



ESTUDOS PARA A EXPANSÃO DA TRANSMISSÃO

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA E SOCIOAMBIENTAL DE ALTERNATIVAS:

RELATÓRIO R1

Atendimento à Região Central do Estado de Goiás

Fevereiro de 2020



GOVERNO FEDERAL
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA

Ministério de Minas e Energia

Ministro

Bento Albuquerque

Secretário-Executivo do MME

Marisete Fátima Dadald Pereira

Secretário de Planejamento e Desenvolvimento Energético

Reive Barros dos Santos

Secretário de Energia Elétrica

Domingos Romeu Andreatta

Secretário de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis

Renata Beckert Isfer

Secretário de Geologia, Mineração e Transformação Mineral

Alexandre Vidigal de Oliveira

ESTUDOS PARA A LICITAÇÃO DA EXPANSÃO DA TRANSMISSÃO

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DE ALTERNATIVAS: RELATÓRIO R1

*Atendimento à Região Central do
Estado de Goiás*



Empresa pública, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, instituída nos termos da Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004, a EPE tem por finalidade prestar serviços na área de estudos e pesquisas destinadas a subsidiar o planejamento do setor energético, tais como energia elétrica, petróleo e gás natural e seus derivados, carvão mineral, fontes energéticas renováveis e eficiência energética, dentre outras.

Presidente

Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

Diretor de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais

Giovani Machado Vitória

Diretor de Estudos de Energia Elétrica

Erik Eduardo Rego

Diretor de Estudos de Petróleo, Gás e Biocombustíveis

José Mauro Ferreira Coelho

Diretor de Gestão Corporativa

Coordenação Geral

Erik Eduardo Rego
Thiago Vasconcellos Barral Ferreira

Coordenação Executiva

José Marcos Bressane

Equipe Técnica:

Estudos Elétricos

Maxwell Cury Júnior (coordenação)
Armando Leite Fernandes
Bruno Cesar Mota Maçada
Rafael Theodoro Alves e Mello
Rodrigo Rodrigues Cabral
João Henrique Magalhães Almeida
Sérgio Felipe Falcão Lima

Análise Socioambiental

Kátia Gisele Soares Matosinho (coordenação)
Valentine Jahnel

URL: <http://www.epe.gov.br>

Sede

SCN, Qd. 01, Bl. C, nº 85, Sl. 1712/1714
70711-902 - Brasília - DF

Escritório Central

Av. Rio Branco, 01 - 11º Andar
20090-003 - Rio de Janeiro - RJ

Nº EPE-DEE-RE-027/2019-rev2

Data: 03 de fevereiro de 2020

		Contrato	Data de assinatura
Projeto		ESTUDOS PARA A LICITAÇÃO DA EXPANSÃO DA TRANSMISSÃO	
Área de estudo		Estudos do Sistema de Transmissão	
Sub-área de estudo		Análise Técnico-Econômica	
Produto (Nota Técnica ou Relatório)			
EPE-DEE-RE-027/2019		Atendimento à Região Central do Estado de Goiás	
Revisões	Data	Descrição sucinta	
rev0	02.05.2019	Emissão Original	
Rev1	09.07.2019	Revisão da área da Subestação de Silvânia	
Rev2	03.02.2020	Revisão da área da subestação de Silvânia e de parâmetros de linhas de transmissão	

APRESENTAÇÃO

Revisão 2:

Este relatório é constituído pela revisão do estudo EPE-DEE-RE-027/2019-rev1. Essa revisão atualiza a recomendação de área mínima para a subestação de Silvânia passando de 94.000 m² para 507.000 m², em conformidade com o Anexo Técnico do Lote 3 do Leilão de Transmissão 01/2020.

Adicionalmente, foi alterada a configuração dos feixes de condutores dos trechos de linha de transmissão em circuito duplo entre a nova subestação Silvânia e os pontos de seccionamento das linhas existentes, passando de 4x954 MCM para 3x954 MCM (Rail), o que acarretou atualizações nas Tabela 3-3, Figura 7-1, Tabela 7-2, Tabela 7-3, Tabela 7-4 e Tabela 7-5.

Revisão 1:

Este relatório é constituído pela revisão do estudo EPE-DEE-RE-027/2019-rev0. Essa revisão reduz a área recomendada para a subestação de Silvânia de 1.000.000 m² para 94.000 m².

A recomendação inicial de área correspondia a configuração final esperada para a nova subestação Silvânia 500 kV. Contudo, como boa parte das expansões previstas para essa subestação são indicativas e há muitas incertezas associadas à sua efetiva concretização, recomendamos que seja adquirida somente a área necessária para comportar as obras iniciais, ou seja, 94.000 m².

Adicionalmente foi inserida uma nova figura no item recomendações - Figura 3-1.

Texto Original:

Este estudo realizou uma avaliação do benefício da antecipação da implantação da LT 500 kV Trindade – Silvânia e da nova SE 500 kV Silvânia, em comparação a outras opções de reforços estruturais de transmissão de energia, para atendimento ao critério N-1 na Rede Básica que atende à região central do estado de Goiás.

