Munhica

Referência do tema: 2023ELEPD59

Data: 24/11/2024

Título do tema: ESTUDO DE INTEGRAÇÃO DA CENTRAL TÉRMICA DE BELULUANE (CTB 2000 MW) E MEDIDAS DE OTIMIZAÇÃO NA PROVÍNCIA DE MAPUTO - REDE DE TRANSPORTE SUL

1. Resumo										
1.1. Apresentação dos pontos chaves no resumo (clareza, organização, correlação com o apresentado)	1	2	3	4	5					
Secção 1 subtotal (max: 5)										05

2. Organização (estrutura) e explanação										
2.1. Objectivos	1	2	3	4	5					
2.2. Introdução, antecedentes e pesquisa bibliográfica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.3. Metodologias	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.4. Resultados, sua análise e discussão	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2.5. Conclusões e aplicação dos resultados (recomendações)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Secção 2 subtotal(max: 45)										35

3. Argumentação										
3.1. Criatividade e originalidade	1	2	3	4	5					
3.2. Rigor	1	2	3	4	5					
3.3. Análise crítica, evidência e lógica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3.4. Relação objectivos/ resultados/conclusões	1	2	3	4	5					
3.5. Relevância	1	2	3	4	5					

Secção 3 subtotal(max: 30)	21
----------------------------	----

4. Apresentação e estilo da escrita					
4.1. Legibilidade e organização	1	2	3	4	5
4.2. Ilustração e qualidade das figuras e tabelas	1	2	3	4	5
4.3. Estilo da escrita (fluência do texto, uso da língua e gramática)	1	2	3	4	5
4.4 Fontes bibliográficas (citação correcta, referências, etc)	1	2	3	4	5
Secção 4 subtotal(max: 20)					18

Total de pontos (max: 100)	79
----------------------------	----

Nota (=Total*0,2)	15,8
-------------------	------

Nota: Quando exista a componente gráfica (desenhos técnicos), a nota acima é multiplicada por 0,8 cabendo os restantes 20% do peso à referida parte gráfica.



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

**FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA**

**FICHA DE AVALIAÇÃO DA ATITUDE DO ESTUDANTE
(Auxiliar para o supervisor)**

Nome do estudante: Eufrásio José Francisco Munhiça

Referência do tema: 2023ELEPD59

Data: 24/11/2024

Título do tema: ESTUDO DE INTEGRAÇÃO DA CENTRAL TÉRMICA DE BELULUANE
(CTB 2000 MW) E MEDIDAS DE OTIMIZAÇÃO NA PROVÍNCIA DE MAPUTO – REDE
DE TRANSPORTE SUL

Indicador	Classificação				
	1	2	3	4	5
Atitude geral (manteve uma disposição positiva e sentido de humor)	1	2	3	4	5
Dedicação e comprometimento (Deu grande prioridade ao projecto e aceitou as responsabilidades prontamente)	1	2	3	4	5
Independência (realizou as tarefas independentemente, como prometido e a tempo)	1	2	3	4	5
Iniciativa (viu o que devia ter sido feito e fê-lo sem hesitar e sem pressões do supervisor)	1	2	3	4	5
Flexibilidade (disponibilidade para se adaptar e estabelecer compromissos)	1	2	3	4	5
Sensibilidade (ouviu e tentou compreender as opiniões dos outros)	1	2	3	4	5
Criatividade (contribuiu com imaginação e novas ideias)	1	2	3	4	5
Total de pontos (max: 35)		25			

Valor do classificador	Cotação obtida	Significado
	1	Não aceitável (0 a 9 valores)
	2	Suficiente (10 a 13 valores)
	3	Bom (14 a 16 valores)
	4	Muito Bom (17 a 18 valores)
	5	Excelente (19 a 20 valores)

Total de pontos (max: 35)	35	Nota (=Total*20/35)	20
---------------------------	----	---------------------	----

FICHA DE AVALIAÇÃO GLOBAL



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA _____

E - FICHA DE AVALIAÇÃO GLOBAL

Nome do estudante: Eufrazio Jose Francisco Manhiga
Referência do tema: 2023 ELEPD59 Data: 18/12/2023

Título do tema: Estudo de impacto da interligação da central
Térmica de Beluanga (CTB 2 GW) na rede
de Transporte da Região Sul e medidas de

AVALIADOR	NOTA OBTIDA	PESO(%)
Relatório escrito (F1)	N1= <u>15,8</u>	A= 60
Apresentação e defesa do trabalho (F2)	N2= <u>17,3</u>	B= 40

otimiz.
ção da
rede

CLASSIFICAÇÃO FINAL = $(N1 \cdot A + N2 \cdot B) / 100$

16,0

OS MEMBROS DO JURI:

O Presidente	<u>Gabriel Jesus - [assinatura]</u>
O Oponente	<u>Jose Manuel Chissico</u>
Os Supervisores	<u>Fernando Henrique Chichava</u>



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante Eufrásio José Francisco Munhiça entregou no dia 27/11/2023 as cópias do relatório do seu Trabalho de Licenciatura com a referência: 2023ELEPD2023 intitulado: ESTUDO DE INTEGRAÇÃO DA CENTRAL TÉRMICA DE BELULUANE (CTB 2000 MW) E MEDIDAS DE OTIMIZAÇÃO NA PROVÍNCIA DE MAPUTO – REDE DE TRANSPORTE SUL

Maputo, 15 de 12 de 2023

O Chefe de Secretaria

p/ António Mamede

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Eufrásio José Francisco Munhiça, estudante do 5º do curso de Licenciatura em Engenharia Elétrica na Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, declaro que este trabalho é de minha autoria, sendo fruto do meu próprio esforço e conhecimentos. Todas fontes utilizadas para fundamentar este trabalho foram devidamente identificadas nas referências bibliográficas,

Maputo, aos 08/10/2024

Eufrásio Munhiça

(Eufrásio José Francisco Munhiça)



DEDICATORIA

*Dedico este trabalho a mim e aos meus colegas de faculdade,
Pela dedicação incansável, pelo comprometimento e pelo esforço
constante ao longo desta jornada acadêmica. Cada desafio
superado, cada hora de estudo e cada momento de autodisciplina
foram passos em direção a este resultado. Esta conquista é uma
lembrança de que, com determinação e perseverança, somos
capazes de alcançar nossos objetivos.*

*Que este trabalho represente não apenas o conhecimento adquirido,
mas também o crescimento pessoal e a capacidade de enfrentar
desafios.*

Com gratidão e orgulho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, quero expressar meus mais sinceros agradecimentos aos pilares da minha vida:

A meus pais, José Munhiça & Benilde Quimice, cujo amor incondicional, apoio inabalável e confiança em mim, moldaram meu caminho acadêmico.

A minha mãe, Telma Raúl, e meu pai, Arlindo Isaías, por acolherem-me em suas vidas com carinho e amor.

Ao meu irmão, Eunísio Quimice, que sempre esteve ao meu lado nos momentos difíceis e estará sempre. Seu apoio incansável e presença constante foram inestimáveis em todas as etapas da minha jornada acadêmica.

Ao meu amigo das trincheiras e colega Vivaldo De Castro, cuja amizade e parceria ao longo deste percurso tornaram os desafios mais suportáveis e as vitórias mais significativas.

A meus amigos, que são verdadeiros tesouros da minha vida. Suas risadas, apoio e companheirismo tornaram os desafios mais leves e os triunfos mais significativos.

Aos meus colegas de quarto, Estevão Mavuto & Benjamim Luís, por compartilharem comigo este período de crescimento e aprendizado.

Aos meus orientadores, Mestre Engenheiro Fernando Chachaia da Universidade Eduardo Mondlane, Engenheiros Anélsio Rivisse e Adérito Barros da Eletricidade de Moçambique, pela sua orientação perspicaz, conhecimento profundo e apoio incansável.

A todos que colaboraram, direta ou indiretamente, para o sucesso deste projeto, minha gratidão sincera.

OBRIGADO!



EPÍGRAFE

*"A educação é a arma mais poderosa que você pode usar
para mudar o mundo."*

- Nelson Mandela



RESUMO

Diante da crescente demanda por eletricidade em Moçambique, impulsionada pelo crescimento populacional e desenvolvimento industrial, o governo e seus parceiros planejam a construção da Central Térmica de Beluluane (CTB) com uma capacidade de geração de 2000 MW. A integração de uma usina de tal magnitude na rede elétrica existente suscita desafios técnicos e operacionais que demandam uma análise aprofundada.

Este trabalho concentra-se na análise da integração da CTB (2000 MW) na rede de transporte elétrico da região sul, especificamente em Maputo. Utilizando o simulador de rede PSSE ver. 33.5.2, exploramos vários aspectos decorrentes dessa integração e os possíveis reforços necessários na rede.

As análises revelam que a entrada da CTB impacta diretamente o carregamento das linhas e os níveis de curto-circuito. Como tal, verificou-se que pode ser necessário reforçar alguns corredores para o escoamento da energia e recomenda-se ajustes nos níveis de isolamento dos equipamentos nas subestações próximas à CTB devido ao impacto da entrada da central no nível de curto-circuito da rede sul.

Palavras-chave: CTB, Fluxo de Potência, Contingência, Rede Elétrica, Capacidade de Transmissão, Tensão, Curto-Circuito.



ABSTRACT

In the face of the growing demand for electricity in Mozambique, driven by population growth and industrial development, the government and its partners plan to construct the Beluluane Thermal Power Plant (CTB) with a generation capacity of 2000 MW. The integration of a power plant of such magnitude into the existing electrical grid poses technical and operational challenges that require in-depth analysis.

This work focuses on the analysis of the integration of the CTB (2000 MW) into the electrical transport grid of the southern region, specifically in Maputo. Using the PSSE ver. 33.5.2 network simulator, we explore various aspects resulting from this integration and the possible reinforcements needed in the grid.

The analyses reveal that the entry of the CTB directly impacts the loading of the lines and short-circuit levels. As such, it has been found that it may be necessary to reinforce some corridors for energy flow, and adjustments to the insulation levels of equipment in substations near the CTB are recommended due to the impact of the plant's entry on the short-circuit level of the southern grid.

Keywords: CTB, Power Flow, Contingency, Electrical Grid, Transmission Capacity, Voltage, Short Circuit.

ÍNDICE

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS	ii
EPÍGRAFE	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
Lista de Símbolos e Abreviaturas.....	vi
Lista de Figuras.....	vii
Lista de Tabelas	viii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Delimitação do Tema	1
1.3. Formulação do Problema.....	2
1.4. Justificativa.....	2
1.5. Objetivos	3
1.5.1. Objetivo Geral.....	3
1.5.2. Objetivos Específicos	3
1.6. Metodologia.....	3
2. REVISÃO DA LITERATURA	5
2.1. Conceitos Básicos de Sistemas Elétricos de Potência.....	5
2.1.1. Elementos de um sistema elétrico de potência	5
2.1.2. Modelo dos Componentes de um Sistema Elétrico de Potência	6

2.1.2.1.	Modelo de geradores	7
2.1.2.2.	Modelo de linhas de transmissão.....	7
2.1.2.3.	Modelo de Transformadores	10
2.1.2.4.	Modelo de Cargas.....	14
2.2.	Fluxo de Carga e Contingência.....	15
2.2.1.	Formulação do Problema de Fluxo de Potência.....	15
2.2.1.2.	Método de Gauss-Seidel.....	17
2.2.1.3.	Método de Newton-Raphson.....	18
2.2.1.4.	Método de Fluxo de Potência Desacoplado.....	18
2.2.1.5.	Comparação dos métodos iterativos	18
2.3.	Compensação Reativa e Controle de Tensão.....	19
2.3.1.	Geradores e Absorventes de Potencia Reativa.....	19
2.3.1.1.	Cargas	20
2.4.	Estabilidade Transitória e Curto-Circuito.....	21
2.4.1.	Estabilidade de Sistemas de Potência.....	21
2.4.2.	Curto-Circuito	22
2.5.	Integração de Centrais de Grande Porte na Rede Elétrica	22
2.5.1.	Condições Técnicas para Integração de Centrais	22
2.5.1.1.	Normas Técnicas	23
2.5.1.2.	Geradores Síncronos	23
3.	A CENTRAL TÉRMICA DE BELULUANE.....	24
3.1.	Localização e contexto da central térmica	24
3.2.	Capacidade de Geração e Tecnologia da Central	24
3.3.	Principais Componentes da Central.....	25

3.4.	Benefícios e Desafios da Central	25
3.4.1.	Benefícios Esperados.....	25
3.4.2.	Desafios e Preocupações Potenciais	26
3.5.	Outros Desenvolvimentos na geração	26
3.5.1.	Projeto Karpower	26
3.5.2.	Projeto Gigawatt 2	27
3.5.3.	Projeto de Energia Eólica Namaacha	27
3.5.4.	Projeto CTT	27
4.	CARACTERIZAÇÃO DA REDE	28
4.1.	Mapa da Rede da Região Sul	28
4.2.	Configuração Da Rede da Região Sul	29
4.3.	Proposta de Integração da CTB.....	30
5.	MODELAGEM NO PSS/E 33.5.2	31
5.1.	Modelagem de Barramentos	31
5.2.	Modelagem de Geradores.....	32
5.3.	Modelação do transformador	33
5.4.	Modelagem das linhas	34
6.	SIMULAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS	35
6.1.	Pressupostos das Simulações	35
6.1.1.	A Rede Sul	35
6.1.2.	Carga da Rede	35
6.1.3.	Capacidade de Geração.....	36
6.1.3.1.	Desenvolvimentos na Geração	36
6.1.3.2.	Desenvolvimentos na transmissão.....	37

6.1.4.	Critério de Planeamento	37
6.1.5.	Parâmetros dos Geradores	38
6.1.6.	Pressupostos de Modelação da rede	38
6.2.	Análise do Fluxo de Potência da Rede de 2023	39
6.2.1.	Resultados do Fluxo de Potência no estado normal.....	39
6.2.1.1.	Avaliação do perfil de Tensão no estado normal	40
6.2.1.2.	Avaliação de Carregamento da Rede no estado normal.....	41
6.2.2.	Fluxo de Potência em 2023 em Contingências do Tipo N-1.....	42
6.2.2.1.	Perfil de Tensão em Contingência da Linha BL3	43
6.2.2.2.	Perfil de Tensão em Contingência do Banco de Infulene.....	45
6.3.	Análise do Fluxo de Potência da Rede de 2028	46
6.3.1.	Resultados do Fluxo de Potência no estado normal.....	46
6.3.1.1.	Avaliação do perfil de Tensão em 2028	47
6.3.1.2.	Avaliação de Carregamento da Rede em 2028	48
6.4.	Análises de Curto-Circuito.....	49
7.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	51
7.1.	Conclusões	51
7.2.	Recomendações	51
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
ANEXO A1		54
ANEXO A2		55
ANEXO A2.1		56
ANEXO A3		57
ANEXO A4		58

ANEXO A5	59
ANEXO A6	60
ANEXO A7	61



Lista de Símbolos

CCGT – Tecnologia de ciclo combinado a gás

CTM – Central Térmica de Maputo;

CTCCM – Central Térmica de Ciclo Conbinado de Maputo;

CTRG – Central Térmica de Ressano Garcia;

CTB – Central Térmica de Beluluane;

DTSU - Divisão de transporte Sul;

DTCE – Divisão de Transporte Centro;

DTCN – Divisão de transporte Centro-Norte;

DTNO – Divisão de transporte Norte;

EDM – Eletricidade de Moçambique;

FACTS – Sistemas Flexíveis de Corrente Alternada;

SVC – Compensador Estático de Potência Reativa;

k – Quilo;

MOTRACO – Mozambique Transmission Company;

PSS/E – (*Power System Simulation for Engineers*)

SEP – Sistema Elétrico de Potencia;

ver – Versão;

W – Watt;

Lista de Figuras

Figura 1: Subsistemas de um Sistema Elétrico de Potência	5
Figura 2: Diagrama Unifilar de um Sistema elétrico de potência.....	6
Figura 3: Modelo do gerador de rotor cilíndrico	7
Figura 4: Modelo π da Linha de Transmissão	8
Figura 5: Modelo da linha curta	8
Figura 6: Modelo da linha de comprimento médio.....	9
Figura 7: Modelo da linha longa	9
Figura 8: Modelo completo do transformador monofásico de dois enrolamentos.....	10
Figura 9: Modelo completo do transformador com parâmetros referidos ao primário....	11
Figura 10: Modelo do transformador monofásico desprezando-se o ramo paralelo e a resistência dos enrolamentos.....	11
Figura 11: Circuito equivalente de um transformador de três enrolamentos	12
Figura 12: Transformador Y- Δ e diagramas fasoriais das tensões terminais.....	13
Figura 13: Transformador trifásico Y- Δ e seu modelo equivalente em pu	14
Figura 14: Representação da carga com potência constante para estudo de fluxo de potência.....	14
Figura 15: Representação da carga para estudo de estabilidade com impedância constante.....	15
Figura 16: Barra com geração, carga e linhas.....	16
Figura 17: Figura 15 com injeção de potência líquida na barra.....	16
Figura 18: Comparação dos três métodos iterativos até a convergência	18
Figura 19: Modelo de carga de Potência Constante, Corrente Constante e Impedância Constante	20

Figura 20: Comparação do perfil da tensão com a carga no 3 modelos de carga.....	20
Figura 21: Local de implantação de Central térmica de Beluluane	24
Figura 22: Mapa da rede da EDM na região sul.....	28
Figura 23: Configuração da Rede Sul 2023	29
Figura 24: Rede sul com a CTB 2000MW instalada	30
Figura 25:Dados de entrada do barramentos no PSS/E 33.5.2	31
Figura 26: Dados de Entrada de Geradores no PSS/E 33.5.2	32
Figura 27: Dados de Entrada de Tranformadores no PSS/E 33.5.2.....	33
Figura 28: Dados de Entrada de Linhas no PSS/E 33.5.2	34
Figura 29: Fluxo de potência em 2023	39
Figura 30: Fluxo de Potencia em 2023 em com a perda da linha Maputo-Matola (BL3)	42
Figura 31: Fluxo de Potencia em 2023 em com a perda do Banco de Infulene	44
Figura 32: Fluxo de Potencia em 2028 com a integração da CTB	46

Lista de Tabelas

Tabela 1: Classificação de Barras	15
Tabela 2: Tipos de Instabilidade.....	21
Tabela 3: Tipos de Perturbação	21
Tabela 4: Tipos de Estudos de Estabilidade	21
Tabela 5: Carregamento da Rede	35
Tabela 6: Capacidade de geração atual.....	36
Tabela 7: Capacidade de Geração ate 2028.....	36
Tabela 8: Desenvolvimentos na Transmissão.....	37
Tabela 9: Perfil da tensão da rede sul em 2023 (Antes da integração da CTB).....	40
Tabela 10: Fluxo de potencia em 2023	41
Tabela 12: Perfil da tensão da rede sul em 2023 em contingência da linha Maputo-Matola (BL3)	43
Tabela 13: Perfil da tensão da rede sul em 2023 em contingência do banco de infulene	45
Tabela 14: Perfil da tensão da rede sul em 2028 (Depois da integração da CTB)	47
Tabela 15: Fluxo de potencia em 2028	48
Tabela 16: Níveis de Curto-Circuito em 2028.....	49

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

O setor elétrico desempenha um papel crucial no desenvolvimento econômico e social de qualquer região ou país. A disponibilidade de energia elétrica confiável e eficiente é fundamental para o funcionamento de indústrias, serviços públicos, residências e outros setores da sociedade. No entanto, o aumento constante da demanda por eletricidade, impulsionado pelo crescimento populacional e pelo desenvolvimento industrial, representa um desafio significativo para os sistemas elétricos existentes.