As análises socioambientais da alternativa vencedora foram realizadas e documentadas na Nota Técnica EPE-DEA 002/2019, a qual encontra-se anexa a este documento.

(Esta página foi intencionalmente deixada em branco para o adequado alinhamento de páginas na impressão com a opção frente e verso)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E OBJETIVO	12
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	12
1.2	OBJETIVOS GERAIS.....	12
1.3	ABORDAGEM ADOTADA.....	13
2	CONCLUSÕES.....	14
3	RECOMENDAÇÕES	15
4	DADOS, PREMISSAS E CRITÉRIOS	20
4.1	CRITÉRIOS BÁSICOS.....	20
4.2	CASOS DE TRABALHO	20
4.3	PROJEÇÕES DE MERCADO	20
4.4	ELABORAÇÃO DOS CENÁRIOS	21
4.5	LIMITES OPERATIVOS	22
4.5.1	Tensão.....	22
4.5.2	Fator de Potência.....	23
4.5.3	Carregamento.....	23
4.6	CLASSIFICAÇÃO DO HORIZONTE DAS OBRAS	23
4.7	PARÂMETROS ECONÔMICOS.....	24
5	DIAGNÓSTICO DO SISTEMA.....	25
5.1	SISTEMA ELÉTRICO DE INTERESSE.....	25
5.2	DESEMPENHO ELÉTRICO DA REDE.....	26
6	DESCRIÇÃO DAS ALTERNATIVAS.....	28
6.1	ALTERNATIVA 1.....	28
6.2	ALTERNATIVA 2.....	29
6.3	ALTERNATIVA 3.....	30
7	ANÁLISE ECONÔMICA	33
8	DEFINIÇÃO DA COMPENSAÇÃO SHUNT	38
8.1	ANÁLISE SIMPLIFICADA DE RELIGAMENTO MONOPOLAR	38
8.2	ANÁLISE EM REGIME NORMAL E EM CONTINGÊNCIA	39
8.3	ANÁLISE DE ENERGIZAÇÃO E REJEIÇÃO DE CARGA	40
8.3.1	Eixo Silvânia - Trindade	41
8.3.2	Eixo Samambaia - Silvânia	44
8.3.3	Eixo Silvânia - Itumbiara	47
8.3.4	Eixo Silvânia - Emborcação	50
9	AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DA LINHA DE TRANSMISSÃO	53
9.1	AVALIAÇÃO ECONÔMICA DA LINHA DE TRANSMISSÃO EM 500 kV SILVÂNIA - TRINDADE CS	53
9.2	ANÁLISE DE RESSONÂNCIA E EXTINÇÃO DE ARCO SECUNDÁRIO DA LT 500 kV SILVÂNIA – TRINDADE	56
10	ANÁLISE DE CURTO-CIRCUITO	60

11 REFERÊNCIAS.....	61
12 EQUIPE TÉCNICA.....	62
13 FICHAS PET	63
14 FICHAS PARA CONFORMIDADE DOS RELATÓRIOS R2 E R4	67
15 NT DEA 002/19.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3-1 Configuração inicial planejada para a SE 500 kV Silvânia.....	17
Figura 3-2: Configuração final planejada para a SE 500 kV Silvânia	18
Figura 3-3 Proposta de conexão da nova LT 500 kV Trindade-Silvânia.....	19
Figura 5-1 Sistema elétrico da Região central do Estado de Goiás.....	25
Figura 6-1 – Alternativa 1: Eixo 500 kV Trindade – Silvânia e nova SE 500 kV Silvânia.....	29
Figura 6-2 – Alt. 2: Eixo 230 kV Goianira-Pirineus-Águas Lindas e LT 230 kV Niquelândia – B. Alto C3.....	30
Figura 6-3 – Alternativa 3: Nova SE 500/345 kV Silvânia e nova SE 345/230 kV Senador Canedo e	31
Figura 6-4 – Alternativa 3: Detalhamento seccionamentos na nova SE 345/230 kV Senador Canedo.....	32
Figura 7-1 – Comparação econômica – Etapa 1	34
Figura 8-1 – Energização Eixo Silvânia - Trindade: por SE Silvânia (pt 1)	41
Figura 8-2 - Energização Eixo Silvânia - Trindade: por SE Silvânia (pt 2)	42
Figura 8-3 – Energização Eixo Silvânia – Trindade: por SE Trindade	43
Figura 8-4 – Rejeição Eixo Silvânia - Trindade: por terminal.....	43
Figura 8-5 – Energização Eixo Samambaia - Silvânia: por SE Samambaia.....	45
Figura 8-6 – Energização Eixo Samambaia - Silvânia: por SE Silvânia.....	46
Figura 8-7 – Rejeição Eixo Samambaia - Silvânia: por terminal.....	47
Figura 8-8 – Energização Eixo Silvânia - Itumbiara: por SE Silvânia	48
Figura 8-9 – Energização Eixo Silvânia - Itumbiara: por SE Itumbiara	49
Figura 8-10 – Rejeição Eixo Silvânia - Itumbiara: por terminal.....	49
Figura 8-11 – Energização Eixo Silvânia - Emborcação: por SE Silvânia	50
Figura 8-12 – Energização Eixo Silvânia - Emborcação: por SE Emborcação	51
Figura 8-13 – Rejeição Eixo Silvânia - Emborcação: por terminal	52
Figura 9-1 – Dados técnicos básicos da LT 500 kV Silvânia – Trindade CS, configuração com quatro sub condutores RAIL por fase.....	55
Figura 9-2 – LT 500 kV Silvânia – Trindade, C1, CS - Prospecção dos valores eficazes das tensões induzidas na fase aberta com neutro dos reatores solidamente aterrados	57
Figura 9-3 – Sensibilidade nos valores eficazes de tensão de fase aberta com variação no comprimento da LT 500 kV Silvânia – Trindade, C1, CS com neutro dos reatores solidamente aterrados – Máxima tensão de fase aberta no Terminal Silvânia (fase C – externa).....	58
Figura 9-4 – Sensibilidade nos valores eficazes de corrente de arco secundário com variação no comprimento da LT 500 kV Silvânia – Trindade, C1, CS com neutro dos reatores solidamente aterrados – Corrente de arco secundário no Terminal Silvânia (fases A e C – externas)	59