Na região sul de Moçambique, esse desafio se torna particularmente evidente. O rápido crescimento econômico e a urbanização estão acompanhados por uma crescente demanda por energia elétrica. Para atender a essa demanda, o governo de Moçambique e seus parceiros planejam, de entre outras iniciativas, a Central Térmica de Beluluane, com uma capacidade de geração de 2000 MW. A integração de uma usina de tal magnitude na rede elétrica existente representa um marco importante no fornecimento de energia para a região sul, mas também suscita uma série de questões técnicas e operacionais que precisam ser cuidadosamente consideradas.

1.2. Delimitação do Tema

Este trabalho tem como foco principal a análise da integração da Central Térmica de Beluluane (CTB 2000 MW) em Maputo – rede de transporte da sul. Para atingir esse objetivo, o estudo se concentrará em realizar uma análise abrangente que englobe o fluxo de carga e contingência, a fim de identificar limitações na capacidade de transmissão e problemas de tensão em várias condições de carga na rede, os quais podem afetar a evacuação de energia da central elétrica proposta. Os estudos de fluxo de carga avaliarão a necessidade de reforços na rede para assegurar a evacuação eficiente de energia em diferentes cenários.

Além disso, será efetuada uma avaliação das necessidades de compensação reativa relacionadas às várias situações analisadas. Essa avaliação será parte integrante da análise de fluxo de carga e identificará a eventual necessidade de compensação reativa adicional, para além do nível de compensação já providenciado pelas centrais elétricas.

Outra vertente desta análise compreenderá estudos de curto-circuito com o intuito de avaliar os níveis de falha em relação às classificações dos equipamentos de manobra existentes, identificando a necessidade potencial de atualizações dos referidos equipamentos de manobra.

1.3. Formulação do Problema

Na região sul de Moçambique, enfrentamos um desafio crítico no setor elétrico, com uma capacidade de geração atual de apenas 490 MW e uma demanda crescente que atingiu um pico de 540 MW em 2023 e se prevê que esteja acima dos 630 MW até 2026, o que representa uma taxa de crescimento de 5 % ao ano. Para abordar essa lacuna entre a oferta e a demanda de energia, o governo de Moçambique e seus parceiros planejam construir de entre outras a Central Térmica de Beluluane, uma instalação de geração de 2000 MW. No entanto, a expansão substancial da capacidade de geração traz consigo uma série de questões cruciais para a operação da rede elétrica da região Sul.

Problema: Como a integração da Central Térmica de Beluluane de 2000 MW na rede de transporte da região sul de Moçambique afetará a estabilidade, confiabilidade e eficiência desse sistema elétrico?

1.4. Justificativa

A seleção deste tema de projeto é resultado da experiência de estágio profissional na empresa Eletricidade de Moçambique (EDM), onde tive a oportunidade de interagir com profissionais especializados em operação de redes elétricas. Essa vivência proporcionou-me uma compreensão mais profunda das complexidades e obstáculos envolvidos na operação e expansão da rede elétrica em Moçambique.

O desafio energético na região sul de Moçambique, evidenciado pelo déficit de energia em relação à demanda, é um problema de grande impacto. A proposta de construir a Central de Beluluane, com capacidade considerável, abre oportunidades para atender essa demanda crescente e melhorar o fornecimento de energia.

Além disso, a possibilidade de exportar energia, incluindo para a África do Sul, tem implicações econômicas significativas. Isso me motivou a investigar como essa integração afetará a rede elétrica.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo Geral

Estudar os impactos da integração da Central Térmica de Beluluane na rede de transporte da região sul de Moçambique.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Realizar o levantamento da topologia e de dados detalhados da rede elétrica da região sul;
- Modelar computacionalmente a rede elétrica;
- Realizar análises de fluxo de carga em várias condições de carga;
- Conduzir estudos de contingência com os modelos de equipamentos de proteção;
- Avaliar as necessidades de compensação reativa em diferentes cenários;
- Realizar estudos de curto-circuito usando os dados de equipamentos de manobra e as características da rede elétrica;
- Propor soluções e estratégias de mitigação para garantir a integração segura e eficiente da Central Térmica de Beluluane na rede de transporte da região sul de Moçambique.

1.6. Metodologia

Para elaboração deste trabalho serão aplicadas as seguintes metodologias:

- ✓ **Revisão Bibliográfica:** Será realizada uma revisão abrangente da literatura, abrangendo livros, artigos científicos e documentos relacionados à eletrônica de potência, sistemas de transmissão de energia elétrica, integração de centrais de grande porte na rede elétrica e estudos de impacto na estabilidade e operação da rede.
- ✓ **Pesquisa Qualitativa:** Entrevistas serão conduzidas com operadores da rede de transporte para colher informações descritivas sobre desafios técnicos associados à integração de centrais de grande capacidade, as implicações na estabilidade da rede, métodos de simulação e análise de sistemas elétricos, bem como melhores práticas recomendadas para mitigar impactos negativos.

- ✓ **Pesquisa Documental:** Serão consultados documentos e registros para obter informações específicas sobre a configuração da rede de transmissão na região sul de Moçambique e detalhes relacionados à Central Térmica de Beluluane.
- ✓ **Simulação Computacional:** O software PSS/E (*Power System Simulation for Engineers*) versão 35.5.2 será utilizado para realizar simulações computacionais que permitirão analisar o impacto da integração da central térmica na rede elétrica e avaliar sua estabilidade e eficiência operacional.

CAPÍTULO II

2. REVISÃO DA LITERATURA

No Capítulo 2, intitulado "Revisão da Literatura", serão explorados os fundamentos essenciais relacionados aos sistemas elétricos de potência, com foco em conceitos-chave como fluxo de carga, estabilidade, curto-circuito e compensação reativa. Além disso, serão discutidos os desafios inerentes à integração de centrais de grande porte nas redes elétricas existente.

2.1. Conceitos Básicos de Sistemas Elétricos de Potência

John J. Grainger e William D. Stevenson Jr., definem Sistema Elétrico de Potência (SEP) como um conjunto interconectado de componentes elétricos e eletrônicos projetados para suprir, transmitir e distribuir energia elétrica. Isso inclui estações geradoras, linhas de transmissão, transformadores, subestações, sistemas de controle e proteção, e a infraestrutura necessária para conectar tudo isso em uma rede funcional.

Na Figura 1 temos um diagrama que apresenta como esses subsistemas estão organizados num sistema elétrico de potência.

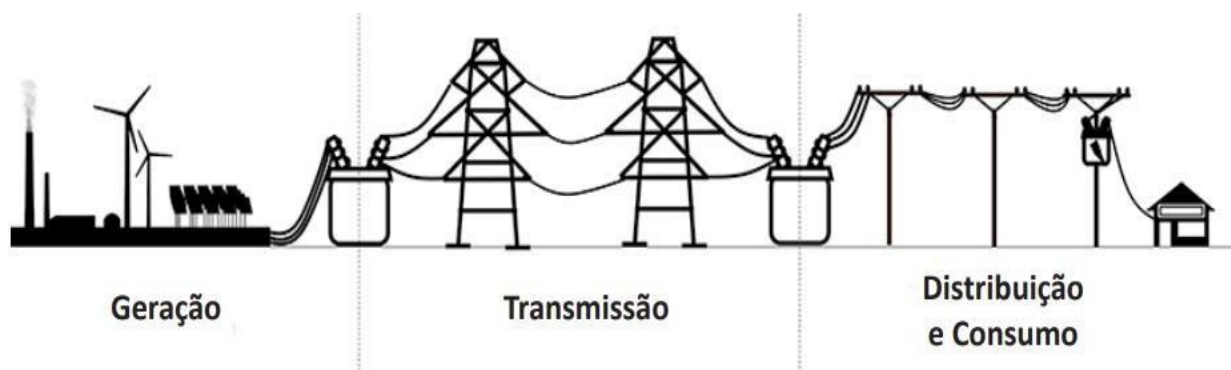


Figura 1: Subsistemas de um Sistema Elétrico de Potência

Fonte: (Silva, 2019)

2.1.1. Elementos de um sistema elétrico de potência

Esses elementos trabalham em conjunto para garantir que a energia elétrica seja gerada, transmitida, distribuída e consumida de maneira eficiente e confiável em um sistema elétrico de potência.

São eles:

- **Barramento;**
- **Gerador;**
- **Linha de transmissão;**
- **Transformador;**
- **Carga;**
- **Condensador;**
- **Reator;**
- **Compensador Estático de Potência Reativa (SVC);**
- **Sistemas Flexíveis de Corrente Alternada (FACTS).**

Os sistemas elétricos de potência são geralmente trifásicos equilibrados de corrente alternada por isso substitui-se a sua representação trifásica por uma representação simbólica denominada diagrama unifilar, Figura 2 (Kinderman, 1997).

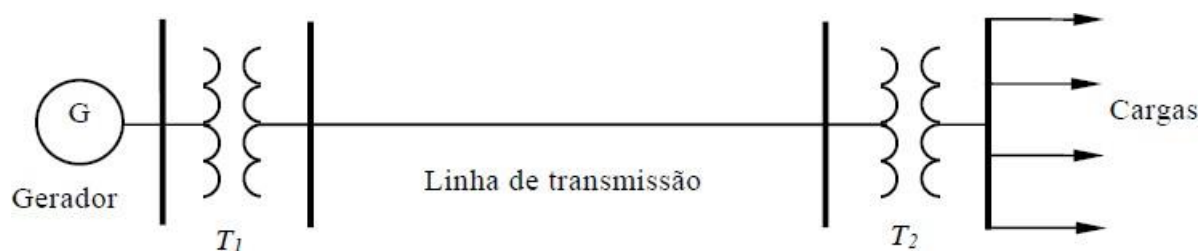


Figura 2: Diagrama Unifilar de um Sistema elétrico de potência

Fonte: (Borges, 2005)

2.1.2. Modelo dos Componentes de um Sistema Elétrico de Potência

A análise de desempenho de sistemas elétricos de potência (SEP) envolve simulações que representam seus componentes por meio de modelos matemáticos. Existe mais de um modelo para cada um dos elementos listados. Para cada tipo de estudo existe um modelo específico do elemento.

Os modelos apresentados geralmente consideram:

- a) A rede em regime permanente;
- b) O sistema elétrico simétrico e equilibrado, logo somente componentes de sequência positiva;
- c) Valores em por unidade.

2.1.2.1. Modelo de geradores

A Figura 3 mostra o modelo do gerador síncrono de rotor cilíndrico (pólos lisos).

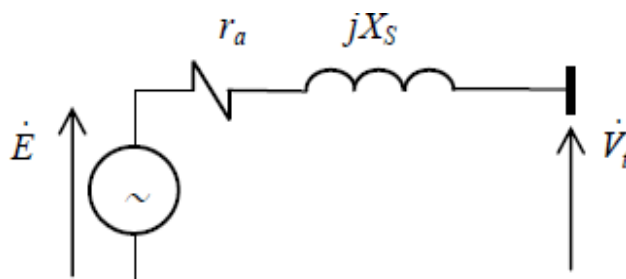


Figura 3: Modelo do gerador de rotor cilíndrico

Fonte: (Borges, 2005)

Onde:

r_a – resistência da armadura;

X_s ou X_d – reactância síncrona, que é a soma da reactância X_a , devido a reação da armadura, e X_l , devido a dispersão;

No modelo do gerador, a resistência da armadura pode ser desprezada em algumas situações específicas, desde que a resistência da armadura seja significativamente menor que a reactância síncrona X_s .

É importante considerar a reactância transitória (x'_d) ou sub-transitória (x''_d) ao modelar o comportamento do gerador durante transitórios, curtos-circuitos e outras condições não estacionárias (Borges, 2005).

2.1.2.2. Modelo de linhas de transmissão

Uma linha de transmissão tem propriedades elétricas que incluem resistência e indutância, que formam a impedância em série da linha, bem como capacitância e condutância, que constituem a admitância em paralelo entre fases ou entre fase e terra (Bichels, 2018).

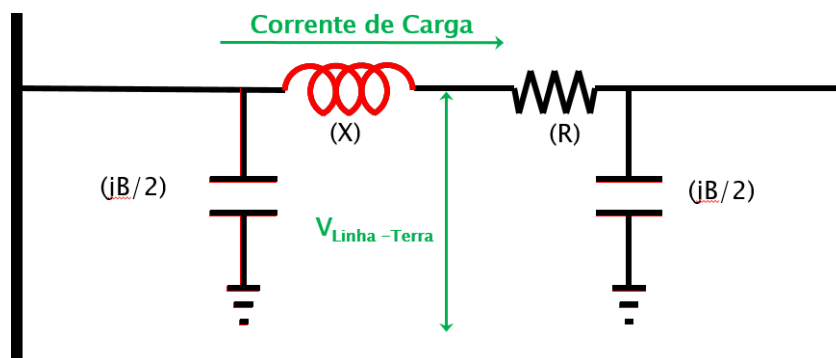
Devido a estes parâmetros as linhas:

- Geram potência reativa (MVar) devido à tensão sobre a capacitância da linha.

$$V^2 * \frac{B}{2} \quad (2.1)$$

- Absorvem potência reativa (MVar) devido à corrente de carga que flui através da indutância da linha.

$$I^2 * X \quad (2.1)$$


 Figura 4: Modelo π da Linha de Transmissão

Quando os MVar absorvidos pela reatância da linha em série equilibram os MVar gerados pela suscetância da linha ($I^2 * X = V^2 * \frac{B}{2}$), o fluxo de potência associado à corrente que gera esse equilíbrio é chamado de Carga de Impedância de Surto (SIL- *Surge Impedance Loading*).

Modelo da linha curta (até 80 km)

Nesse cenário, a capacitância da linha é negligenciada devido à sua pequena influência, e a linha é representada considerando apenas os parâmetros série, ou seja, a resistência e a indutância como mostrado na Figura 5.

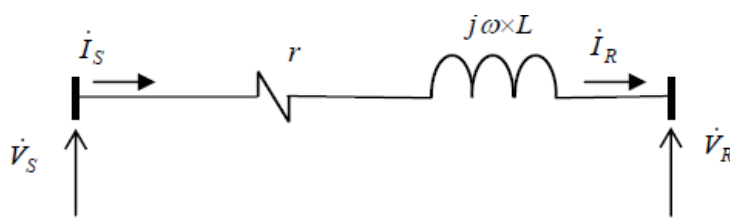


Figura 5: Modelo da linha curta

Fonte: (Borges, 2005)

Da Figura 5 pode-se tirar as seguintes equações:

$$z = r + j\omega * L \quad (2.2)$$

$$\dot{V}_S = V_R + z * \dot{I}_R \quad (2.3)$$

Modelo de linha média (entre 80 km e 240 km)

Neste caso, a capacitância da linha é considerada concentrada em ambas as extremidades da linha. Essa representação da linha é realizada por meio do modelo pi-nominal como mostrado na Figura 6.

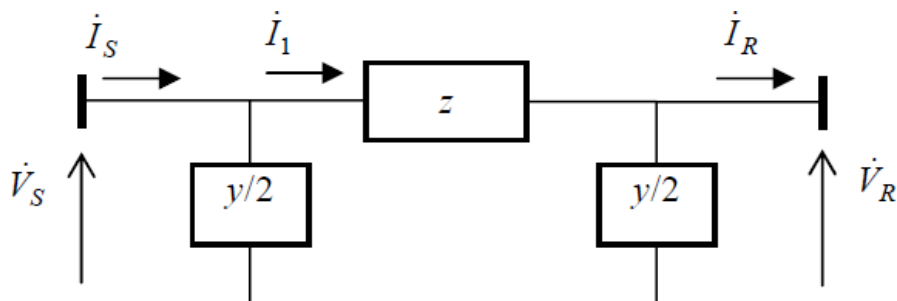


Figura 6: Modelo da linha de comprimento médio

Fonte: (Borges, 2005)

Da Figura 6 pode-se tirar as seguintes equações:

$$\dot{V}_S = V_R + z * \dot{I}_1 \quad (2.4)$$

$$I_1 = I_R + \frac{y}{2} * V_R \quad (2.5)$$

Modelo da linha longa (acima de 240 km)

O modelo de linha longa é desenvolvido levando em consideração os parâmetros distribuídos da linha, resultando em equações diferenciais parciais. Essas equações são posteriormente simplificadas para um modelo pi-equivalente, como mostrado a seguir.

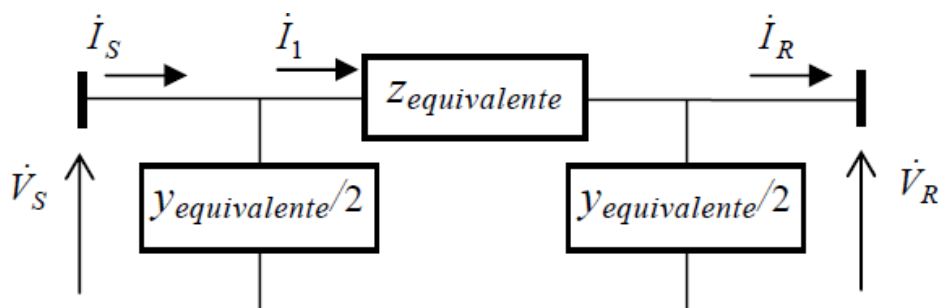


Figura 7: Modelo da linha longa

Fonte: (Borges, 2005)

Da Figura 7 pode-se tirar as seguintes equações:

$$z_{eq} = Z * \frac{\sinh(\gamma * l)}{\gamma * l} \quad (2.6)$$

$$y_{eq} = Y * \frac{\tanh(\gamma * l/2)}{\gamma * l/2} \quad (2.7)$$

Onde:

γ , constante de propagação;

l é o comprimento da linha.

2.1.2.3. Modelo de Transformadores

Os transformadores de potência são essenciais nos sistemas elétricos de potência. Eles podem ser modelados de diferentes maneiras, dependendo do nível de detalhe necessário em um estudo específico.

Transformador monofásico de dois enrolamentos

A Figura 8 mostra o modelo completo de um transformador monofásico de dois enrolamentos.

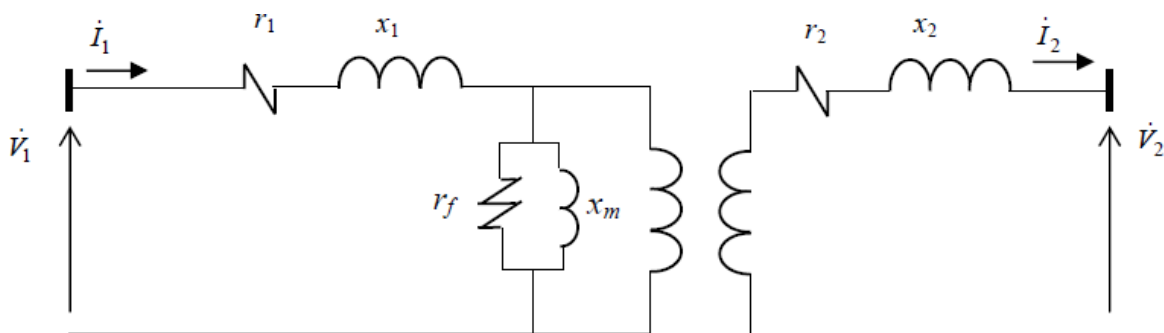


Figura 8: Modelo completo do transformador monofásico de dois enrolamentos

Fonte: (Borges, 2005)

A Figura 9 mostra o modelo completo do transformador monofásico de dois enrolamentos com todos os parâmetros referidos ao primário, onde a grandeza com primo designa grandeza refletida.