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3-1 – Rede Básica: Obras recomendadas de linha de transmissão	15
Tabela 3-2 – Rede Básica: Obras recomendadas de subestação e equipamentos.....	15
Tabela 3-3 – Rede Básica: Obras recomendadas de seccionamento de linha de transmissão	15
Tabela 4-1 Mercado: carga média	21
Tabela 4-2 Mercado: carga leve	21
Tabela 4-3 Intercâmbios entre Regiões – Cenário 1	21
Tabela 4-4 Intercâmbios entre Regiões – Cenário 2.....	22
Tabela 4-5 Intercâmbios entre Regiões – Cenário 3	22
Tabela 4-6 – Níveis de tensão admissíveis para cada classe de tensão.....	22
Tabela 4-7 – Fatores de Potência por nível de tensão	23
Tabela 5-1 Obras previstas na região de interesse.....	26
Tabela 5-2 Desempenho elétrico – Ano 2024	26
Tabela 7-1 – Valores de sobrecusto para linhas curtas.....	33
Tabela 7-2 – Comparação de Custos de Alternativas – Etapa 1.....	34
Tabela 7-3 – Custos da Alternativa 1	35
Tabela 7-4 – Custos da Alternativa 2	36
Tabela 7-5 – Custos da Alternativa 3	37
Tabela 8-1 – Tensão de Terminal Aberto (pu).....	40
Tabela 9-1 – Alternativas com condutores tecnicamente viáveis	54
Tabela 9-2 – Coordenadas dos condutores (centro do feixe) na torre típica da LT 500 kV Silvânia - Trindade.....	54
Tabela 9-3 – Características elétricas da linha de transmissão em 500 kV	55
Tabela 9-4 – Valores eficazes das correntes de arco secundário (A) a 60 Hz, para religamento monopolar na LT 500 kV Silvânia – Trindade, C1, CS - Falta nas extremidades e 1/2 da LT com o neutro dos reatores solidamente aterrado.....	57
Tabela 10-1 - Níveis de Curto-circuito verificados: com e sem obras no ano 2024	60

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO

1.1 Considerações Iniciais

O carregamento das linhas de transmissão e subestações localizadas na região central do estado de Goiás, devido a seu posicionamento eletro-geográfico, é bastante influenciado pelo cenário de intercâmbio entre as regiões Sudeste/Centro-Oeste e Norte/Nordeste. Particularmente o eixo de 230 kV entre as SEs Trindade-Xavantes-Pirineus-Brasília Sul, serve de caminho a esse fluxo de intercâmbio entre as regiões citadas, em ambos os sentidos de exportação.

Dessa forma, em cenários críticos de carregamento, tanto no período seco como no úmido da Região Norte, contingências nesse eixo levam a sobrecargas nas linhas remanescentes. Como solução desse problema havia a perspectiva de interligação de uma nova linha de transmissão de 500 kV ao sistema elétrico regional interligando a SE Trindade a uma nova SE denominada Silvânia. Essa LT foi concebida devido à necessidade de ampliação da capacidade da interligação entre as regiões Norte/Nordeste e Sudeste/Centro Oeste e tinha originalmente o ano 2021 como ano de necessidade. No entanto, com a redução da carga do Sistema Interligado Nacional - SIN devido à recessão econômica recente, houve uma diminuição significativa de contratação de energia nova através dos leilões do mercado regulado, o que postergou a necessidade de implantação dessa LT para o ano 2027.

Devido a essa postergação, o sistema elétrico regional ficou exposto às condições inadmissíveis descritas acima, havendo necessidade, portanto, da realização de um estudo para a determinação de reforços estruturais necessários que permitam o atendimento ao critério N-1 no eixo de 230 kV dessa região central do estado de Goiás, sendo que uma das alternativas consideradas seria a antecipação da nova LT 500 kV Trindade-Silvânia e da nova SE 500 kV Silvânia.