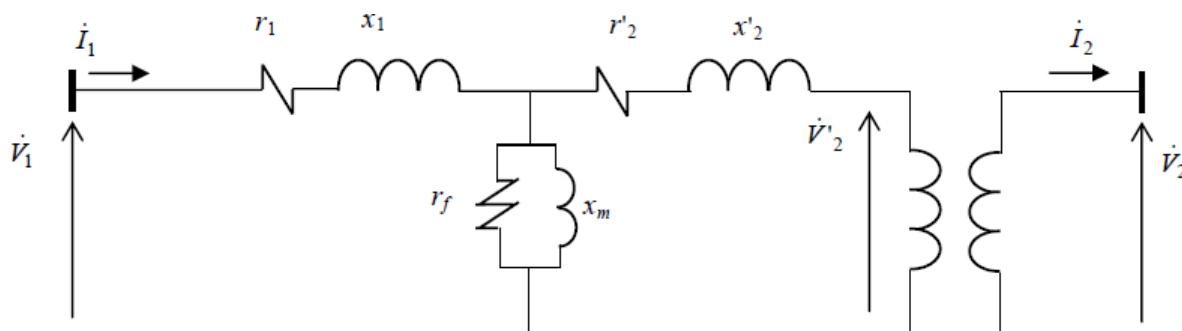


Figura 9: Modelo completo do transformador com parâmetros referidos ao primário

Fonte: (Borges, 2005)

Considerando-se que a corrente de magnetização do transformador é muito menor que a corrente de carga, e também considerando-se que o transformador é um equipamento de rendimento elevado, maior que 98%, pode-se, sem perda de exatidão, desprezar o ramo paralelo e a resistência série do transformador, resultando no modelo da Figura 10, onde:

$$x_{eq} = x_1 + x_2 \quad (2.8)$$

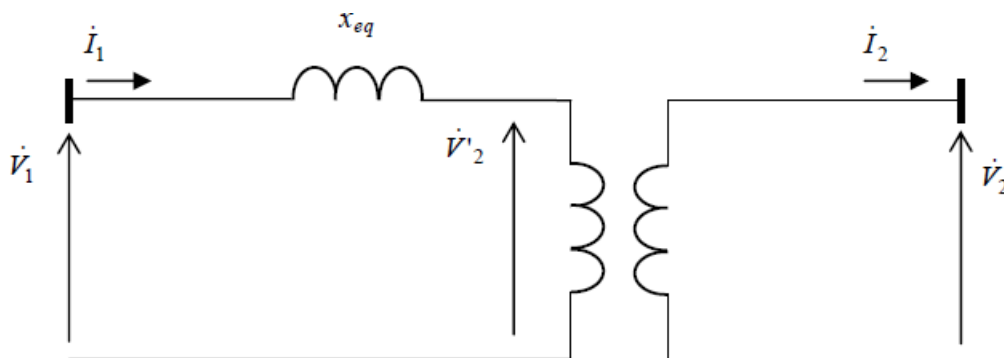


Figura 10: Modelo do transformador monofásico desprezando-se o ramo paralelo e a resistência dos enrolamentos

Fonte: (Borges, 2005)

Transformador monofásico de três enrolamentos

A Figura 11 mostra o circuito equivalente do transformador de três enrolamentos, onde o ponto de encontro dos três enrolamentos é fictício e não tem qualquer relação com o neutro do sistema.

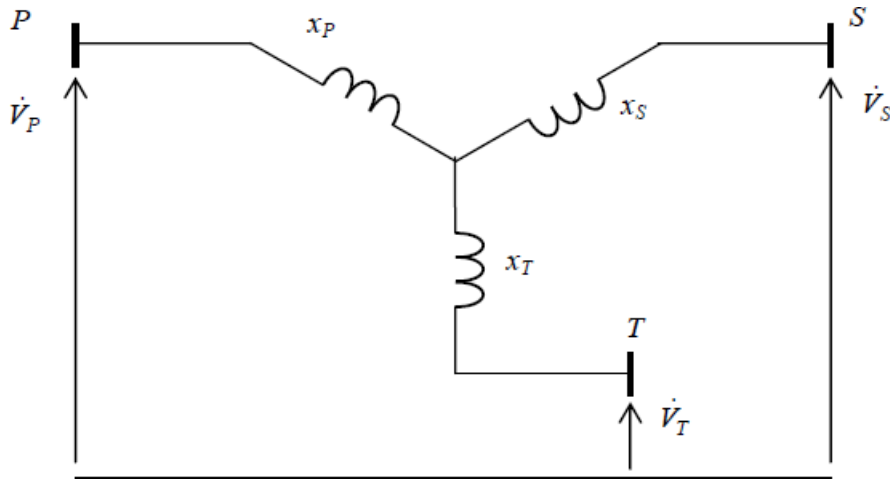


Figura 11: Circuito equivalente de um transformador de três enrolamentos

Fonte: (Borges, 2005)

Dos ensaios de curto-circuito tem-se:

$$x_{PS} = x_P + x'_S, \text{ as grandezas base são do enrolamento primário,} \quad (2.9)$$

$$x_{PT} = x_P + x'_T, \text{ as grandezas base são do enrolamento primário,} \quad (2.10)$$

$$x_{ST} = x_S + x'_T, \text{ as grandezas base são do enrolamento secundário.} \quad (2.11)$$

Referindo-se todos os parâmetros ensaiados a uma mesma base tem-se x_{PS} , x_{PT} , x_{ST} , resolvendo-se o sistema de três equações vem que:

$$x_P = 0,5 * (x_{PS} + x_{PT} - x_{ST}) \quad (2.12)$$

$$x_S = 0,5 * (x_{PS} + x_{ST} - x_{PT}) \quad (2.13)$$

$$x_T = 0,5 * (x_{PT} + x_{ST} - x_{PS}) \quad (2.14)$$

Transformador trifásico ou banco de três transformadores monofásicos

A modelagem de um transformador trifásico em estudos de curto-circuito geralmente difere da modelagem de três transformadores monofásicos. No caso de regime permanente simétrico e equilibrado, os modelos são semelhantes. No entanto, é importante prestar atenção à defasagem entre as tensões de linha primária e secundária. (Borges, 2005)

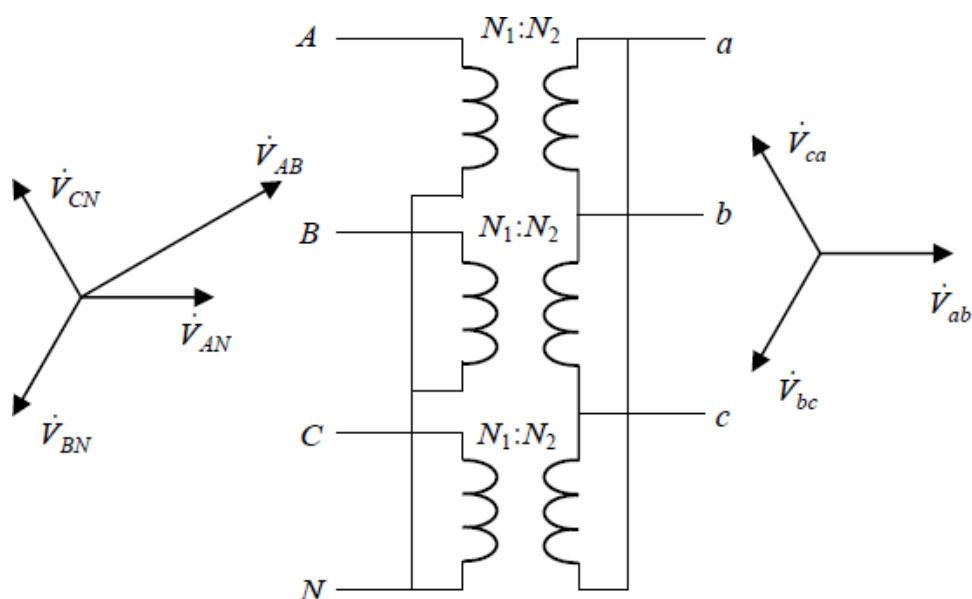


Figura 12: Transformador Y-Δ e diagramas fasoriais das tensões terminais

Fonte: (Borges, 2005)

- Se o transformador estiver ligado em delta-delta ($\Delta - \Delta$) ou estrela-estrela (Y – Y), a modelagem é idêntica ao modelo monofásico;
- Se o transformador estiver ligado em estrela-delta (Y – Δ) ou delta-estrela ($\Delta - Y$), existe defasagem de 30° entre as tensões terminais primárias e secundárias.

A seguir mostra-se um transformador trifásico Y – Δ com relação de transformação monofásica $N_1:N_2$.

A Figura 13 mostra o modelo do transformador em pu escolhendo-se as bases de tensão com a mesma relação de transformação das tensões de linha.

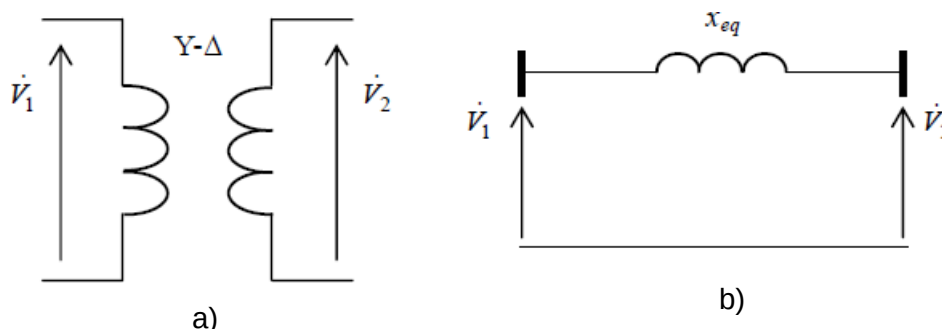


Figura 13: a) Transformador trifásico Y-Δ e b) seu modelo equivalente em pu

Fonte: (Borges, 2005)

Da Figura 13 vem:

$$\dot{V}_1 = \dot{V}_2 \angle 30^\circ \quad (2.15)$$

$$\frac{V_{1Base}}{V_{2Base}} = \frac{N_1 * \sqrt{3}}{N_2} \quad (2.16)$$

2.1.2.4. Modelo de Cargas

O modelo da carga em sistemas elétricos de potência varia de acordo com o tipo de estudo realizado. A carga pode ser representada por potência constante, corrente constante ou impedância constante. Ela é composta principalmente por motores de indução (50 a 70%), aquecimento e iluminação (20 a 30%), e motores síncronos (5 a 10%). Para simplificar os cálculos, a carga é representada de acordo com o tipo de estudo em questão e, para fins práticos, existem três maneiras de representar a carga. (Borges, 2005)

Representação da Carga para Fluxo de Potência

A carga é representada como potência ativa e reativa constantes como na Figura 14.

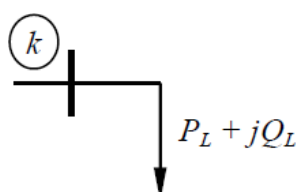


Figura 14: Representação da carga com potência constante para estudo de fluxo de potência

Fonte: (Borges, 2005)

Representação da Carga para Estudo de Estabilidade

A carga é representada por impedância constante como mostrado na Figura 15.

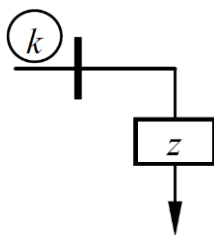


Figura 15: Representação da carga para estudo de estabilidade com impedância constante

Fonte: (Borges, 2005)

Representação da Carga para Estudo de Curto-Circuito

No estudo de curto circuitos as cargas estáticas e pequenas máquinas são desprezadas, portanto apenas as máquinas de grande porte contribuem para o curto-circuito e são consideradas (Borges, 2005).

2.2. Fluxo de Carga e Contingência

É o mais frequente estudo feito nos sistemas elétricos de potência. É o estudo que fornece a solução de uma rede elétrica (fluxo de potência através das várias linhas de transmissão), em regime permanente, para uma dada condição de operação, isto é, para uma dada condição de carga e geração, sujeitas a restrições operativas e à ação de dispositivos de controle. (Borges, 2005)

2.2.1. Formulação do Problema de Fluxo de Potência

Na formulação básica do problema, a cada barra da rede se associam quatro variáveis V_K , θ_K , P_K e Q_K . Sendo que duas delas entram no problema como variáveis, e as outras como incógnitas. São definidas na Tabela 1 os três tipos de barras de um SEP. (Jabuinski, 2021)

Tabela 1: Classificação de Barras

Tipos	Classificação	Dados de Entrada	Incógnitas à Calcular
1	Barra de Carga (PQ)	- Potência Ativa (P) - Potência Reativa (Q)	- Magnitude da Tensão (V) - Ângulo da Tensão (θ)
2	Barra de tensão controlada (PV)	- Potência Ativa (P) - Magnitude da Tensão (V)	- Potência Reativa (Q) - Ângulo da Tensão (θ)
3	Barra de Referencia ($V\theta$)	- Magnitude da Tensão (V) - Ângulo da Tensão (θ)	- Potência Ativa (P) - Potência Reativa (Q)

Fonte: (Jabuinski, 2021)

Seja a barra k com geração, carga e linhas. A figura a seguir exemplifica esta barra.

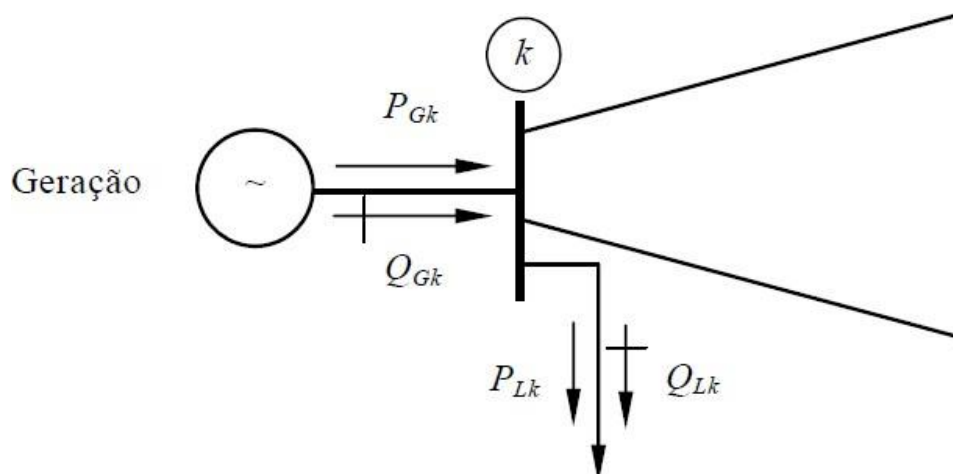


Figura 16: Barra com geração, carga e linhas

(Borges, 2005)

Nos estudos de fluxo de potência calcula-se a injeção líquida de potência em cada barra, ou seja, calcula-se para cada barra k :

$$P_k = P_{Gk} - P_{Lk} \quad (2.17)$$

$$Q_k = Q_{Gk} - Q_{Lk} \quad (2.18)$$

$$S_k = P_k + jQ_k \quad (2.19)$$

Considerando-se a injeção líquida de potência, a figura a seguir é a representação da Figura 16 para se adequar à equação $I = Y_{BARRA} * V$ onde I_k & é a injeção de corrente na barra k .

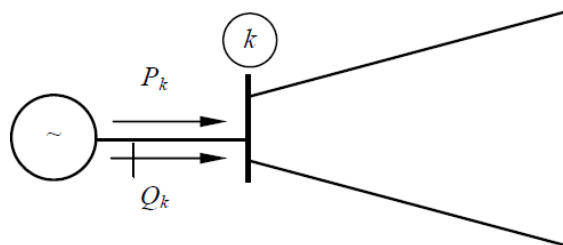


Figura 17: Figura 16 com injeção de potência líquida na barra

(Borges, 2005)

$$S_k = V_k \times I_k^* = P_k + jQ_k \quad (2.20)$$

$$\rightarrow I_k^* = \frac{P_k + jQ_k}{V_k} \quad (2.21)$$

$$\Rightarrow I_k = \frac{P_k - jQ_k}{V_k^*} \quad (2.22)$$

Das equações nodais tem-se as equações a seguir que só se aplicam às barras conectadas com a barra k .

$$\dot{I}_k = \sum_{m=1}^n Y_{km} \times \dot{V}_m \quad (2.23)$$

$$I_k^* = \sum_{m=1}^n Y_{km}^* \times V_m^* \quad (2.24)$$

Assim, substituindo 2.23 em 2.19 teremos as equações do fluxo de potência na forma complexa seguintes:

$$S_k = P_k + jQ_k = V_k \times I_k^* = V_k \times \left(\sum_{m=1}^n Y_{km}^* \times V_m^* \right), \quad k = 1, n \quad (2.25)$$

2.2.1.1. Solução da rede

- Calculam-se as tensões nas barras em módulo e ângulo;
- Calculam-se os fluxos de potência ativa e potência reativa nos elementos da rede.

2.2.1.2. Método de Gauss-Seidel

O Método de Gauss-Seidel foi o primeiro método de fluxo de potência em corrente alternada a ser desenvolvido para solução em computadores digitais. Este método é caracteristicamente longo na resolução devido a sua lenta convergência e muitas vezes é notada alguma dificuldade nas redes com condições incomuns como ramos com reactância negativa.

2.2.1.3. Método de Newton-Raphson

Uma das desvantagens do método de Gauss-Seidel encontra-se no facto de cada barramento ser tratado de forma independente. Cada correcção num barramento requer subsequentemente correcção a todos os outros barramentos a qual está conectado. O método de Newton-Raphson é baseado na ideia de calcular as correcções considerando em simultâneo todas as iterações.

2.2.1.4. Método de Fluxo de Potência Desacoplado

Ao resolver sistemas de larga escala de transmissão de energia, uma estratégia alternativa para melhorar a eficiência computacional e reduzir os requisitos de armazenamento computacional é o método de fluxo de potência desacoplado que faz uso de uma versão aproximada do procedimento de Newton-Raphson.

2.2.1.5. Comparação dos métodos iterativos

A figura a seguir mostra que o método de Newton-Raphson é o mais rápido a atingir a convergência com menos iterações, sendo portanto mais usado.

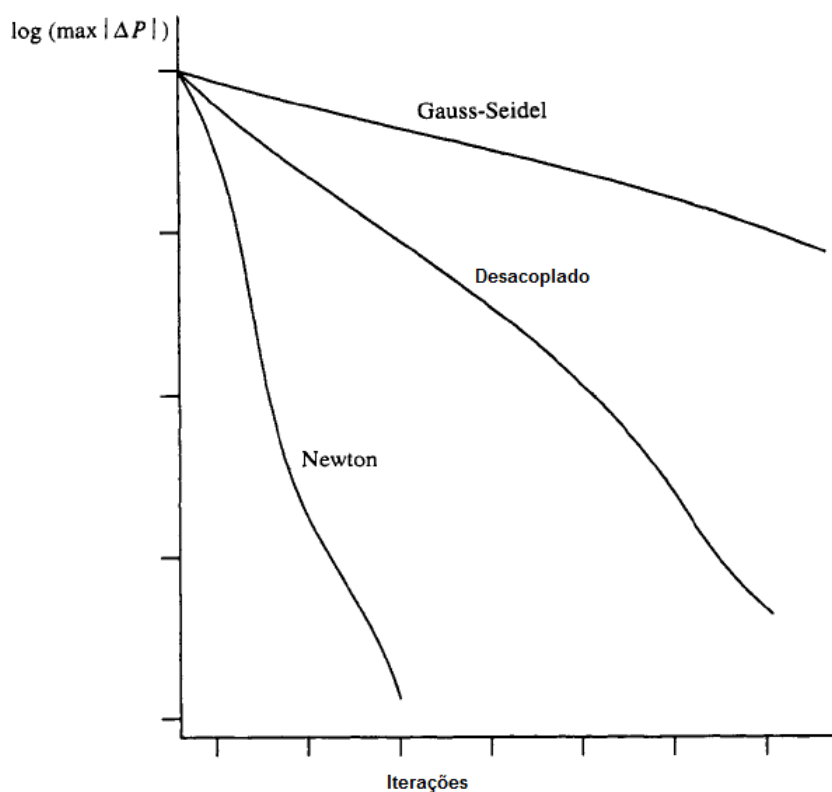


Figura 18: Comparação dos três métodos iterativos até a convergência

Fonte: (Jabuinski, 2021)

2.3. Compensação Reativa e Controle de Tensão

Assim como o despacho de MW afeta a frequência da rede, o despacho de MVAR afeta os níveis de tensão em uma rede

- A geração excessiva de MVAR em uma rede causa altas tensões;
- Um déficit de geração de MVAR em uma rede causa baixas tensões;

As redes de transmissão são projetadas para operar em um nível de tensão específico. Isto é ditado principalmente pelos custos de isolamento dos equipamento. As redes de 400 kV oferecem enormes benefícios para o transporte de energia por longas distâncias, mas são mais caras de construir do que as de 275 kV.