1.2 Objetivos Gerais

O objetivo deste estudo é, portanto, avaliar o benefício de antecipação de parte dos reforços estruturais previstos para aumento da capacidade da interligação entre as regiões citadas no item anterior, em comparação à recomendação de outros reforços, para atendimento ao critério N-1 da Rede Básica que atende à região central do estado de Goiás.

1.3 Abordagem Adotada

As análises foram realizadas considerando-se o adiamento da nova LT 500 kV Trindade-Silvânia e da nova SE 500 kV Silvânia para o ano 2027 e utilizando-se de diversos cenários energéticos para confirmação dos problemas apontados.

De posse desses cenários foram escolhidos aqueles de maior severidade para a malha em 230 kV da região central do estado de Goiás.

A escolha da alternativa vencedora foi feita através do critério do mínimo custo global, considerando-se como uma das alternativas o custo apenas da antecipação da nova LT 500 kV Trindade-Silvânia e da nova SE 500 kV Silvânia do ano 2027 para o primeiro ano em que foram verificadas sobrecargas nas linhas de transmissão regionais.

2 CONCLUSÕES

Concluiu-se que a antecipação para o ano 2024 de parte das obras associadas ao aumento da capacidade da interligação entre as regiões Norte/Nordeste e Sudeste/Centro-Oeste, relacionadas na Tabela 3-1, é a melhor opção técnico-econômica para permitir o atendimento ao critério N-1 na Rede Básica que atende à região central do estado de Goiás.

Além de permitir o atendimento ao critério N-1, a implantação das obras indicadas trará os seguintes benefícios sistêmicos:

- Dota o sistema elétrico da região central do estado de Goiás de um novo ponto de conexão ao sistema em 500 kV, que é interessante uma vez que há dificuldades para novas expansões nas SEs existentes de Luziânia e Samambaia; e
- Propicia ao sistema elétrico de 500 kV de suprimento à capital Goiânia o atendimento ao critério diferenciado N-2, quando da perda da LT 500 kV Trindade-Rio Verde Norte de circuito duplo.

O custo total dos investimentos é de cerca de R\$ 360 milhões.

3 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se o início imediato do processo licitatório das obras descritas na Tabela 3-1, Tabela 3-2 e Tabela 3-3 para a Rede Básica:

Tabela 3-1 – Rede Básica: Obras recomendadas de linha de transmissão

Obras referentes a Linhas de Transmissão					
Origem	Destino	Circuito	Extensão (km)	Tensão (kV)	Data de Necessidade
Trindade	Silvânia	Simples – C1, 4x954MCM (Rail)	155	500	2024

Tabela 3-2 – Rede Básica: Obras recomendadas de subestação e equipamentos

Subestação	Tensão (kV)	Equipamento	Nº	Data de Necessidade
Silvânia (nova)	500	Reatores de Barra - 150 Mvar – 3+1R x (- 50,00 Mvar)	1º	2024
		Reator de Linha - 60 Mvar - 3+1R x (- 20,00 Mvar)	-	2024
		Ref. LT 500 kV Silvânia – Trindade C1		
Trindade	500	Reator de Linha - 60 Mvar - 3+1R x (- 20,00 Mvar)	-	2024
		Ref. LT 500 kV Silvânia – Trindade C1		

Tabela 3-3 – Rede Básica: Obras recomendadas de seccionamento de linha de transmissão

Origem	Destino	Circuito	Extensão (km)	Tensão (kV)	Data de necessidade
Ponto de Seccionamento da LT 500 kV Samambaia - Emborcação	Silvânia	1 x CD - 3x954 MCM (Rail)	2 x 7,14	500	2024
Ponto de Seccionamento da LT 500 kV Samambaia - Itumbiara	Silvânia	1 x CD - 3x954 MCM (Rail)	2 x 14,37	500	2024

Com relação aos novos trechos de linha relativos aos seccionamentos, recomenda-se o uso de um feixe de condutores de 3x954 MCM (Rail), conforme Tabela 3-3, diferentemente das linhas seccionadas que possuem feixes de 3x900 MCM. Essa alteração visa melhorar o desempenho frente às emissões eletromagnéticas, especialmente no que diz respeito ao Efeito Corona.

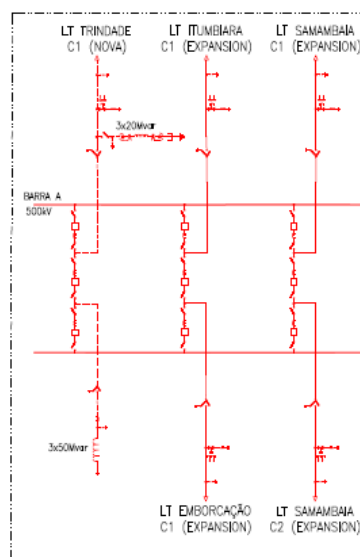
Recomenda-se, também, que a nova SE 500 kV Silvânia tenha área mínima de 507.500 m² (quinhentos e sete mil e quinhentos metros quadrados) e largura mínima de 700 metros, devendo contemplar espaço suficiente para as instalações a serem implantadas de imediato, conforme mostrado no esquemático da Figura 3-1.

Salienta-se que o empreendedor deve levar em consideração o arranjo final da subestação, conforme Figura 3-2, durante a construção da SE.

Considerando as características técnicas da LT 500 kV Trindade - Silvânia, o comprimento, a compensação em derivação e a rede adjacente, recomenda-se a elaboração do relatório R2 para esse empreendimento.

Adicionalmente, o escopo desse relatório R2 deve contemplar investigações sobre os seccionamentos da LT 500 kV Samambaia – Itumbiara e LT 500 kV Samambaia – Emborcação na SE Silvânia 500 kV, com o intuito de avaliar a necessidade de remoção ou soluções para a permanência dos reatores em derivação dos novos trechos resultantes dos seccionamentos mencionados. Essas investigações consistem em: (i) avaliar a ocorrência de zeros atrasados que prejudiquem a operação dos disjuntores nos novos trechos das linhas de transmissão; (ii) avaliar o fenômeno de ressonância e extinção de arco secundário para viabilizar o religamento monopolar; (iii) verificar possíveis sobretensões nos reatores de neutro existentes, e também nos reatores em derivação desses trechos, e a suportabilidade de tensão desses componentes; e (iv) avaliar a necessidade de adequar os ciclos de transposição e suportabilidade dos cabos para-raios em virtude dos seccionamentos da LT 500 kV Samambaia – Itumbiara e LT 500 kV Samambaia – Emborcação na SE Silvânia 500 kV.

SE SILVÂNIA CONFIGURAÇÃO INICIAL (94.000 m²)



LEGENDA	
—	SETOR 500 KV
---	ELEMENTOS INDICADOS NO PRESENTE ESTUDO

CONFIGURAÇÃO PROPOSTA PARA A SUBESTAÇÃO

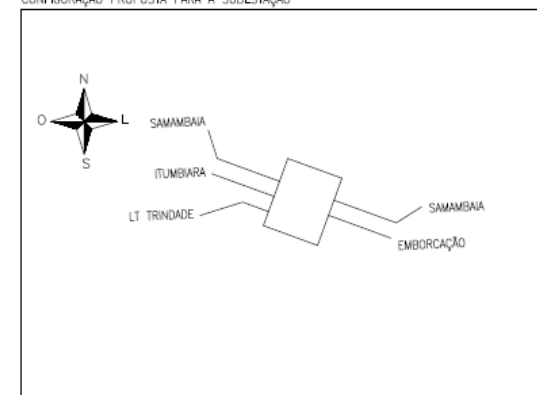


Figura 3-1 Configuração inicial planejada para a SE 500 kV Silvânia

SE SILVÂNIA

CONFIGURAÇÃO FINAL (507.500 m²)