O equipamento é construído para suportar certos desvios de tensão da tensão nominal. Fora destes limites, podem ocorrer danos ao equipamento.

Transferência de potência entre dois barramentos:

$$Pr = \frac{Vs \cdot Vr}{X} \sin \delta \quad (2.26)$$

$$Qr = \frac{Vr}{X} (Vs \cdot \cos \delta - Vr) \quad (2.27)$$

- Vr deve ser menor que $Vs \cos \delta$ para que MVAR flua de Vs para Vr .
- $\cos \delta$ é próximo de 1,0 para pequenos ângulos de transmissão
- MVAR sempre flui de alta tensão para baixa tensão

2.3.1. Geradores e Absorventes de Potencia Reativa

- Cargas;
- Máquinas Síncronas (gens e SCO's);
- Linhas de transmissão;
- Capacitores em série;
- Capacitores e Reatores Shunt;
- Fator de potência;
- SVCs;
- Transformadores.

2.3.1.1. Cargas

Cargas diferentes têm características diferentes assim como geram uma dependência de tensão das cargas diferentes:

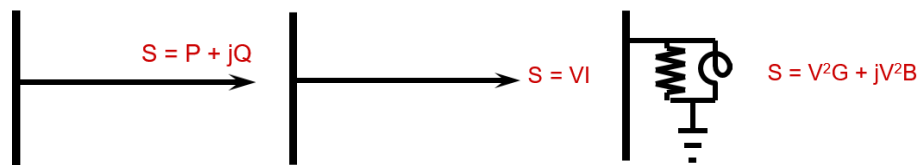


Figura 19: Modelo de carga de Potência Constante, Corrente Constante e Impedância Constante
Fonte: Adaptado, PNO tranining 2023

- Corrente Constante (A tensão é dependente, Figura 20)
- Modelos de impedância constante (A tensão dependente do quadrado, Figura 20)
- Potência Constante: (A tensão independe, Figura 20),

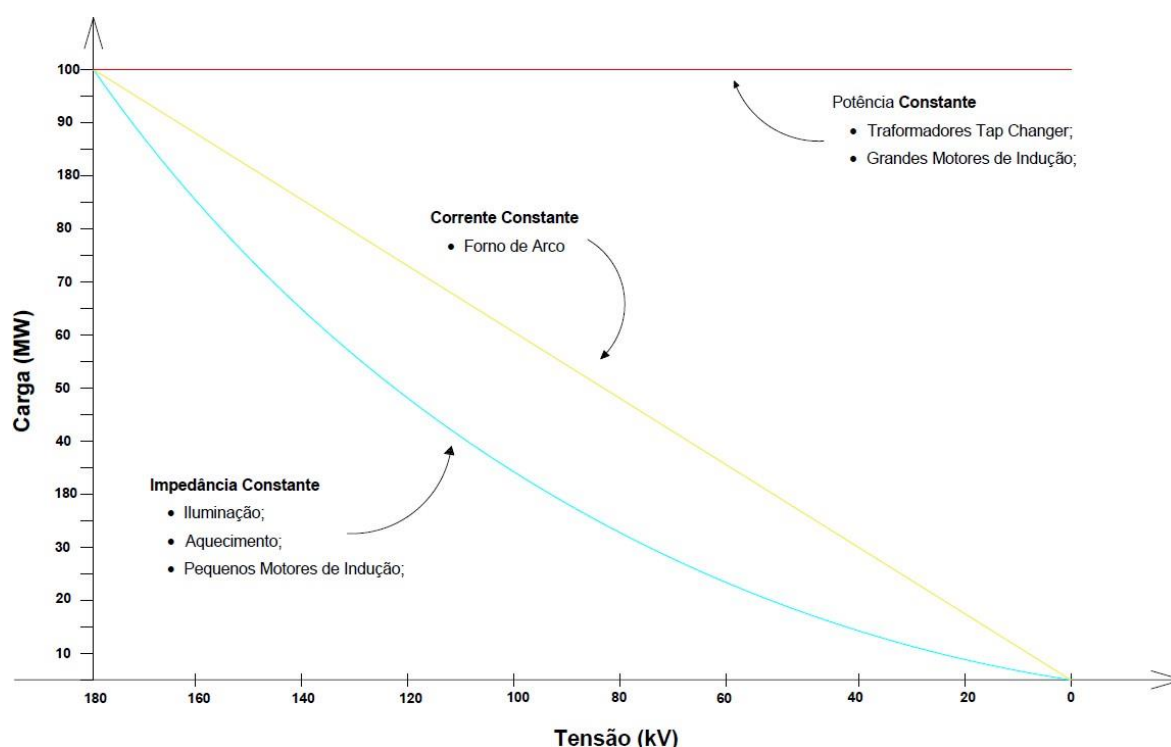


Figura 20: Comparação do perfil da tensão com a carga no 3 modelos de carga

Fonte: Adaptado, PNO tranining 2023

As cargas industriais muitas vezes consomem grandes quantidades de energia reativa e precisam ser compensadas. A maneira mais comum de compensar a carga é usando capacitores shunt de correção do fator de potência.

2.4. Estabilidade Transitória e Curto-Circuito

2.4.1. Estabilidade de Sistemas de Potência

Estabilidade de um sistema é a propriedade que o sistema tem de permanecer em um estado de equilíbrio em regime permanente ou atingir um estado de equilíbrio após ser submetido a uma perturbação. A preocupação do estudo de estabilidade é em relação à resposta dinâmica do sistema frente a perturbação. (Borges, 2005)

As tabelas a seguir resumem os tipos de instabilidade, perturbação e estudos de estabilidade em um formato claro e organizado.

Tabela 2: Tipos de Instabilidade

Tipos de Instabilidade	Descrição
Perda de Sincronismo	Instabilidade angular que afeta a posição angular do rotor
Colapso de Tensão	Instabilidade da tensão do sistema

Fonte: Adaptado de (Borges, 2005)

Tabela 3: Tipos de Perturbação

Tipos de Perturbação	Descrição
Grandes Perturbações	 Curto-circuito  Variações abruptas de carga  Perda de geradores  Perda de linha.
Pequenas Perturbações	 Variações normais de carga.

Fonte: Adaptado de (Borges, 2005)

Tabela 4: Tipos de Estudos de Estabilidade

Tipos de Estudos de Estabilidade	Descrição
Estabilidade Angular - Grande Perturbação	 Estuda a estabilidade transitória após grandes perturbações;
Estabilidade Angular - Pequena Perturbação	 Avalia a estabilidade em regime permanente para diferentes níveis de carga, bem como a estabilidade dinâmica, considerando o controle de tensão e velocidade;
Estabilidade de Tensão - Grande Perturbação	Analisa a estabilidade de tensão após grandes perturbações;
Estabilidade de Tensão - Pequena Perturbação	Trata da estabilidade de tensão em resposta a pequenas perturbações.

Fonte: Adaptado de (Borges, 2005)

2.4.2. Curto-Circuito

O nível de curto-circuito em qualquer ponto da rede é a corrente máxima que pode fluir em caso de um curto-circuito nesse ponto e, é uma indicação de quão "forte" é a rede em um ponto específico.

O cálculo da corrente de curto-circuito é necessário para a especificação dos equipamentos de um sistema elétrico:

- Disjuntores - capacidade máxima de interrupção de curto-circuito;
- Barramentos;
- Suportes de barramento;
- Cabos, condutores e equipamentos de manobra projetados para suportar estresses térmicos e mecânicos devido a correntes de curto-circuito;
- Malhas de aterramento.

Necessário para as configurações de proteção de:

- Linhas
- Zona do barramento
- Transformadores
- Geradores

Durante o curto-circuito, altas correntes são estabelecidas, com a elevação de temperaturas e solicitações térmicas, além dos esforços mecânicos e deformações de materiais (Zanetta_Jr., 2006).

A corrente de curto-circuito / nível de curto-circuito é calculada a partir das impedâncias dos equipamentos conectados e das linhas de interconexão de volta à fonte.

2.5. Integração de Centrais de Grande Porte na Rede Elétrica

2.5.1. Condições Técnicas para Integração de Centrais

Essas condições garantem a segurança e a estabilidade do sistema elétrico ao integrar centrais à RNT, seguindo normas técnicas específicas.

2.5.1.1. Normas Técnicas

- Código da Rede Nacional de Transporte
 - Capítulo II, Artigo 24
 - Capítulo III, Artigos 25 e 26
- Código de Conexão de Centrais Renováveis à Rede da ESKOM
- Norma IEC 61000-4-30 (Medição de Qualidade de Energia)

2.5.1.2. Geradores Síncronos

As condições técnicas de conexão à Rede Nacional de Transporte (RNT) são baseadas em critérios específicos, conforme o Art. 25 - *Requisitos Técnicos de Geradores Síncronos Conectados à Rede*, que incluem:

- O Gestor da RNT pode exigir que grupos de geradores tenham capacidade de "arranque autónomo" (black-start).
- Grupos sem arranque autónomo devem ser capazes de operar em ilha.
- Grupos com arranque autónomo devem comprovar essa capacidade por meio de testes definidos pela EDM.
- Todos os grupos geradores devem ter estabilizadores de potência (Power System Stabilizer) para garantir rápida estabilização do sistema.
- Os grupos geradores devem estar permanentemente ligados aos reguladores automáticos de tensão e fornecer controle de tensão constante.
- Cada gerador síncrono deve ser capaz de operar estável em qualquer ponto da curva P-Q e fornecer potência máxima em diferentes fatores de potência.
- Os grupos devem fornecer potência nominal na faixa de 48.5 Hz a 51.5 Hz, permitindo paralelismo manual nesse intervalo.
- O estatismo dos grupos deve ser ajustável entre limites, com uma banda de insensibilidade dos reguladores inferior a ± 36 mHz.
- As centrais devem ser capazes de operar em modos de controle de tensão (V), fator de potência ou potência reativa (MVar), conforme definido pelo operador do sistema.
- As linhas de interligação até as subestações da EDM devem cumprir o critério de N-1, com a definição do modo de operação pelo operador do sistema.

CAPÍTULO III

3. A CENTRAL TÉRMICA DE BELULUANE

3.1. Localização e contexto da central térmica

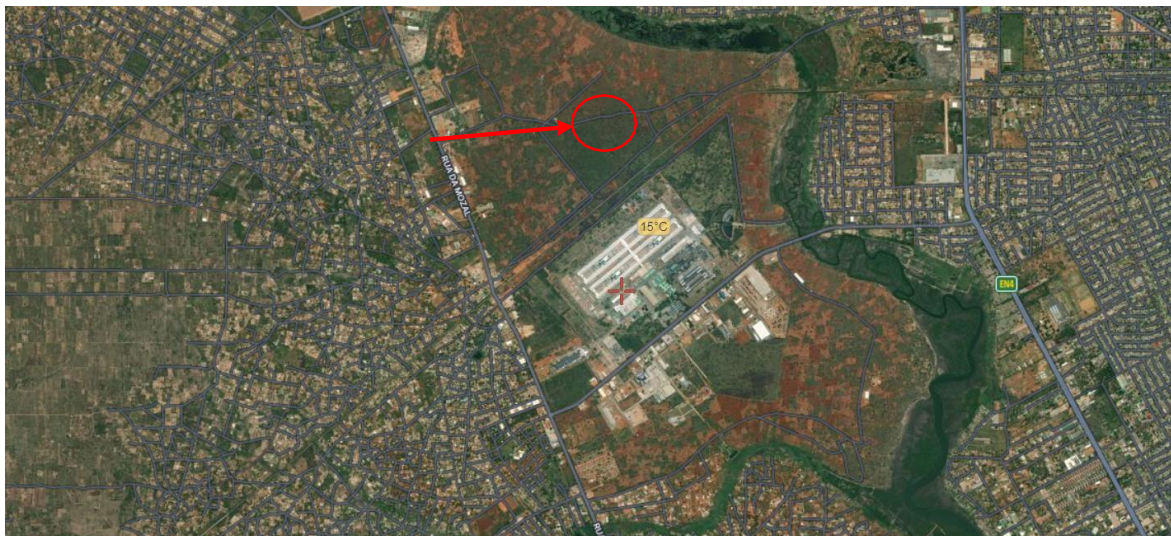


Figura 21: Local de implantação de Central térmica de Beluluane
Fonte: (DTSU, 2022)

A Central Térmica de Beluluane estará localizada na região de Beluluane, no sul de Moçambique. A central térmica está situada adjacente à subestação de Maputo (MOTRACO), o que facilita a conexão à rede elétrica e a distribuição da eletricidade gerada para a região.

A Central Térmica de Beluluane tem como principal propósito a geração de eletricidade para atender às demandas energéticas da região de Maputo, no sul de Moçambique nos próximos anos devido a previsão do crescimento da carga.

3.2. Capacidade de Geração e Tecnologia da Central

O Projeto CTB adotará a tecnologia de ciclo combinado a gás (CCGT) e será desenvolvido em duas fases, com uma capacidade líquida total de cerca de 2000 MW:

Fase 1: 1250 MW (2026)

Fase 2: 750 MW (2028)

O projeto de transmissão proposto para integrar a usina consiste em:

- 🚧 Estabelecimento de uma subestação de 400 kV adjacente à usina.

- ✚ Construção de 3 linhas aéreas de 400 kV, com 2,5 km cada (circuito simples), equipadas com condutores Triple-Bersfort projetados para operar a 60 graus Celsius e capacidade de corrente de 3.402 amperes.

Supõe-se nesse estudo que cada unidade geradora será conectada à subestação da usina por meio de um transformador gerador com classificação de 400/12 kV e 600 MVA, com uma impedância de 12% em relação à classificação do transformador.

3.3. Principais Componentes da Central

A central é composta por diversos componentes essenciais, incluindo:

- ✚ **Turbina a Gás:** A turbina a gás é responsável por acionar o gerador principal, convertendo a energia do gás em energia mecânica. A central terá 3 turbinas a gás.
- ✚ **Turbina a Vapor:** A turbina a vapor opera em conjunto com a turbina a gás, aproveitando o calor residual da turbina a gás para gerar eletricidade adicional. A Central contará com 2 turbinas a vapor.
- ✚ **Geradores Síncronos:** A central térmica possuirá 5 geradores síncronos que convertem a energia mecânica gerada pelas 5 turbinas em energia elétrica de corrente alternada trifásica.
- ✚ **Sistema de Controle e Monitoramento:** A usina é equipada com sistemas avançados de controle e monitoramento para garantir a operação segura e eficiente.
- ✚ **Outros Componentes:** Além disso, a central possui sistemas de resfriamento, sistemas de tratamento de água, sistemas de segurança etc.

3.4. Benefícios e Desafios da Central

A Central Térmica de Beluluane traz consigo uma série de benefícios e desafios para a região onde está localizada:

3.4.1. Benefícios Esperados

- ✚ **Aumento na Geração de Energia:** A usina contribuirá significativamente para o aumento da capacidade de geração de energia na região, o que é fundamental para atender à crescente demanda de eletricidade.

- ✚ **Fornecimento de Energia Fiável:** A central térmica, ao usar tecnologias modernas, deverá fornecer eletricidade de forma mais estável e fiável, reduzindo as interrupções no fornecimento de energia.
- ✚ **Diversificação da Matriz Energética:** A diversificação da matriz energética, com a utilização de gás natural como combustível, pode aumentar a segurança do abastecimento e reduzir a dependência de fontes de energia importadas.
- ✚ **Criação de Empregos:** Durante a construção e operação da central, são esperadas oportunidades de emprego para a comunidade local, contribuindo para o desenvolvimento económico da região.

3.4.2. Desafios e Preocupações Potenciais

- ✚ **Impacto Ambiental:** A queima de combustíveis fósseis, como o gás natural, pode ter impactos ambientais significativos, como a emissão de gases de efeito estufa.

É importante que medidas de mitigação e redução de impacto ambiental sejam implementadas.

- ✚ **Segurança Energética:** A central térmica deve assegurar um abastecimento de energia contínuo e seguro, minimizando o risco de falhas no sistema elétrico.
- ✚ **Necessidade de Infraestrutura Adicional:** Para integrar a energia produzida pela central na rede elétrica, pode ser necessária a expansão da infraestrutura de transmissão e distribuição.
- ✚ **Coordenação Regulatória e Operacional:** A integração da central térmica na rede elétrica exige uma coordenação eficaz com as autoridades reguladoras e operadoras de rede para garantir um funcionamento suave.

3.5. Outros Desenvolvimentos na geração

3.5.1. Projeto Karpower

O Projeto Karpower consiste em uma usina de energia flutuante com capacidade de 400 MW que será ancorada em Maputo. A usina flutuante de energia será conectada à subestação de 275 kV em Matola por meio de 2 circuitos de linha de transmissão de 275 kV, com um comprimento de 4 km. O projeto tem previsão de comissionamento até 2023. A operação planejada da usina e a duração do Acordo de Compra de Energia (PPA) ainda estão por serem esclarecidas (EDM, 2022).

3.5.2. Projeto Gigawatt 2

O Projeto Gigawatt 2 é uma usina de energia a gás com capacidade de 200 MW que será localizada em Resano Garcia, próxima à usina de energia existente, Gigawatt 1. A usina é esperada para ser comissionada em 2023, inicialmente como uma usina de energia de emergência. Para fins desta análise, pressupõe-se que a usina será desativada quando a Fase 1 do Projeto CTB entrar em operação (EDM, 2022).

3.5.3. Projeto de Energia Eólica Namaacha

O Projeto de Energia Eólica Namaacha refere-se a um parque eólico de 120 MW que será instalado em Namaacha, no sul de Moçambique.

3.5.4. Projeto CTT

O Projeto CTT compreende uma usina de energia a gás com capacidade de 450 MW, situada nas proximidades de Vilanculos. A usina de energia será conectada à rede por meio de uma nova linha de transmissão de circuito único de 400 kV, que interligará Temane a Maputo, passando por novas subestações de 400 kV em Vilanculos, Chibuto e Matalane.

Tanto o projeto de energia quanto o projeto de transmissão associado estão atualmente em construção, e prevê-se que sejam comissionados até 2025.

CAPÍTULO IV

4. CARACTERIZAÇÃO DA REDE

A rede nacional de transporte está dividida em quatro divisões:

- Divisão de transporte Sul (DTSU) – Alimentada pela HCB via Eskom/MOTRACO, Central de Corumana, CTRG, Gigawatt, CTM e Central Térmica de Kuvaninga;
- Divisão de Transporte Centro (DTCE) – Alimentada pela Hidroelétrica de Cahora Bassa e pelas Centrais de Mavuzi e Chicamba;
- Divisão de transporte Centro-Norte (DTCN) – Alimentada pela Hidroelétrica de Cahora Bassa;
- Divisão de transporte Norte (DTNO) – alimentada pela Hidroelétrica de Cahora Bassa por via da DTCN.

4.1. Mapa da Rede da Região Sul

A figura a seguir apresenta um mapa da rede elétrica de Moçambique (EDM) na região sul do país, que é o foco deste estudo. (ANEXO A1-Mapa Completo)

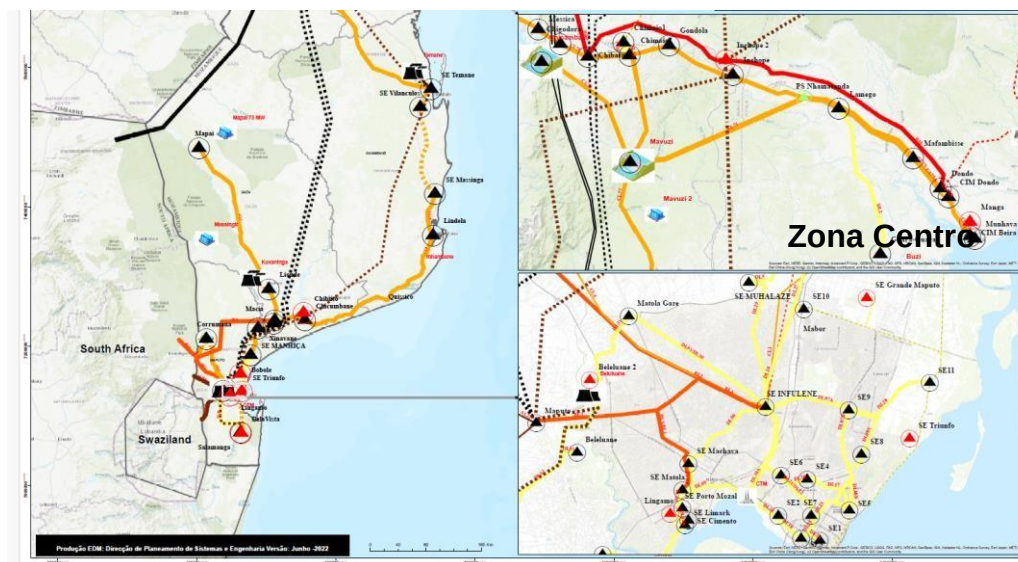


Figura 22: Mapa da rede da EDM na região sul

Fonte: (DTSU, 2022)

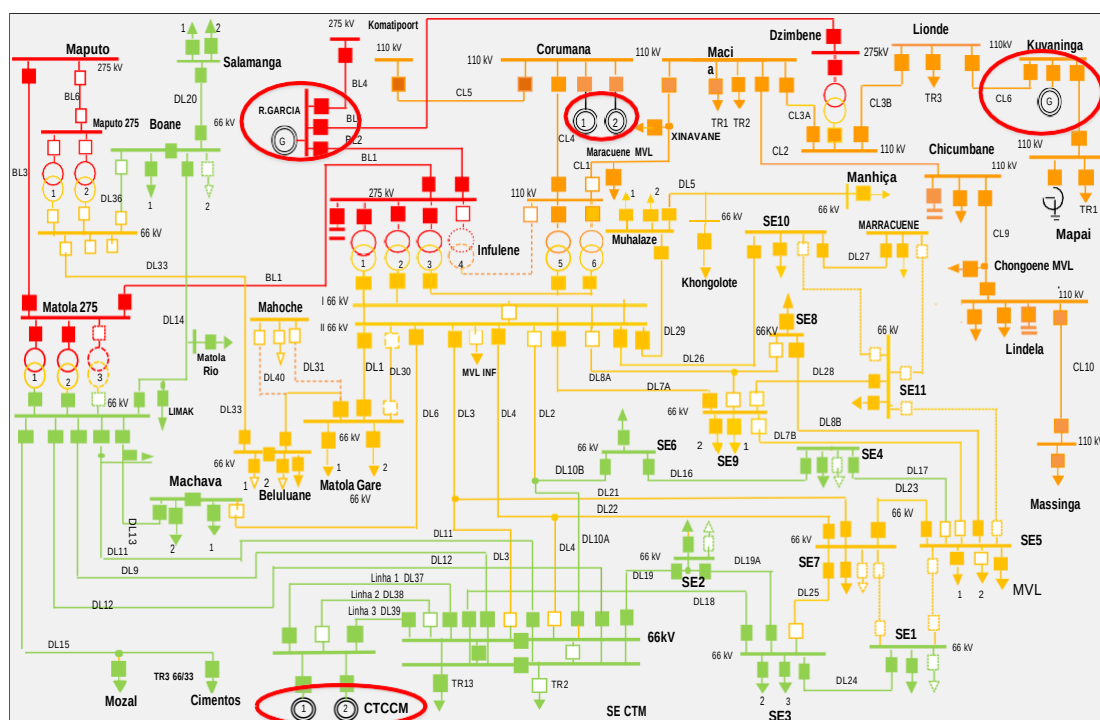
Este mapa fornece uma visão geral dos principais elementos da infraestrutura elétrica (Usinas, Subestações e linhas) nessa área.

Os níveis de tensão encontrados nestas áreas são:

Vermelho – 275kV; Laranja – 110kV; Amarelo – 66kV

Pág. 29

Essa representação é essencial para a modelagem da rede no software PSS/E para a análise da integração da Central Térmica de Beluluane.



Algumas observações importantes sobre a figura:

- **Central Térmica de Ressano Garcia (CTRG):** Central térmica com uma capacidade de geração de 175 MW;
- **Central Térmica de Gigawatt:** Central térmica com uma capacidade de geração de 120 MW;
- **Central Térmica de Maputo (CTM):** Central térmica com uma capacidade de geração de 106 MW;
- **Central Térmica de Kuvaninga:** Central térmica com uma capacidade de geração de 40 MW;
- **Hidroelétrica de Corumana:** Hidrelétrica com uma capacidade de geração de 12 MW;

- **Hidroelétrica de Cahora Bassa:** Para além dessas centrais, a região sul é também alimentada com uma potência 200 MW da Hidroelétrica de Cahora Bassa.

A linha Maputo-Matola (BL3 275kV) é atualmente a principal fonte de contribuição de energia reativa capacitiva. A sua indisponibilidade representa atualmente instabilidade de tensões na rede sul.

A figura do ANEXO 3, demonstra onde se pretende integrar a CTB.

CAPÍTULO V

5. MODELAGEM NO PSS/E 33.5.2

O *Power System Simulator for Engineering* (PSS®E) é uma ferramenta de software usada pelos participantes de transmissão eléctrica de todo o mundo. As análises probabilísticas e capacidade avançadas de modelagem dinâmica incluídas no PSS®E fornecem aos engenheiros de planeamento e operações de transmissão uma ampla gama de metodologias para o uso durante o projecto e operação de redes fiáveis. É um programa integrado e interactivo para simulação, análise e optimização do desempenho de sistemas de energia. Além disso, fornece aos usuários métodos avançados em muitas áreas técnicas, tais como: Análise do Fluxo de Potência, Análise de curto-circuito, Análise de Contingência, entre outras.

Neste projeto foi usada versão 33.5.2 do PSS/E no qual a modelagem dos equipamentos é feita da forma seguinte:

5.1. Modelagem de Barramentos

A figura a seguir mostra como são inseridos os dados do barramento (Tensão nominal, tipo de barramento, nome e número do barramento).

Basic Data		Grouping Data	
Bus Number	5946	Area	55
Bus Name	MAPUT4	Owner	55
Type Code	1 - Non-Gen Bus	Zone	60
Base kV	400.0		
Voltage (pu)	1.0329		
Angle (deg)	-12.67		

Limit Data			
Normal Vmax (pu)	Normal Vmin (pu)	Emer Vmax (pu)	Emer Vmin (pu)
1.05	0.95	1.10	0.90

Figura 25: Dados de entrada do barramentos no PSS/E 33.5.2

Fonte: (Adaptado, PSSE 2023)

5.2. Modelagem de Geradores

O gerador é o elemento responsável por produzir a potência que será transmitida. Assume-se que o gerador está conectado a um barramento k por um transformador elevador cuja impedância é $Z_t = (R_t + jX_t)$ por unidade nos dados de base do gerador

Machine Data Record

Power Flow | Short Circuit

Basic Data

Bus Number: 2 | Bus Name: 12.000

Machine ID: 1 | ☒ In Service | Bus Type Code: 2

Machine Data

Pgen (MW): 417.0000 | Pmax (MW): 470.0000 | Pmin (MW): 0.0000

Qgen (Mvar): 0.0000 | Qmax (Mvar): 0.0000 | Qmin (Mvar): 0.0000

Mbase (MVA): 550.00 | R Source (pu): 0.000000 | X Source (pu): 0.260000

Transformer Data

R Tran (pu): 0.00000

X Tran (pu): 0.00000

Gentap (pu): 1.00000

Owner Data

Owner	Fraction
1 Select ...	1.000
0 Select ...	1.000
0 Select ...	1.000
0 Select ...	1.000

Wind Data

Control Mode: 2 - +, - Q limits based on WPF

Power Factor (WPF): 1.000

Plant Data

Sched Voltage: 0.9500 | Remote Bus: 0

OK | Cancel

Figura 26: Dados de Entrada de Geradores no PSS/E 33.5.2

Fonte: (Adaptado, PSSE 2023)

5.3. Modelação do transformador

O transformador tem o papel de baixar ou elevar a tensão na rede. Os parâmetros de entrada principais são, a reactância equivalente de dispersão por unidade, a capacidade de potência (MVA) e o número de taps do transformador. Tem-se a possibilidade de regular os taps dentro dos limites (0,95-1,05), o que ajuda no controle das tensões do sistema.

Two Winding Transformer Data Record ✕

Power Flow

Short Circuit

Line Data

From Bus Number	606	From Bus Name	400.00	☒ In Service
To Bus Number	701	To Bus Name	12.000	☒ Metered on From end
Branch ID	1	Transformer Name		☒ Winding 1 on From end
		Vector Group		

I/O Data

Winding I/O Code	Impedance I/O Code	Admittance I/O Code
1 - Turns ratio (pu on bus base kV)	1 - Z pu (winding kV system MVA)	1 - Y pu (system base)

Transformer Impedance Data

Specified R (pu)	Specified X (pu)
0.000000	0.000100
Magnetizing G (pu)	Magnetizing B (pu)
0.000000	0.000000
Impedance Table	
0	
R table corrected (pu)	X table corrected (pu)
0.000000	0.000100

Transformer Nominal Ratings Data

Winding 1 Ratio (pu)	Winding 1 Nominal kV	Winding (1-2) Angle (degrees)
1.0000	0.0000	0.00
Winding 2 Ratio (pu)	Winding 2 Nominal kV	Winding MVA
1.0000	0.0000	100.0000
Rate A (MVA)	Rate B (MVA)	Rate C (MVA)
700.0	700.0	0.0

Control Data

Controlled Bus Number	Controlled Bus Name	Control Mode
0		0- None
☐ Controlled Bus On Winding Side	☒ Auto Adjust	
Tap Positions	Wnd Connect Angle	Load Drop Comp
33	0.00000	Load Drop R (pu)
R1max (pu)	R1min (pu)	0.00000
1.10000	0.90000	Load Drop X (pu)
Vmax (pu)	Vmin (pu)	0.00000
1.10000	0.90000	

Owner Data

Owner	Fraction
1	1.000
0	1.000
0	1.000
0	1.000

OK Cancel

Figura 27: Dados de Entrada de Transformadores no PSS/E 33.5.2

Fonte: (Adaptado, PSSE 2023)

5.4. Modelagem das linhas

As linhas, são as responsáveis por fazer chegar a potência ao seu destino. Os dados principais a serem introduzidos são: a resistência equivalente, reactância equivalente, susceptância equivalente, capacidade máxima de transferência (MVA).

Branch Data Record

Power Flow | Short Circuit

Basic Data

From Bus Number: 97111 From Bus Name: INFULENE 275.00 ☒ In Service

To Bus Number: 97311 To Bus Name: MATOLA A 275.00 ☐ Metered on From end

Branch ID: 1 Branch Type: 3 - Branch

Branch Data

Line R (ohms)	Line X (ohms)	Charging B (uF)
0.907770	5.256770	0.180750
Rate A (I as MVA)	Rate B (I as MVA)	Rate C (I as MVA)
479.0	479.0	0.0
Line G From (pu)	Line B From (pu)	
0.00000	0.00000	
Line G To (pu)	Line B To (pu)	Length
0.00000	0.00000	16.000

Owner Data

Owner	Fraction
5 Select ...	1.000
0 Select ...	1.000
0 Select ...	1.000
0 Select ...	1.000

OK Cancel

Figura 28: Dados de Entrada de Linhas no PSS/E 33.5.2

Fonte: (Adaptado, PSSE 2023)

CAPÍTULO VI

6. SIMULAÇÕES E ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1. Pressupostos das Simulações

6.1.1. A Rede Sul

Os parâmetros das linhas de transmissão da rede sul, e dos transformadores de potência utilizados neste trabalho foram obtidos da caracterização da rede nacional de transporte conforme a Figura 23.

O estudo considera dois cenários de desenvolvimento, representando o sistema em 2023 e 2028, respetivamente. Esses dois cenários são os anos antes e depois da construção e integração da CTB.

6.1.2. Carga da Rede

A Tabela 5 mostra a projeção da carga nas redes da EDM nas regiões Sul, Centro e Norte para os anos de 2023 e 2028. Essa projeção leva em consideração o crescimento anual da carga máxima, que é estimado em 5%. A carga mínima é calculada como 60% da carga máxima na rede sul, refletindo uma variação típica entre os picos e as demandas mínimas.

Além disso, é importante notar que a carga da Mozal, que é identificada separadamente, permanece constante em 920 MW ao longo desses anos.

Tabela 5: Carregamento da Rede

Região	Carga (2023)		Carga (2028)	
	Pico (MW)	Mínima (MW)	Pico (MW)	Mínima (MW)
Sul	540	324	699	420
Centro	208	124	271	163
Norte	634	381	699	420
Mozal	920	920	920	920

Fonte: (DTSU, 2023)

6.1.3. Capacidade de Geração

A Tabela 6 apresenta informações sobre a capacidade atual de geração de energia elétrica em Moçambique, bem como as projeções das mesmas centrais para o ano de 2028.

Tabela 6: Capacidade de geração atual

Nome da Central	Tipo de Central	Capacidade Atual (MW)	Capacidade 2028(MW)
Cahora Bassa	Hidrelétrica	2000	2000
CTRG	Térmica	175	175
Gigawatt	Térmica	120	120
CTM	Térmica	106	106
Kuvaninga	Térmica	40	40
Corumana	Hidrelétrica	12	12
Mocuba	Solar	30	30
Metoro	Solar	30	30
Total		2513	2513

Fonte: (DTSU, 2023)

Conforme a tabela anterior, atualmente, o país dispõe de uma variedade de centrais elétricas, incluindo hidrelétricas, centrais térmicas e centrais solares.

As capacidades dessas centrais permanecem constantes nas projeções para 2028, o que indica que não se esperam alterações na capacidade de geração de energia elétrica durante esse período

6.1.3.1. Desenvolvimentos na Geração

A Tabela 7 fornece informações detalhadas sobre a expansão da capacidade de geração de energia até o ano de 2028 em Moçambique.

Tabela 7: Capacidade de Geração ate 2028

Nome da Central	Tipo de Central	Ano de Integração	Capacidade 2028 (MW)
Cuamba 1	Solar	2023	15
Namaacha	Eólica	2023	120
Gigawatt 2	Térmica	2023	200
Karpower (Maputo)	Térmica	2023	400
Cuamba 2	Solar	2024	30
Pemba	Solar	2024	20
CTT	Térmica	2025	450
CTB fase 1	Térmica	2026	1250
CTB fase 2	Térmica	2028	750
Total			5448

Fonte: (DTSU, 2023)

Nesse período, estão previstas várias adições de usinas de diferentes tipos, incluindo usinas solares, eólicas e térmicas.

6.1.3.2. Desenvolvimentos na transmissão

A Tabela 8 apresenta os desenvolvimentos planeados na rede de transmissão elétrica, incluindo os comprimentos das linhas, as tensões associadas e os anos de comissionamento estimados.

Tabela 8: Desenvolvimentos na Transmissão

Troço da Linha	Comprimento de Linha (km)	Tensão (kV)	Ano de Comissionamento
CTT – Vilanculos	2×25	400	2025
Vilanculos – Chibuto	340	400	2025
Chibuto - Matalane	181	400	2025
Matalane – Maputo	40	400	2025
Matambo – Phombeya	218	400	2025
Chimuara – Alto Molócue	367	400	2025
Alto Molócue - Namialo	266	400	2025
Nampula – Namialo	90	220	2025
Namialo – Nacala	100	220	2025
CTB - Maputo	3×2,5	400	2026

Fonte: (DTSU, 2023)

6.1.4. Critério de Planeamento

Os estudos realizados foram feitos seguindo os seguintes critérios:

- Desvios de tensão não superiores +/-5%

Sistema Normal 0.95 – 1.05

Sistema em contingência 0.95 – 1.05

Para a integração da central de Beluluane será usado um circuito de 3 linhas de circuito duplo segundo os princípios do código de rede nacional a seguir;

- Um sistema normal (n) deve estar constantemente em serviço.
- Com uma linha de conexão fora de serviço (n-1), deve ser possível transmitir a saída total da central elétrica para o sistema em qualquer condição de carga do sistema.

- Com as duas falhas de linha mais onerosas (n-2), deve ser possível transmitir a saída total da central elétrica, excluindo sua menor unidade, para o sistema.

6.1.5. Parâmetros dos Geradores

Acionados por turbinas a gás

- $P = 3 \times 470 \text{ MW}$;
- $S = 3 \times 550 \text{ MVA}$;
- $X = 3 \times 0.26 \text{ pu}$

Acionados por turbinas a vapor.

- $P = 2 \times 296 \text{ MW}$;
- $S = 2 \times 346 \text{ MW}$
- $X = 3 \times 0,19 \text{ pu}$

Modo de controle dos geradores

- Voltage mode

Fator de potência

- 0.95

6.1.6. Pressupostos de Modelação da rede

Para os estudos feitos, foram considerados como principais os barramentos de Maputo 132 A e B, Maputo 400, Maputo 275 A e B, Matola 275 A e B, Matola 66 A e B, CTCCM, Infulene, Limak 66 e Limak 33, Matola Rio, Boane 66 e Boane 33 e Salamanga.

6.2.1.1. Avaliação do perfil de Tensão no estado normal

A tabela a seguir mostra o perfil da tensão para o ano de 2023, antes da integração da Central Térmica de Beluluane e sob condições de carga máxima (540MW).

Onde:

$$U = U_{base} * U_{p.u.} \quad (2.28)$$

Tabela 9: Perfil da tensão da rede sul em 2023 (Antes da integração da CTB)

Barramento	$U_{base}(kV)$	$U (kV)$	$U (p.u.)$
MAPUTO 132 A	132	136,36	1,033
MAPUTO 132 B	132	136,36	1,033
MAPUTO 400	400	415,20	1,038
MAPUTO 275 A	275	282,15	1,026
MAPUTO 275 B	275	282,15	1,026
MATOLA 275 A	275	278,85	1,014
MATOLA 275 B	275	278,85	1,014
MATOLA 66 A	66	67,65	1,025
MATOLA 66 B	66	67,65	1,025
CTCCM	66	67,19	1,018
LIMAK 66	66	67,32	1,020
LIMAK 33	33	33,693	1,021
MATOLA RIO 66	66	65,34	0,990
MATOLA RIO 33	33	31,52	0,955
BOANE 66	66	64,02	0,970
BOANE 33	33	31,22	0,946
SALAMANGA	66	62,37	0,945

Fonte: Adaptado, 2023

Observações:

- Em alguns barramentos de 275kV e 66kV, há uma pequena elevação nas tensões em relação aos valores nominais, entretanto, o desvio esta dentro dos +5% tolerados;
- Nos barramentos de 33kV em Boane e 66kV em Salamanga, são observadas subtensões com desvio maior que os -5% tolerados pelo código de rede nacional;
- É recomendável aumentar a injeção potencia reativa no sistema para elevar as tensões em Boane 33kV e Salamanga.