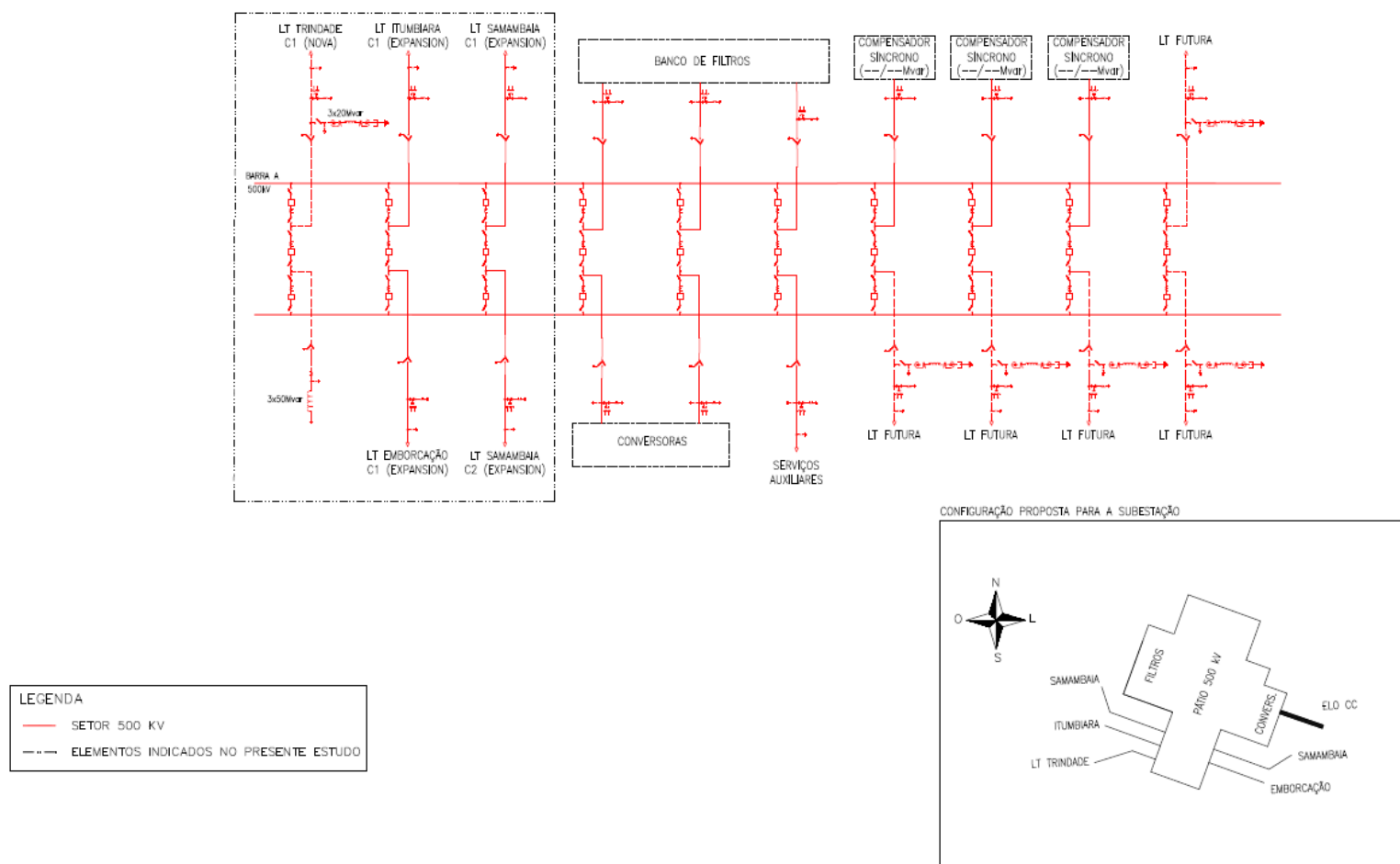


Figura 3-2: Configuração final planejada para a SE 500 kV Silvânia

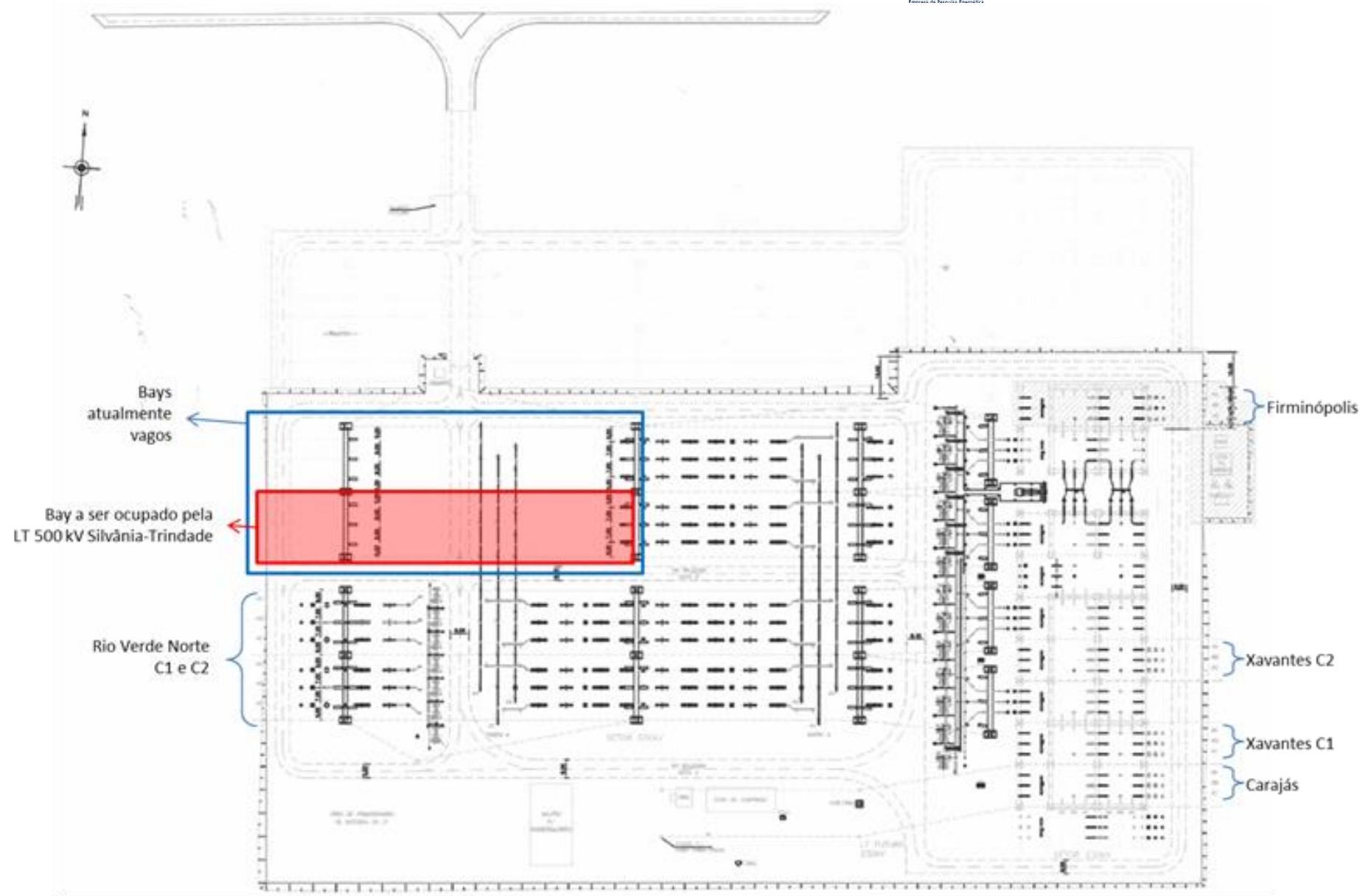


Figura 3-3 Proposta de conexão da nova LT 500 kV Trindade-Silvânia na SE Trindade

4 DADOS, PREMISSAS E CRITÉRIOS

4.1 Critérios Básicos

Foram seguidas as diretrizes para elaboração da documentação necessária para se recomendar ao Ministério de Minas e Energia - MME uma nova instalação de transmissão integrante da Rede Básica, as quais estão definidas no documento publicado pela EPE denominado "Diretrizes para Elaboração dos Relatórios Técnicos Referentes às Novas Instalações da Rede Básica" [2].

Os critérios e procedimentos utilizados no estudo estão de acordo com o documento "Critérios e Procedimentos para o Planejamento da Expansão dos Sistemas de Transmissão - CCPE/CTET - Janeiro/2001" [3], com os seguintes destaques:

- Conceito de mínimo custo global para a escolha da alternativa;
- Variação máxima de 5% da tensão no barramento decorrente da manobra de equipamentos;
- Atendimento ao critério N-1, sem corte automático de geração;
- As linhas CA deverão estar aptas para utilização de religamento monopolar; e
- Para os carregamentos máximos de linhas de transmissão e transformadores, foram seguidas, para as instalações existentes, as informações das empresas concessionárias contidas nos casos-base do Plano Decenal da Transmissão 2027 [4]. Para as transformações futuras, foram admitidas sobrecargas de 20% em emergência.

Quando aplicáveis, serão respeitados ainda os requisitos do Submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS [6]. Ressalta-se que, além das simulações de fluxo de carga, serão analisados os níveis de curto-circuito da alternativa selecionada para a expansão do sistema elétrico em análise.

4.2 Casos de Trabalho

Considerou-se como referência para as simulações de fluxo de potência a base de dados correspondente ao Plano Decenal da Transmissão EPE 2027 [4], com as atualizações pertinentes da topologia da rede de transmissão, plano de geração e mercado.

4.3 Projeções de Mercado

As projeções de demanda consideradas foram aquelas referentes ao Plano Decenal da Transmissão EPE 2027 [4]. Foram utilizados os patamares de carga Média e Leve por serem os ideais para os intercâmbios considerados, conforme descrito no item 4.4.

A Tabela 4-1 e a Tabela 4-2 a seguir mostram a demanda considerada, por patamar de carga, para as Distribuidoras locais:

Tabela 4-1 Mercado: carga média

Dist/Ano	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
CEB	1346	1408	1444	1479	1523	1569	1616
ENEL-GO	3142	3296	3454	3643	3815	3995	4176
Total	4488	4704	4898	5122	5338	5563	5792

Tabela 4-2 Mercado: carga leve

Dist/Ano	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
CEB	635	663	686	702	723	745	767
ENEL-GO	1942	2038	2137	2268	2372	2483	2592
Total	2577	2701	2823	2970	3095	3228	3359

4.4 Elaboração dos Cenários

Serão avaliadas somente as condições de intercâmbio, carga e geração mais críticas para o sistema elétrico da região de interesse. Nesse sentido, foram preparados diversos cenários e, em seguida, reduziu-se para apenas 3 (três), sendo esses os que apresentaram as condições de desempenho mais críticas. Os cenários são descritos resumidamente a seguir:

- **Cenário 1:** Máxima exportação das Regiões Norte e Nordeste, concomitantemente, para a Região Sudeste/Centro-Oeste no patamar de carga média – Este cenário de intercâmbio pressupõe, basicamente, alta geração hidráulica na Região Norte e alta geração eólica na Região Nordeste, conforme mostrado resumidamente na Tabela 4-3.

Tabela 4-3 Intercâmbios entre Regiões – Cenário 1

Intercâmbios Energéticos (Balanço Estático)		
SE/CO - > SUL	10594,5	MW
N/NE-> SE/CO	21624,2	MW
EXP_N	10427,5	MW
EXP_NE	11196,7	MW

- **Cenário 2:** Máxima importação das Regiões Norte e Nordeste, concomitantemente, da Região Sudeste/Centro-Oeste no patamar de carga leve – Este cenário de intercâmbio pressupõe, basicamente, baixa geração hidráulica na Região Norte e baixa geração eólica e solar na Região Nordeste, conforme mostrado resumidamente na Tabela 4-4.

Tabela 4-4 Intercâmbios entre Regiões – Cenário 2

Intercâmbios Energéticos (Balanço Estático)		
SE/CO - > SUL	-7390,4	MW
N/NE-> SE/CO	-5786,3	MW
EXP_N	-2986,0	MW
EXP_NE	-2800,3	MW

- **Cenário 3:** Minimização do fluxo nas interligações entre as Regiões Norte/Nordeste e Sudeste/Centro-Oeste, para verificação de possíveis sobretensões, conforme mostrado resumidamente na Tabela 4-5.