6.2.1.2. Avaliação de Carregamento da Rede no estado normal

A tabela a seguir mostra o fluxo de potência nas linhas entre os barramentos descritos para o ano de 2023, antes da integração da Central Térmica de Beluluane e sob condições de carga máxima (540MW).

Tabela 10: Fluxo de potencia em 2023

Linha		$U_{nom}(kV)$	Capacidade (MVA)	Carregamento (MW)	Carregamento (%)
MAPUTO 400	MAPUTO 132 A	400	520	306,9	59
MAPUTO 400	MAPUTO 132 B	400	520	306,9	59
MAPUTO 400	MAPUTO 275 A	400	380	99,8	26
MAPUTO 400	MAPUTO 275 B	400	380	93,8	25
MAPUTO 275 A	MATOLA 275 A	275	380	193,5	51
MAPUTO 275 A	MAPUTO 275 B	275	420	93,5	22
MATOLA 275 A	MATOLA 275 B	275	150	48,5	33
MATOLA 275 A	MATOLA 66 A	275	120	48,5	41
MATOLA 275 A	INFULENE	275	400	96,0	24
MATOLA 275 B	MATOLA 66 B	275	120	48,5	42
MATOLA 66 A	MATOLA 66 B	66	60	9,1	15
MATOLA 66 B	CTCCM	66	15	3,3	26
MATOLA 66 B	LIMAK 66	66	110	47,6	44
LIMAK 66	LIMAK 33	66	10	0,3	3
LIMAK 66	MATOLA RIO	66	110	47,8	44
MATOLA RIO 66	BOANE 66	66	44,63	24,1	54
MATOLA RIO 66	MATOLA RIO 33	33	27,38	23	84
BOANE 66	BOANE 33	66	24,39	16,1	66
BOANE 66	SALAMANGA	66	48,75	7,8	16

Fonte: Adaptado, 2023

Observações

- Os dados indicam que os corredores não estão sobrecarregados, portanto operam dentro dos limites térmicos.

6.2.2.1. Perfil de Tensão em Contingência da Linha BL3

A tabela a seguir mostra o perfil da tensão para o ano de 2023, antes da integração da Central Térmica de Beluluane e em contingência da linha Maputo-Matola (BL3).

Onde:

$$U = U_{base} * U_{p.u.} \quad (2.29)$$

Tabela 11: Perfil da tensão da rede sul em 2023 em contingência da linha Maputo-Matola (BL3)

Barramento	U _{base} (kV)	U (kV)	U (p.u.)
MAPUTO 132 A	132	135,168	1,024
MAPUTO 132 B	132	135,168	1,024
MAPUTO 400	400	411,6	1,029
MAPUTO 275 A	275	289,575	1,053
MAPUTO 275 B	275	289,575	1,053
MATOLA 275 A	275	180,125	0,655
MATOLA 275 B	275	180,125	0,655
INFULENE	275	177,375	0,645
MATOLA 66 A	66	46,926	0,711
MATOLA 66 B	66	46,926	0,711
CTCCM	66	47,982	0,727
LIMAK 66	66	46,332	0,702
LIMAK 33	33	23,232	0,704
MATOLA RIO 66	66	42,834	0,649
MATOLA RIO 33	33	19,437	0,589
BOANE 66	66	40,59	0,615
BOANE 33	33	18,381	0,557
SALAMANGA	66	37,356	0,566

Fonte: Adaptado, 2023

Observações:

- Constata-se que a linha BL3 é uma das principais fontes de energia reativa da região sul. A sua ausência cria instabilidade de tensões em toda região (próximo do colapso da rede) devido ao grande déficit energia reativa;
- Os desvios são significativos e estão muito abaixo da tolerância de -5% chegando a aproximadamente 34,5% nas subestações da Matola;
- Por ser de grande importância, é recomendável criar redundância (Circuito duplo) da linha BL3.

6.2.2.2. Perfil de Tensão em Contingência do Banco de Infulene

A tabela a seguir mostra o perfil da tensão para o ano de 2023, antes da integração da Central Térmica de Beluluane e em contingência do banco de infulene.

Onde:

$$U = U_{base} * U_{p.u.} \quad (2.30)$$

Tabela 12: Perfil da tensão da rede sul em 2023 em contingência do banco de infulene

Barramento	$U_{base}(kV)$	U (kV)	U (p.u.)
MAPUTO 132 A	132	130,416	0,988
MAPUTO 132 B	132	130,416	0,988
MAPUTO 400	400	397,2	0,993
MAPUTO 275 A	275	271,425	0,987
MAPUTO 275 B	275	271,425	0,987
MATOLA 275 A	275	267,575	0,973
MATOLA 275 B	275	267,575	0,973
INFULENE	275	265,1	0,964
MATOLA 66 A	66	65,406	0,991
MATOLA 66 B	66	65,406	0,991
CTCCM	66	65,076	0,986
LIMAK 66	66	65,01	0,985
LIMAK 33	33	32,571	0,987
MATOLA RIO 66	66	62,898	0,953
MATOLA RIO 33	33	30,261	0,917
BOANE 66	66	61,512	0,932
BOANE 33	33	29,898	0,906
SALAMANGA	66	59,796	0,906

Fonte: Adaptado, 2023

Observações:

- Constata-se que o banco de Infulene é uma das principais fontes de energia reativa da região sul;
- Na sua ausência tensões em toda região caem devido ao déficit energia reativa;
- Apesar dos desvios a tensão mantêm-se nos níveis tolerados em maior parte do sistema, tendo apenas subtensões acentuadas de até 7% em Boane, Salamanga e Matola Rio.

6.3.1.1. Avaliação do perfil de Tensão em 2028

A tabela a seguir mostra o perfil da tensão para o ano de 2028, após a integração da Central Térmica de Beluluane e sob condições de carga máxima (740MW).

Onde:

$$U = U_{base} * U_{p.u.} \quad (2.31)$$

Tabela 13: Perfil da tensão da rede sul em 2028 (Depois da integração da CTB)

Barramento	$U_{base}(kV)$	U (kV)	U (p.u.)
MAPUTO 132 A	132	136,36	1,029
MAPUTO 132 B	132	136,36	1,029
MAPUTO 400	400	415,20	1,034
MAPUTO 275 A	275	282,15	1,018
MAPUTO 275 B	275	282,15	1,018
MATOLA 275 A	275	278,85	1,003
MATOLA 275 B	275	278,85	1,003
MATOLA 66 A	66	67,65	1,014
MATOLA 66 B	66	67,65	1,014
CTCCM	66	67,19	1,007
LIMAK 66	66	67,32	1,009
LIMAK 33	33	33,693	1,011
MATOLA RIO 66	66	65,34	0,978
MATOLA RIO 33	33	31,52	0,937
BOANE 66	66	64,02	0,962
BOANE 33	33	31,22	0,965
SALAMANGA	66	62,37	0,950

Fonte: Adaptado, 2023

Observações:

- Não há desvios de tensão maiores que +/-5%;
- Comparando com o perfil de tensão em 2023, antes da integração da CTB, observamos uma melhoria geral nas tensões em todos os barramentos pela injeção de energia reativa na rede.

6.3.1.2. Avaliação de Carregamento da Rede em 2028

A tabela a seguir mostra o fluxo de potência nas linhas entre os barramentos descritos para o ano de 2028, com a integração da Central Térmica de Beluluane e sob condições de carga máxima (740MW).

Tabela 14: Fluxo de potencia em 2028

Linha		$U_{nom}(kV)$	Capacidade (MVA)	Carregamento (MW)	Carregamento (%)
MAPUTO 400	MAPUTO 132 A	400	520	306,9	60
MAPUTO 400	MAPUTO 132 B	400	520	306,9	60
MAPUTO 400	MAPUTO 275 A	400	380	207,4	52
MAPUTO 400	MAPUTO 275 B	400	380	194,8	49
MAPUTO 275 A	MATOLA 275 A	275	380	402,2	89
MAPUTO 275 A	MAPUTO 275 B	275	420	184,8	44
MATOLA 275 A	MATOLA 275 B	275	150	59,8	38
MATOLA 275 A	MATOLA 66 A	275	120	59,8	47
MATOLA 275 A	INFULENE	275	400	280,6	60
MATOLA 275 B	MATOLA 66 B	275	120	59,8	46
MATOLA 66 A	MATOLA 66 B	66	60	16,6	16
MATOLA 66 B	CTCCM	66	15	7,2	28
MATOLA 66 B	LIMAK 66	66	110	54,7	49
LIMAK 66	LIMAK 33	66	10	0,3	4
LIMAK 66	MATOLA RIO	66	110	54,9	49
MATOLA RIO 66	BOANE 66	66	45	27,8	59
MATOLA RIO 66	MATOLA RIO 33	33	25	26,2	104,8
BOANE 66	BOANE 33	66	25	18,4	77
BOANE 66	SALAMANGA	66	50	4,2	9

Fonte: Adaptado, 2023

Observações

- Os dados indicam que mesmo com integração da central em 2028 os corredores não estarão sobrecarregados com exceção da linha BOANE 66 – BOANE 33, que tem uma sobrecarga de 5% nas condições de carga máxima em 2028;
- É recomendável, atualizar capacidade da linha Matola Rio 66kV – Matola Rio 33kV para acomodar o aumento do fluxo de carga.

6.4. Análises de Curto-Circuito

A análise de curto-circuito é essencial para avaliar a capacidade de resposta do sistema elétrico a eventos de falha e garantir que os equipamentos e dispositivos de proteção estejam dimensionados adequadamente para proteger o sistema contra danos em tais situações.

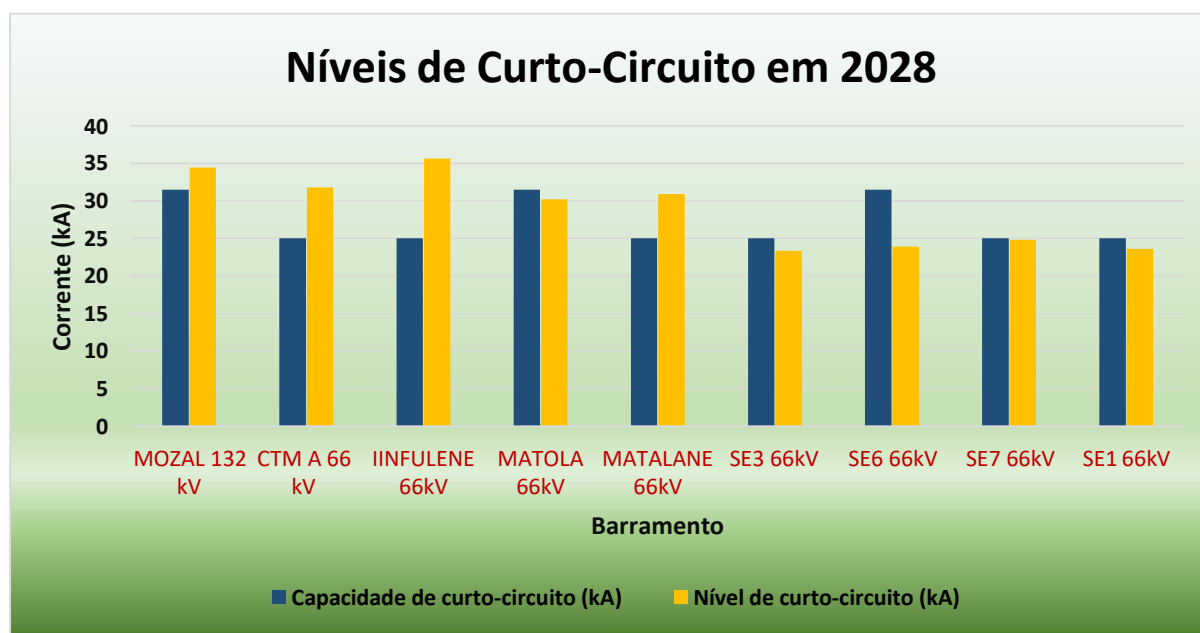
A tabela a seguir apresenta as capacidades de curto-circuito dos *switchgear* das subestações bem como os níveis de curto-circuitos simulados para 2028, com a geração da CTB integrada.

Tabela 15: Níveis de Curto-Circuito em 2028

Barramento	Capacidade de curto-circuito (kA)	Nível de curto-circuito (kA)
MOZAL 132 kV	31,5	34,42
CTM A 66 kV	25	31,80
IINFULENE 1 66kV	25	35,60
MATOLA 66kV	31,5	30,23
MATALANE 66Kv	25	30,90
SE3 66kV	25	23,35
SE6 66kV	31,5	23,92
SE7 66Kv	25	24,80
SE1 66Kv	25	23,59

Fonte: Adaptado, 2023

Graficamente, os níveis de falha podem ser avaliados em relação à capacidade de curto-circuito dos equipamentos de manobra.



Fonte: Adaptado, 2023

Observações:

- Como esperado, as simulações constataam que os níveis de falha aumentam devido à contribuição de corrente de falha da CTB;
- Em alguns pontos, os níveis de curto-circuito podem exceder a capacidade dos equipamentos de manobra (*switchgear*), como é o caso dos barramentos da Mozal 132kV, CTM 66kV, Infulene 66kV e Matalane 66kV;
- Como medida, recomenda-se atualizar a capacidade de curto-circuito dos equipamentos de manobra pra acomodar o aumento do nível de curto-circuito.

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1. Conclusões

Neste trabalho foi realizado o estudo de integração da Central Térmica de Beluluane, por meio de análises de fluxo de potência e curto-circuitos. O estudo de fluxo de potência para o cenário de 2023, na condição de carga crítica revelou que não há violações das restrições de capacidade de transmissão das linhas e nem problemas de tensão, salvo nas subestações de Boane 33kV e Salamanga em que há subtensões que rondam em 0,94 p.u na condição de carga máxima.

Ainda no cenário 2023, as simulações revelam que a linha Maputo-Matola (BL3) é atualmente a principal fonte de contribuição de energia reativa capacitiva. A sua indisponibilidade cria subtensões com desvios de até -35% em relação ao valor nominal.

Para o cenário de 2028, constatou-se que a entrada desta central eleva o carregamento das linhas mas, as tensões nas subestações de Boane 33kV e Salamanga são elevadas e passam a estar dentro dos níveis tolerados. Quanto ao carregamento, apesar de aumentar não há violações das restrições de capacidade de transmissão das linhas já que maior parte da geração é escoada para África do Sul.

A análise indica também, que a capacidade de curto-circuito, atualmente em cerca de 25kA na maioria dos equipamentos de manobra de 66 kV, pode ser excedida atingindo até 35kV de corrente de curto-circuito em várias subestações próximas a central de Beluluane.

7.2. Recomendações

- É recomendável aumentar a injeção de potência reativa no sistema para elevar as tensões em Boane 33kV e Salamanga que estão atualmente abaixo dos níveis tolerados;
- Por ser de grande importância para estabilidade das tensões na rede Sul, é recomendável criar redundância (Circuito duplo) da linha BL3;
- Recomenda-se atualizar a capacidade de curto-circuito dos equipamentos de manobra para acomodar o aumento do nível de curto-circuito de 25kA para 35kA com a entrada da central térmica de Beluluane.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bichels, A. (2018). *Sistemas Elétricos de Potência: Métodos de Análise e Solução*.
a. Curitiba: EDUTFPR.
2. Borges, C. L. (2005). *Análise de Sistemas de Potência*. Rio de Janeiro: EE - UFRJ. Jabuinski, M. T. (2021). *TCC: ANÁLISE DE CONTINGÊNCIAS NO SISTEMA*
a. *ELÉTRICO DE POTÊNCIA NOS CENÁRIOS DE CARGAS ZIP*. Pato Branco: UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ.
3. Kinderman, G. (1997). *Curto-Circuito*. Porto-Alegre: Sagra-Luzzatto.
4. Mohan, N. (2016). *Sistemas elétricos de potência: curso introdutório*. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC.
5. Silva, R. S. (2019). *Introdução aos sistemas elétricos de potência (SEP)*. Londrina-Br: Educacional S.A.
6. Zanetta_Jr., L. C. (2006). *Fundamentos de Sistemas Elétricos de Potência*. São Paulo: Editora Livraria da Física.

ANEXO

ANEXO 1: Mapa da Rede Nacional 2022

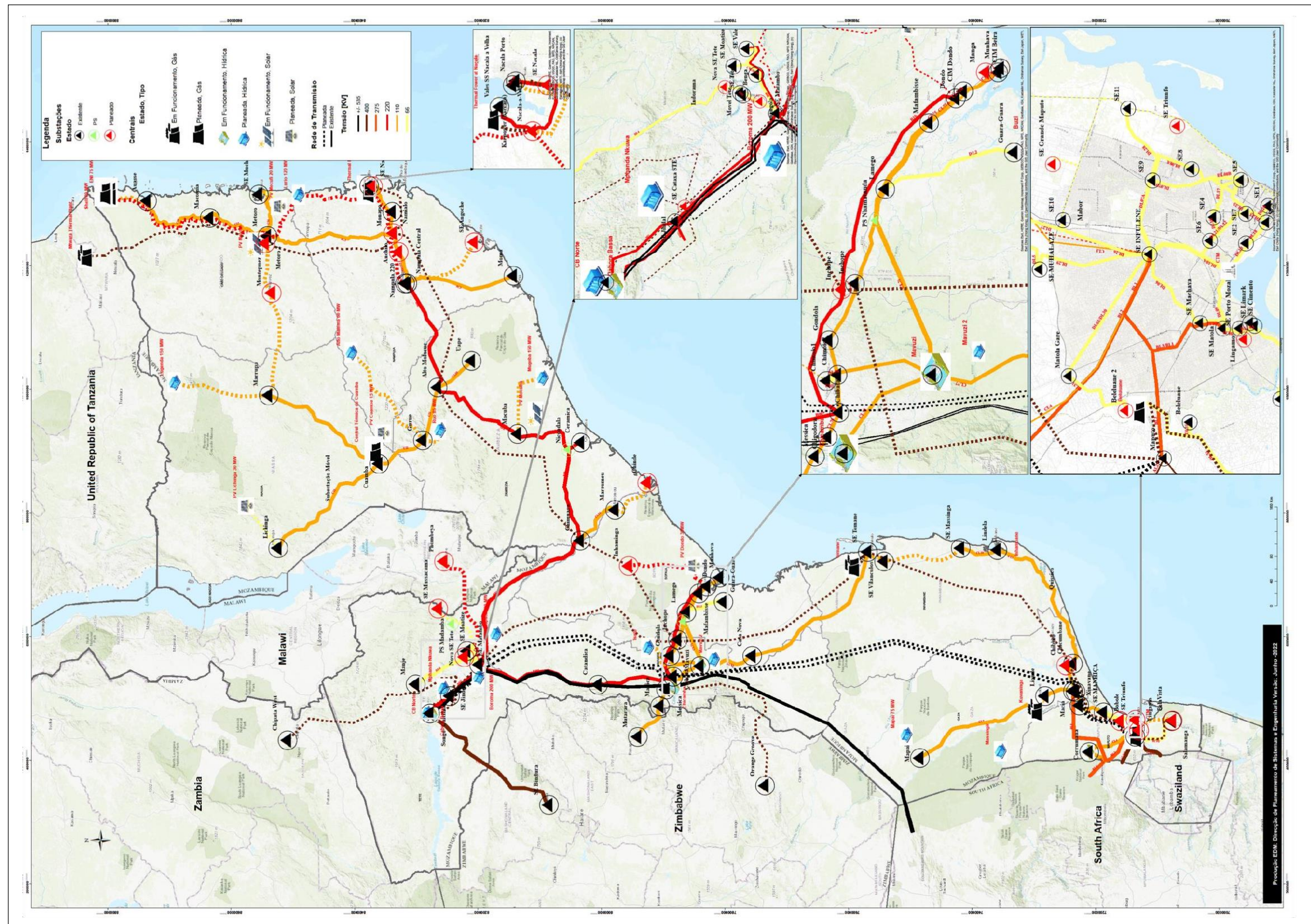


Figura A1-1: Mapa da Rede Nacional 2022 (Fonte: EDM, 2023)

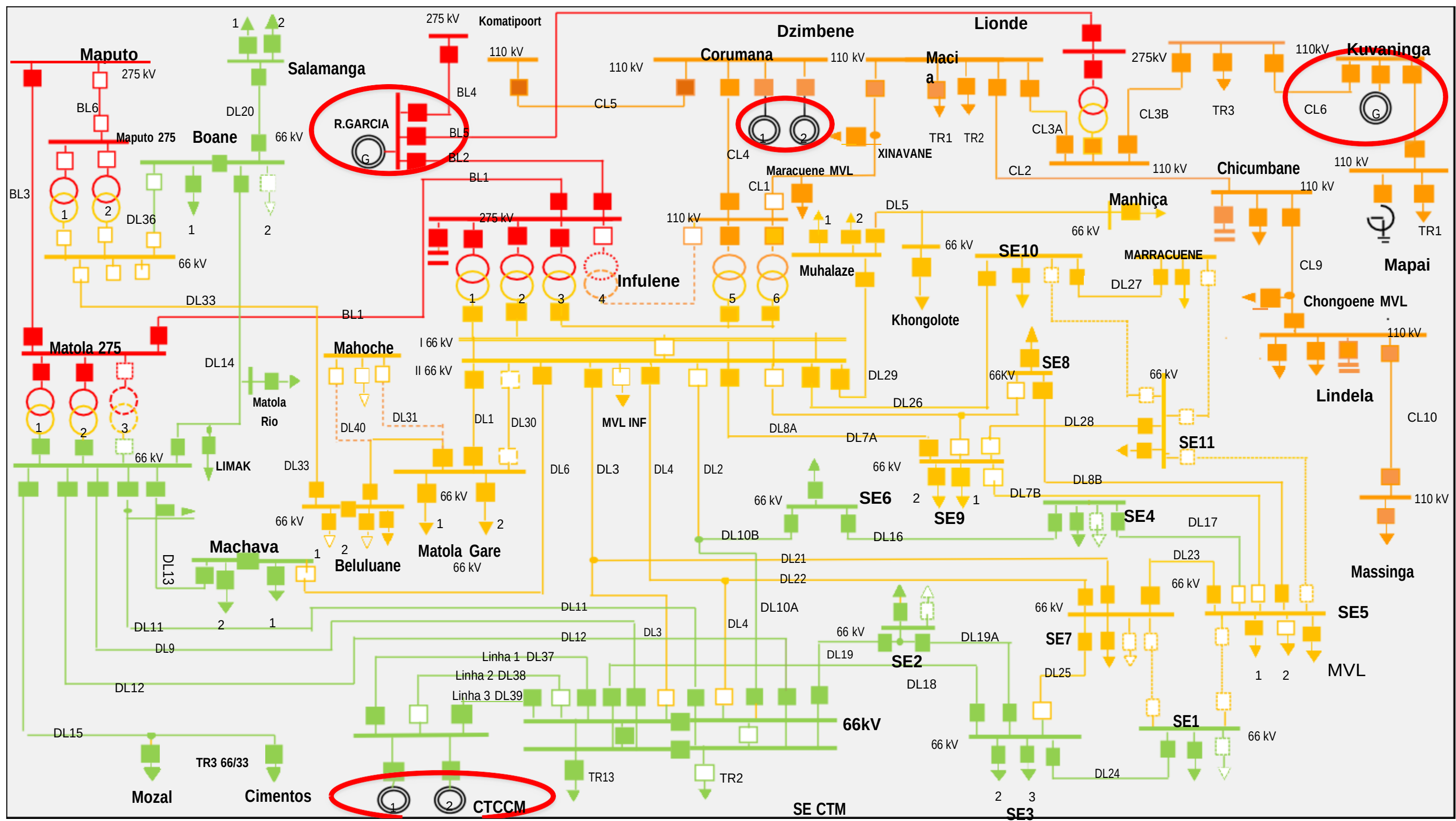


Figura A2-2: Configuração da Rede Sul 2023 (Fonte: EDM)

ANEXO 3: Configuração Proposta Pra Integração da CTB

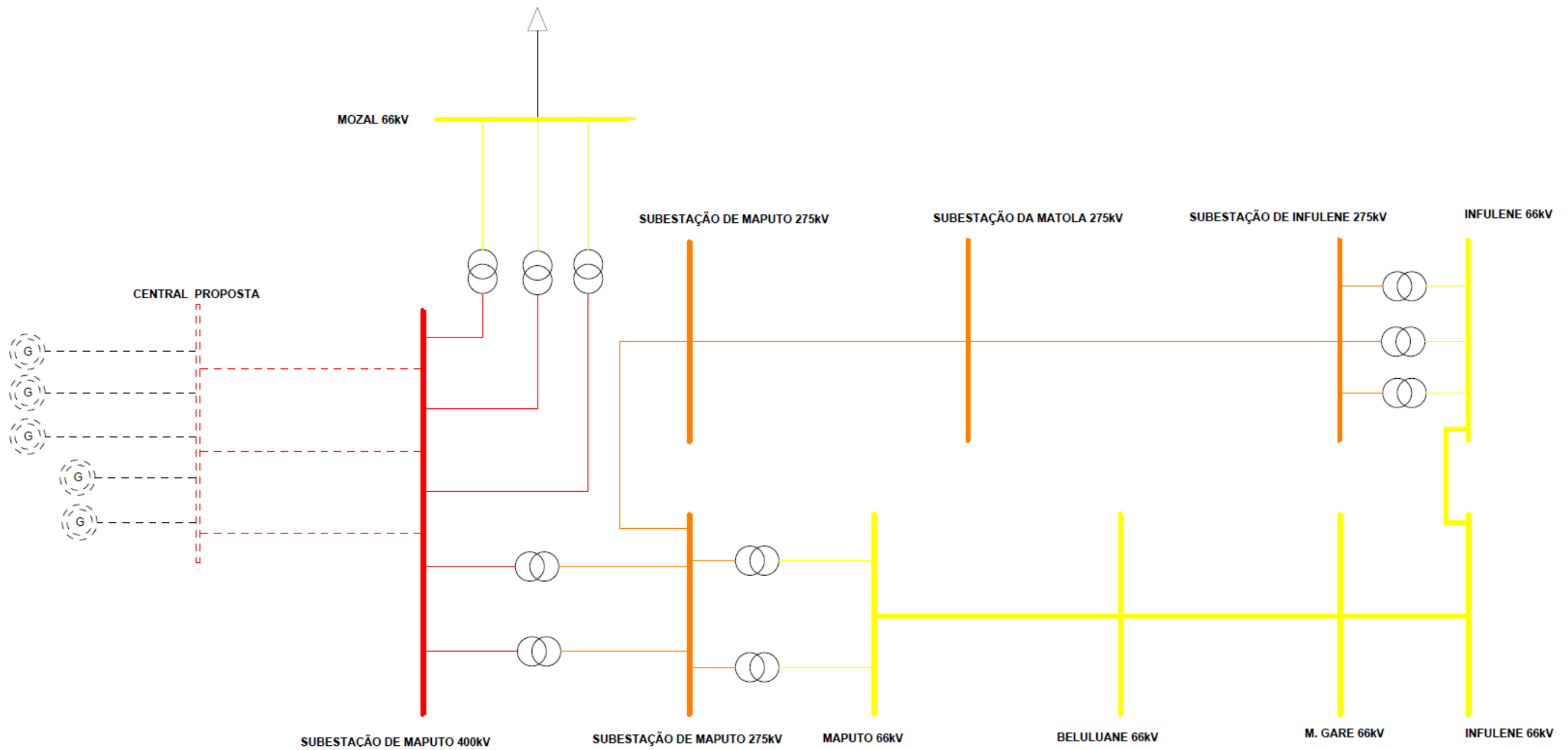
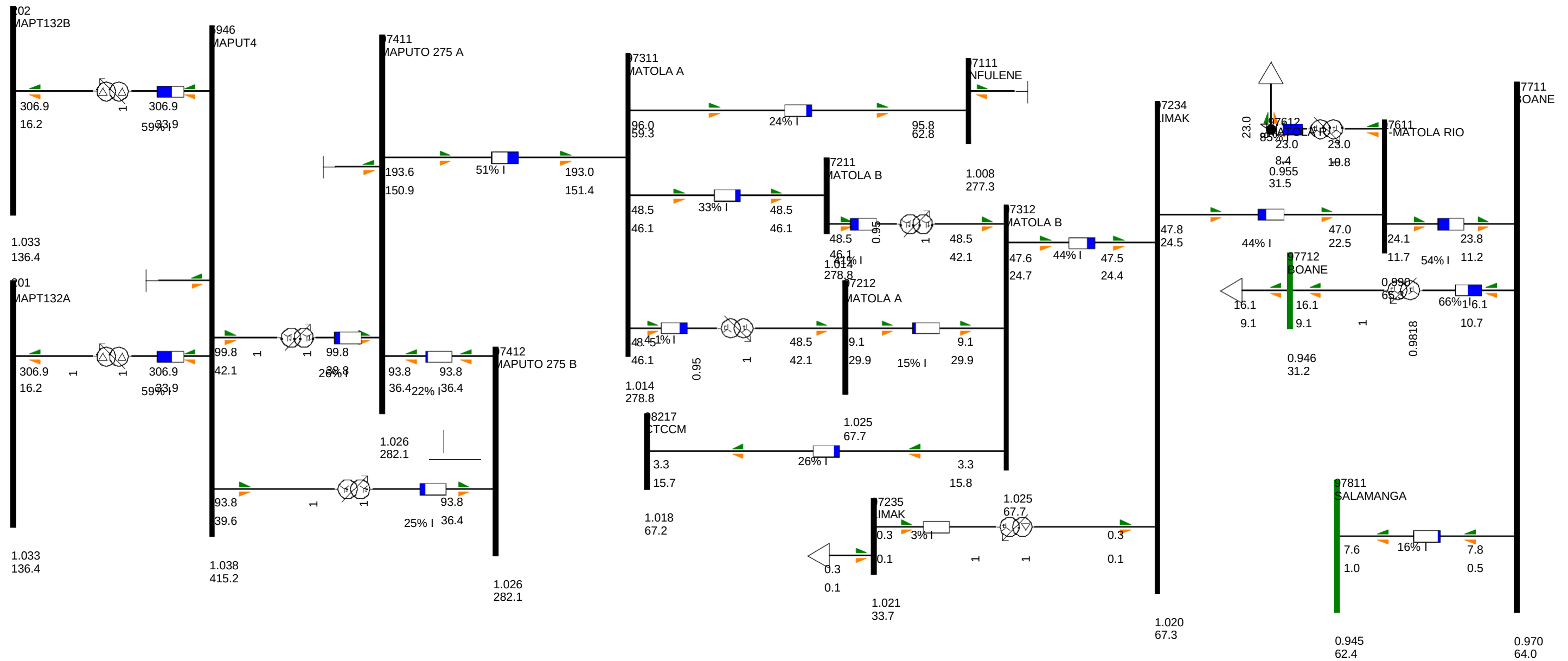


Figura A3-3: Configuração Proposta Pra Integração da CTB (Fonte: Adaptado, 2023)

Figura A4-4: Fluxo na Rede Sul em 2023 em condições normais de operação (Fonte: Adaptado, 2023)



ANEXO 5: Fluxo na Rede Sul em 2023 em condições em contingência da linha BL3

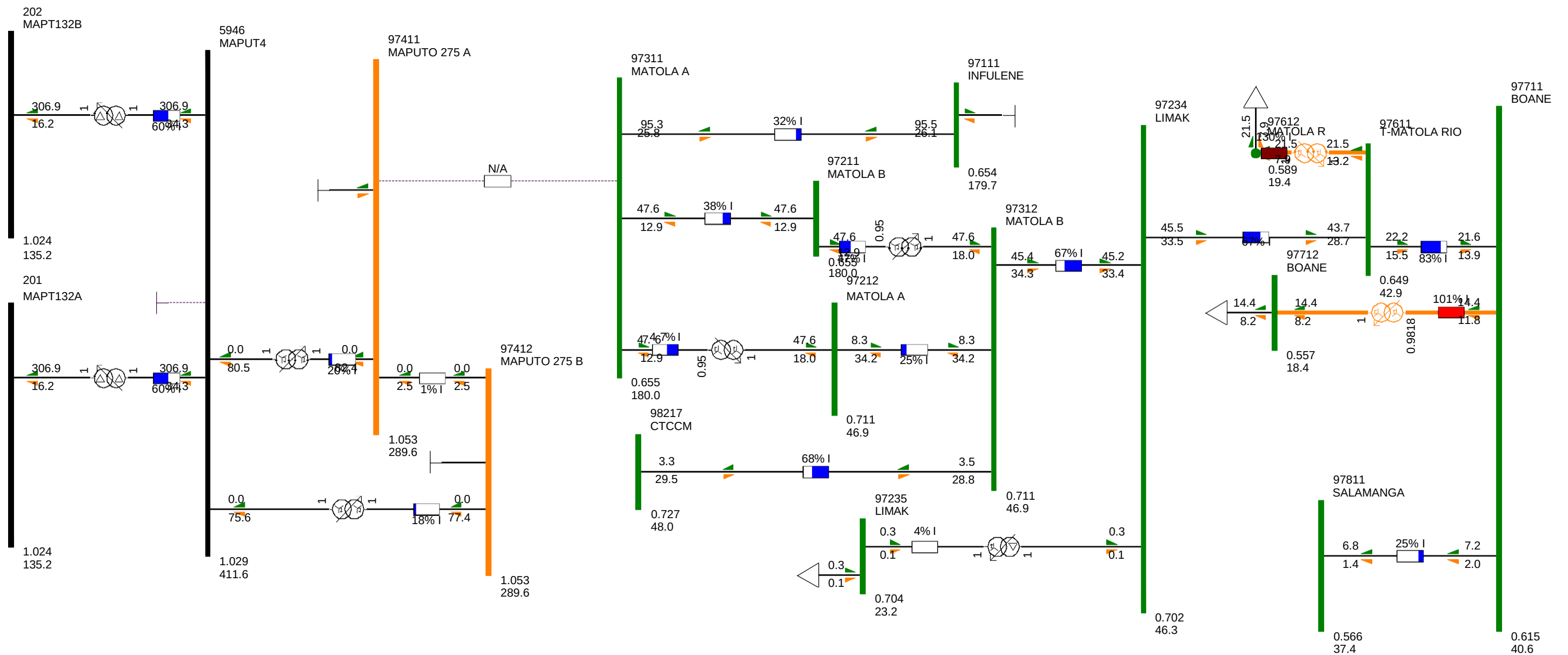


Figura A5-5: Fluxo na Rede Sul em 2023 em condições em contingência da linha BL3 (Fonte: Adaptado, 2023)

ANEXO 6: Fluxo na Rede em 2023 em condições em contingência do banco de Infulene

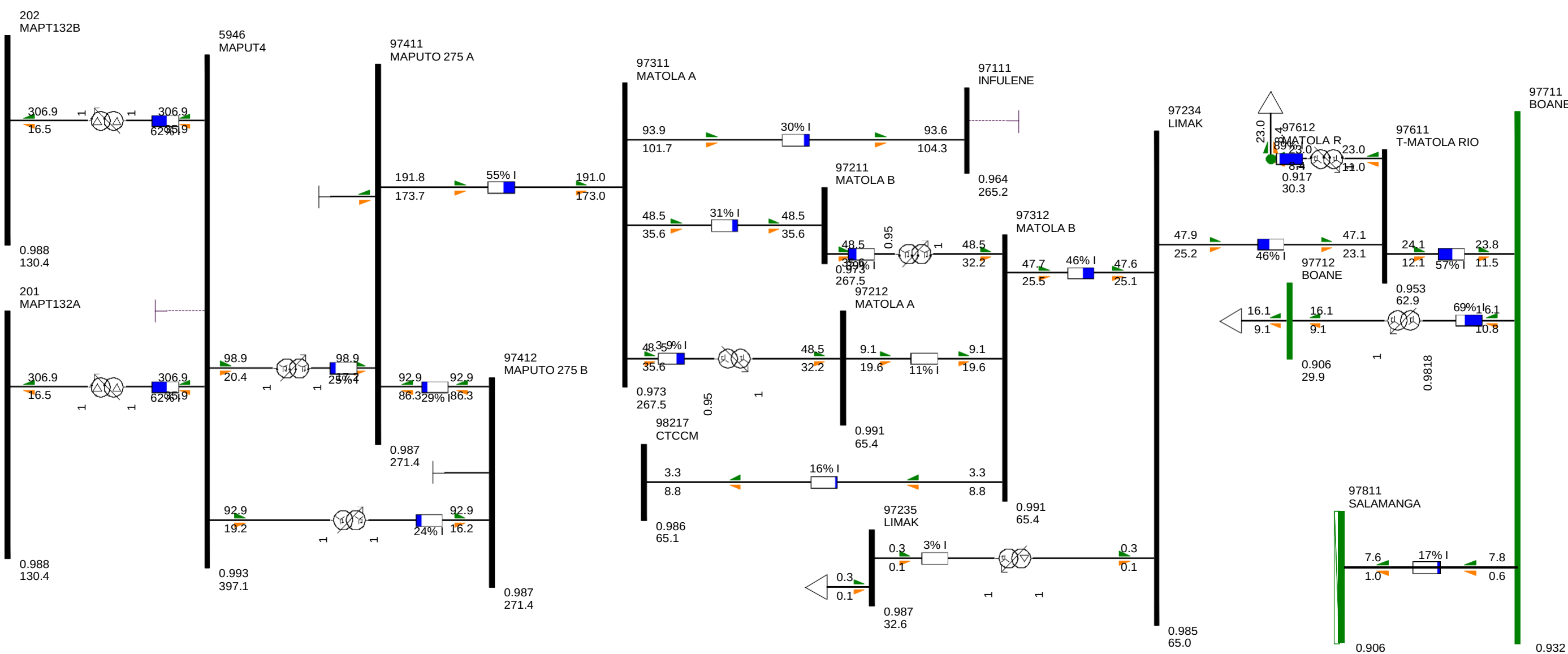


Figura A6-6: Fluxo na Rede em 2023 em condições em contingência do banco de Infulene (Fonte: Adaptado, 2023)

ANEXO 7: Fluxo na Rede em 2028 em condições normais de operação e após a integração da CTB

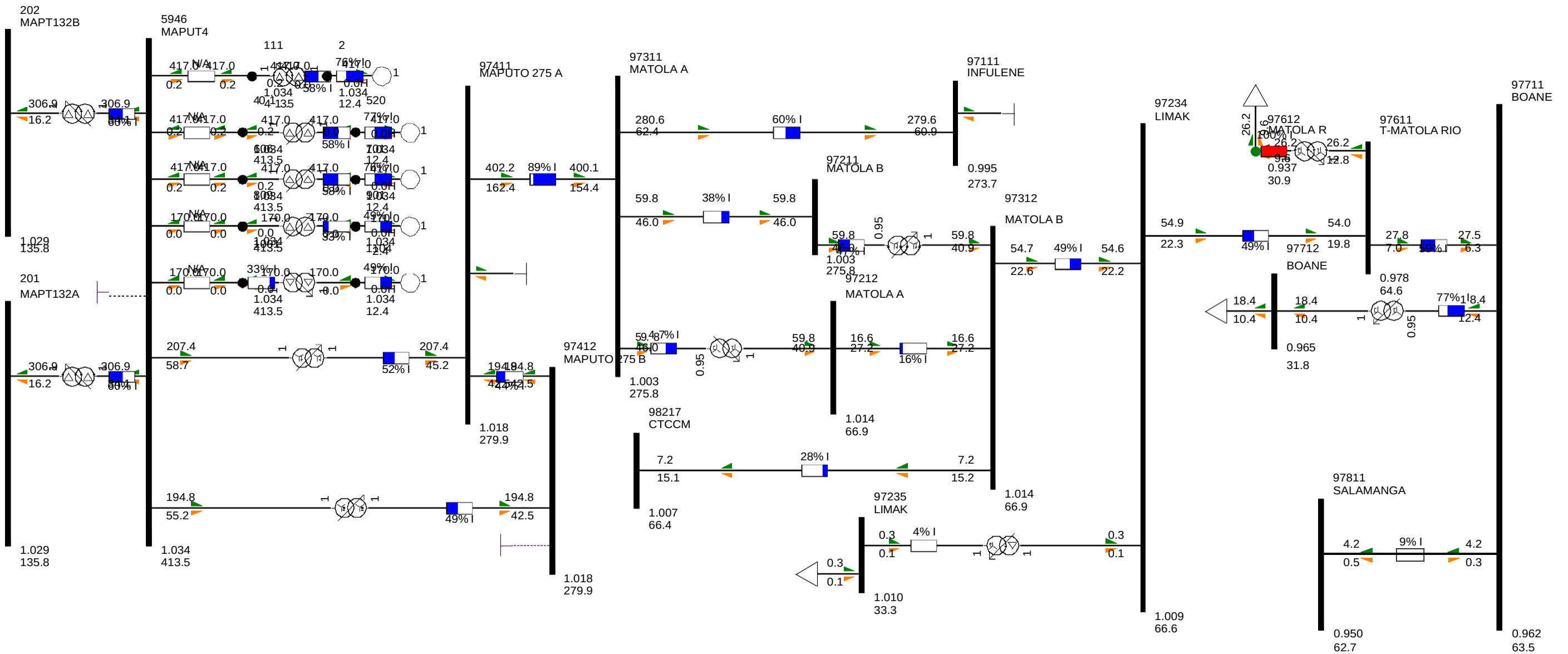


Figura A7-7: Fluxo na Rede em 2028 em condições normais de operação e após a integração da CTB (Fonte: Adaptado, 2023)

ANEXO 8: Base de dados de disjuntores de 66kV DTSU

Tabela A8.2-9: Continuacao da Base de dados de disjuntores de 66kV DTSU (Fonte: DTSU-DEP, 2023)

DTSU- DEP										
BASE DE DADOS DE DISJUNTORES										
DISJUNTORES DE 66KV										
Nome de subestacao	item	tipo de disjuntor	equipment switched	Serial number	Rated voltage (KV)	Rated normal current (A)	Rated short-circuit breaking current (KA)	Nível de tensao (KV)	Tipo de isolamento	Manufactured
SE 2	1	EDF SK 1-1	DTR1-52	700 01 834	72.5	2000	31.5	66	SF6	ABB 2003
SE 3	1	EDF SK 1-1	DTR3-52	8325582	72.5	2500	31.5	66	SF6	ABB 1997
	1	EDF SK 1-1	DL19	8325587	72.5	2500	31.5	66	SF6	ABB 1997
	1	EDF SK 1-1	DL18	700 01 833	72.5	2000	25	66	SF6	ABB 2003
	1	EDF SK 1-1	DL24	700 01 832	72.5	2000	25	66	SF6	ABB 2003
	1	OHB 06.12.25	DTR1-52	I VYN000314000110	36	1250	25	66	SF6	ABB 1997
	1	EDF SK 1-1	DL25	700 01 835	72.5	2000	31.5	66	SF6	
	1	EDF SK 1-1	DL25	700 01 835	72.5	2000	31.5	66	SF6	
SE 4	1	EDF SK 1-1	DTR-52J	8263138/8263140	72.5	2000	31.5	66	SF6	ABB 1996
SE 5	1	CL 309 F1	MOVEL	6155-10-2010876/1	72.5	2000	31.5	66	SF6	AREVA 2007
	1	3AP1FG	52-6/CB	35076625	72.5	3150	31.5	66	SF6	AREVA 2002
	1	S1-72.5F1/2520	DL23-52J	3008 871-9	72.5	2000	31.5	66	SF6	ALSTOM 2003
	1	EDF SK 1-1	DL17-52.Y	8422005	72.5	2500	31.5	66	SF6	ABB 1998
	1	GL 309 F1/3120	DL8B-52	3009 902-1	72.5	2000	31.5	66	SF6	ALSTOM 2005
	1	EDF SK 1-1	DTR2-52	8422007	72.5	2500	31.5	66	SF6	ABB 1998
	1	SB6 72	L07-52. DTR1	40001246	72.5	1250	25	66	SF6	VATECH 2003
SE 6	1	GL 309 S1 3112	DTR2-52	S20011295	72.5	1250	31.5	66	SF6	EFACEC
	1	GL 309 S1 40316	DBB-52	S22003120	72.5	3150	40	66	SF6	EFACEC
	1	GL 309 S1 3112	DL16		72.5	1250	31.5	66	SF6	EFACEC
	1	GL 309 S1/3110	DLB10		72.5	1250	31.5	66	SF6	EFACEC
SE 7	1	S1-72.5F1/2520	DTR-52J	3008 871-6	72.5	2000	31.5	66	SF6	
	1	ESTA FOR A	DL23-52J		72.5	2000	31.5	66	SF6	
	1	S1-72.5F1/2520	DL22-52J	3008 871-8	72.5	2000	25	66	SF6	
	1	S1-72.5F1/2550	DL21-52J	3008 871-7	72.5	2000	25	66	SF6	
	1	GL 309 F1/3120	DL25-52J	3009 902-2	72.5	2000	31.5	66	SF6	ALSTOM 2000 A
SE 8	1	EDF SK 1-1	DL8 A	700 03 203	72.5	2500	31.5	66	SF6	
	1	SB6 72	DTR 1	40001245	72.5	1250	31.5	66	SF6	VATECH
	1	EDF SK 1-1	DL8B-52	7000 03 203	72.5	2000	31.5	66	SF6	ABB
SE 9	1	EDF SK 1-1	DB-52	700 03 207	72.5	2000	31.5	66	SF6	ABB 2005
	1	EDF SK 1-1	DTR2-52	700 03 205	72.5	2000	31.5	66	SF6	ABB 2005

Tabela A8.2-9: Continuacao da Base de dados de disjuntores de 66kV DTSU (Fonte: DTSU-DEP, 2023)

SE 10	1	SB6 72	DTR1-52	40001246	72.5	1250	31.5	66	SF6	VATECH 2003
	1	GL309 F1/3112	DL27	S20011299	72.5	1250	31.5	66	SF6	VA/EFACEC 2011
	1	GL309 F1/3112	DTR1	S20011297	72.5	1250	31.5	66	SF6	VA/EFACEC 2012
	1	GL309 F1/3112	DL26	S20011298	72.5	1250	31.5	66	SF6	VA/EFACEC 2013
SE 11	1	GL309	DL28-52	S20011301	72.5	1250	31.5	66	SF6	VA/EFACEC 2011
	1	GL309	DTR1-52	S20011300	72.5	1250	31.5	66	SF6	VA/EFACEC 2011
SE Manhica	1	SB6 72	DTR1-52	0JM200103307	72.5	1250	25	66	SF6	MERLIM GERIM
SE Boane	1	EDF SK 1-1	DL1	8325580	72.5	2500	31.5	66	SF6	ABB 1997
	1	LTB 72.5D1/B	DL20	1HSB0730007-A1	72.5	2000	25	66	OLEO	ABB 2007
	1	EDF SK 1-1	DL14	8325581	72.5	2500	31.5	66	SF6	ABB
	1	HLC 72.5/1600A	WB1 Q2	2291294	72.5	2500	31.5	66	OLEO	ABB 1989
	1	HLC 72.5/1600A	WB1 Q1	22 91 295		2500	31.5	66	OLEO	ABB 1981
SE Machava	1	EDF SK 1-1	DL6	8424397	72.5	2500	31.5	66	SF6	ABB 1999
	1	LTB72.5 D1/B	DL8A	1HSB0730006	72.5	2500	25	66	SF6	ABB 2007
	1	EDF SK 1-1	DL 13	INVISIVEL	72.5	2500	31.5	66	SF6	ABB 1997
	1	DTR1	DTR1		72.5	2500	31.5	66	SF6	ABB 2003
SE Matola garre	1	EDF SK 1-1	DL A	700 02 173	72.5	2500	31.5	66	SF6	ABB- 2009
	1	EDF SK 1-1	DL B	700 02 174	72.5	2500	31.5	66	SF6	ABB 2003
	1	EDF SK 1-1	DTR1	700 02 176	72.5	2500	31.5	66	SF6	ABB 2003
	1	LTB 72.5D1/B	DTR2-52	1HSB01419013-B1	72.5	2000	31.5	66	SF6	ABB 2014
SE Beluluane	1	S1-72 SF1 2520	DTR1	3006 389-20	72.5	2000	25	66	SF6	AEG 1998
SE Salamanga	1	FSA1 (1)	DTR1	700 12 071	72.5	2000	31.5	66	SF6	ABB- INDIA
	1	SB6-72	DTR2	200102005	72.5	1250	25	66	SF6	M.GERIN 2001
SE Infulene	1	EDF SK 1-1	DL5	700 03 206	72.5	2000	25	66	SF6	ABB 2005
	1	LTB 72.5	DTR5	1H SB01348002	72.5	2000	25	66	SF6	ABB 2013
	1	EDF SK 1-1	DL3	247040/10	72.5	2500	31.5	66	SF6	ABB 1998
	1	EDF SK 1-1	DL4	247040/10	72.5	2500	31.5	66	SF6	ABB 1988
	1	HLC 72.5/200 U	DL 7	7761528	72.5	2000	25	66	SF6	ABB 1989
	1	HLC 72.5/200 U	DL1 A		72.5	2000	31.5	66	OLEO	ABB
	1	LTB	DL8		72.5	2500	31.5	66	SF6	ABB 1998
	1	GL309	DTR1	S20011293	72.5	3150	40	66	SF6	VA/EFACEC 2011
	1	HPF 409h	DTR2-52	520495	72.5	1600	25	66	SF6	IER SCHUCH 1983
	1	HLC 72.5/200 U	DTR3-52	7761528	72.5	2000	25	66	Oleo	ABB 1989
	1	EDF SK 1-1	DL6	8424397	72.5	2500	31.5	66	SF6	ABB 1999
	1	LTB 72.5D1/B	DL8 A	1HSB0730006	72.5	2000	31.5	66	SF6	ABB 2007
	1	EDF SK 1-1	DTR6	8382040	72.5	2500	31.5	66	SF6	ABB 1998
	1	SB6-72	DL2-52	DJM 200103309	72.5	1250	25	66	SF6	M.GERIN
SE Matola 275	1	3AP1FG	DL14-52	35076628	72.5	3150	31.5	66	SF6	SIEMENS 2002
	2	3AP1FG	DL15-52	35076631	72.5	3150	31.5	66	SF6	SIEMENS 2002
	3	3AP1FG	DL12-52	35076626	72.5	3150	31.5	66	SF6	SIEMENS 2002
	4	3AP1FG	DTR1-52	35076627	72.5	3150	31.5	66	SF6	SIEMEN 2002
	5	3AP1FG	DTR2-52	3509532	72.5	3150	31.5	66	SF6	SIEMENS 2002
	6	3AP1FG	DBUS-52	35076632	72.5	3150	31.5	66	SF6	SIEMENS 2002
	7	3AP1FG	DL13-52	35076624	72.5	3150	31.5	66	SF6	SIEMENS 2002
	8	3AP1FG	DL11-52	35076630	72.5	3150	31.5	66	SF6	SIEMENS 2002
	9	3AP1FG	DL09-52	35076629	72.5	3150	31.5	66	SF6	SIEMENS 2002
SE Matola Rio	1	SB6	DTR1-52	DJM 200103305	72.5	1250	25	66	SF6	MERLIM GERIM
SE Muhalaze	1	EDF SK 1-1	DL5-52	70017364	72.5	1250	31.5	66	SF6	ABB
	2	EDF SK 1-1	DTR1-52	70017363	72.5	1250	31.5	66	SF6	ABB
	3	EDF SK 1-1	DBUS	70017362	72.5	1250	31.5	66	SF6	ABB
	4	EDF SK 1-1	DL29	70017361	72.5	1250	31.5	66	SF6	ABB
Número total dos disjuntores com a corrente de curto circuito de 31.5KA					60					
Número total dos disjuntores com a corrente de curto circuito de 25KA					18					
Número total dos disjuntores com a corrente de curto circuito de 40KA					2					

ANEXO 9: Acta de encontros Regulares

Tabela A9.1-10: Acta de encontro de 26/08/2023



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA: 2023ELEPD59

Data: 22/09/2023

1. AGENDA:

Para o encontro está previsto a discussão dos seguintes pontos:

1. Apresentação do TAT (Escolha e pesquisa do tema)

2. PRESENÇAS

Supervisor	Engº. Fernando Chachaia
Estudante	Eufrásio José Munhiça

3. RESUMO DO ENCONTRO:

O estudante apresentou o TAT, durante o qual foram realizadas melhorias no tema e nos objetivos específicos do trabalho. Houve discussão sobre a necessidade de tornar os objetivos mais claros e alinhados com a proposta do projeto. Marcou-se a data do próximo encontro.

4. RECOMENDAÇÕES:

O supervisor recomendou a revisão dos objetivos específicos para maior clareza. O estudante deve reformular os objetivos, ajustando-os à problemática apresentada, e começar a trabalhar nas revisões bibliográficas e no Capítulo I para o próximo encontro.

5. OBSERVAÇÕES: Ficou marcado para o próximo encontro discutir os Capítulos I e II

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO: 02/09/2023



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA: 2023ELEPD59

Data: 22/09/2023

1. AGENDA:

Para o encontro está previsto a discussão dos seguintes pontos:

1. Apresentação dos Capítulos I e II

2. PRESENCAS

Supervisor	Engº. Fernando Chachaia
Estudante	Eufrásio José Munhiça

3. RESUMO DO ENCONTRO:

O estudante apresentou os Capítulos I e II. Houve avanços no Capítulo 2, com melhorias nas citações, mas ainda foram identificadas áreas onde as fontes poderiam ser melhor integradas ao texto. Foi recomendado melhorar a contextualização das citações e revisar o Capítulo I para dar mais profundidade teórica e marcou-se a data do proximo encontro.

4. RECOMENDAÇÕES:

Melhorar a contextualização das citações e expandir a revisão teórica sobre **Compensação Reativa, Fluxo de Potência e Estabilidade de Sistemas de Potência.**

5. OBSERVAÇÕES: Ficou marcado para o próximo encontro discutir as correções dos Capítulos I e II e apresentação dos Capítulos III, IV e V

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO: 29/09/2023



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA: 2023ELEPD59

Data: 22/09/2023

1. AGENDA:

Para o encontro está previsto a discussão dos seguintes pontos:

1. Apresentação das correções dos Capítulos I e II e apresentação dos Capítulos III, IV e V

2. PRESENÇAS

Supervisor	Engº. Fernando Chachaia
Estudante	Eufrásio José Munhiça

3. RESUMO DO ENCONTRO:

O estudante apresentou as correções dos Capítulos I e II e trouxe o Capítulo III e IV, que trata da **Central Térmica de Beluluane**, para avaliação. O supervisor elogiou os avanços, mas destacou que os capítulos precisavam de maior coerência entre as seções. O conteúdo do Capítulo III foi considerado bom, mas foi solicitado que o estudante aprofunde os benefícios e desafios da Central e forneça uma visão crítica dos projetos citados, como **Karpower** e **Gigawatt 2**.

4. RECOMENDAÇÕES:

Melhorar a transição entre capítulos, aprofundar a análise crítica no Capítulo III e começar a preparar o Capítulo IV sobre a **Caracterização da Rede**.

5. OBSERVAÇÕES: Ficou marcado para o próximo encontro discutir as correções dos Capítulos III, IV e apresentar o capítulo V

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO: 06/10/2023



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA: 2023ELEPD59

Data: 22/09/2023

1. AGENDA:

Para o encontro está previsto a discussão dos seguintes pontos:

1. Apresentação das correções dos Capítulos III, IV e V

2. PRESENÇAS

Supervisor	Engº. Fernando Chachaia
Estudante	Eufrásio José Munhiça

3. RESUMO DO ENCONTRO:

O estudante apresentou as correções dos Capítulos III e IV, e trouxe uma versão preliminar do Capítulo V, que aborda a **Modelagem no PSS/E**. O supervisor apontou que o Capítulo IV, sobre a **Caracterização da Rede**, precisava de uma maior integração de dados técnicos e gráficos, especialmente na **Proposta de Integração da Central Térmica**. O Capítulo V foi considerado bem estruturado, mas com necessidade de mais detalhamento na **Modelagem de Barramentos e Geradores**.

4. RECOMENDAÇÕES:

Revisar o Capítulo IV, integrando mais gráficos e dados, e detalhar melhor os processos de modelagem no Capítulo V. **Próximos passos:** O estudante deve finalizar o Capítulo V e iniciar as simulações que serão discutidas no Capítulo VI sobre **Simulações e Análise dos Resultados**.

5. OBSERVAÇÕES: Ficou marcado para o próximo encontro discutir o Relatório Final Revisado

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO: 13/10/2023



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA: 2023ELEPD59

Data: 22/09/2023

1. AGENDA:

Para o encontro está previsto a discussão dos seguintes pontos:

1. Apresentação do Relatório Final Revisado

2. PRESENÇAS

Supervisor	Engº. Fernando Chachaia
Estudante	Eufrásio José Munhiça

3. RESUMO DO ENCONTRO:

O estudante apresentou o relatório final revisado, incluindo os Capítulos VI e VII, que cobrem as **Simulações e Análise dos Resultados** e as **Conclusões e Recomendações**. O supervisor observou que as simulações estavam bem detalhadas, com resultados satisfatórios na **Análise do Fluxo de Potência e Curto-Circuito**.

4. RECOMENDAÇÕES:

Preparar a defesa oral do projeto, com foco nos principais resultados das simulações e nas recomendações apresentadas

5. OBSERVAÇÕES: A defesa foi marcada pra 18/12/2023

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO: 18/12/2023

ANEXO 10: Relatório de Progresso

Tabela A10-15: Relatório de Progresso



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

Relatório de Progresso

REFERÊNCIA DO TEMA: 2023ELEPD59

1. ACTIVIDADES PLANIFICADAS

Atividade	Prazo Previsto
1. Escolha e pesquisa do tema	26/08/2023
2. Apresentação dos Capítulos I e II	02/09/2023
3. Apresentação das correções dos Capítulos I e II, e Capítulos III, IV e V	29/09/2023
4. Apresentação das correções dos Capítulos III, IV e V	06/10/2023
5. Apresentação do Relatório Final Revisado	18/10/2023

2. CONTROLE DE EXECUÇÃO

ACTV.	DATA	ESTÁGIO (%)	OBSERVAÇÕES	RÚBRICA
1	26/08/2023	2%	Tema escolhido, a espera da aprovação pelo departamento.	
2	02/09/2023	4%	Levantamento bibliográfico aprovado pelo supervisor.	
3	29/09/2023	55%	Resultados discutidos e em conformidade.	
4	06/10/2023	75%	-	
5	18/10/2023	95%	Relatório revisto e deixadas algumas recomendações.	
6	24/11/2023	100%	-	

**3. INDICAÇÃO TENTATIVA DA
CONCLUSÃO DO EP**