Tabela 4-5 Intercâmbios entre Regiões – Cenário 3

Intercâmbios Energéticos (Balanço Estático)		
SE/CO - > SUL	-5335,7	MW
N/NE-> SE/CO	4595,1	MW
EXP_N	1271,5	MW
EXP_NE	3323,6	MW

4.5 Limites Operativos

4.5.1 Tensão

De acordo com o Submódulo 23.3 dos Procedimentos de Rede do ONS [6], foram considerados os limites de tensão conforme Tabela 4-6. Para barras de conexão à Rede Básica de agentes de distribuição e de consumidores livres ou potencialmente livres, devem ser adotados, em contingência, os mesmos limites de operação normal.

Tabela 4-6 – Níveis de tensão admissíveis para cada classe de tensão

Tensão Nominal de Operação	Condição Normal de Operação		Condição Operativa de Emergência	
	(kV)	(pu)	(kV)	(pu)
<230	-	0,95 a 1,05	-	0,90 a 1,05
230	218 a 242	0,95 a 1,05	207 a 242	0,90 a 1,05
345	328 a 362	0,95 a 1,05	311 a 362	0,90 a 1,05
440	418 a 460	0,95 a 1,046	396 a 460	0,90 a 1,046
500	500 a 550	1,00 a 1,10	475 a 550	0,95 a 1,10
525	500 a 550	0,95 a 1,05	475 a 550	0,90 a 1,05
765	690 a 800	0,90 a 1,046	690 a 800	0,90 a 1,046

4.5.2 Fator de Potência

Nos pontos de conexão à Rede Básica e nos barramentos de fronteira, os acessantes devem manter o fator de potência nas faixas especificadas na Tabela 4-7, de acordo com o Submódulo 3.6 dos Procedimentos de Rede do ONS.

Tabela 4-7 – Fatores de Potência por nível de tensão

Tensão nominal do ponto de conexão	Faixa de fator de potência
$V_n \geq 345 \text{ kV}$	0,98 indutivo a 1,0
$69 \text{ kV} \leq V_n < 345 \text{ kV}$	0,95 indutivo a 1,0
$V_n < 69 \text{ kV}$	0,92 indutivo a 1,0 0,92 capacitivo a 1,0

Em casos em que se verificaram violações dos limites especificados de fator de potência das transformações de fronteira, considerou-se executado o programa previsto de instalação de bancos capacitores pelas concessionárias distribuidoras locais, sendo considerando o cumprimento do requisito mínimo desse fator.

4.5.3 Carregamento

Foram utilizados os limites de curta e longa duração informados pelas empresas proprietárias dos equipamentos em seus respectivos Contratos de Prestação de Serviços de Transmissão - CPST. No caso de transformadores novos, foi considerada a capacidade operativa de curta duração (4 horas), correspondente a 120% da capacidade nominal do equipamento.

4.6 Classificação do Horizonte das Obras

Foram consideradas como determinativas as obras definidas dentro do horizonte do Programa de Expansão da Transmissão da EPE – PET: Ciclo 2019 – 1º semestre [7], ou seja, até o ano 2025. As demais obras foram definidas como indicativas, e serão incorporadas ao Programa de Expansão de Longo Prazo da EPE – PELP: Ciclo 2019 – 1º semestre [7].

Cumprir notar que tanto as obras determinativas quanto as indicativas fazem parte das recomendações do estudo. Contudo, as obras indicativas poderão ser reavaliadas nos ciclos de planejamento subsequentes. Por outro lado, caso não sejam vislumbrados novos problemas que justifiquem análises adicionais para as regiões envolvidas, essas obras se tornarão determinativas à medida que o horizonte do PET for sendo incrementado.

Estendeu-se o horizonte da análise até o ano 2033, ou seja, 10 (dez) anos a partir do ano inicial (2024).

4.7 Parâmetros Econômicos

Para o custo de investimentos foi utilizada a Base de Preços de Referência da ANEEL de fevereiro de 2019 [5]. Foi considerada uma taxa de atualização de 8% a.a.

Para valoração das perdas elétricas, foi utilizado um custo marginal de expansão de R\$ 233,95/MWh [9], os patamares de carga leve e média e cenários Norte Úmido e Norte Seco, utilizando-se dos casos base do Plano Decenal da Transmissão EPE 2027 [4].

Tanto o custo de investimento quanto o custo de perdas elétricas serão truncadas no ano horizonte do estudo (2033), conforme definido no documento “Critérios e Procedimentos para Planejamento da Expansão dos Sistemas de Transmissão” [3]. O percentual de variação máxima do custo global entre alternativas para configurar um empate será de 5%.

5 DIAGNÓSTICO DO SISTEMA

Esse capítulo apresenta as análises de regime permanente realizadas sobre o sistema elétrico que atende à região de interesse.

5.1 Sistema Elétrico de Interesse

A Figura 5-1 ilustra a configuração do sistema elétrico da região de interesse, destacando-se o eixo em 230 kV Trindade-Xavantes-Pirineus-Brasília Sul.

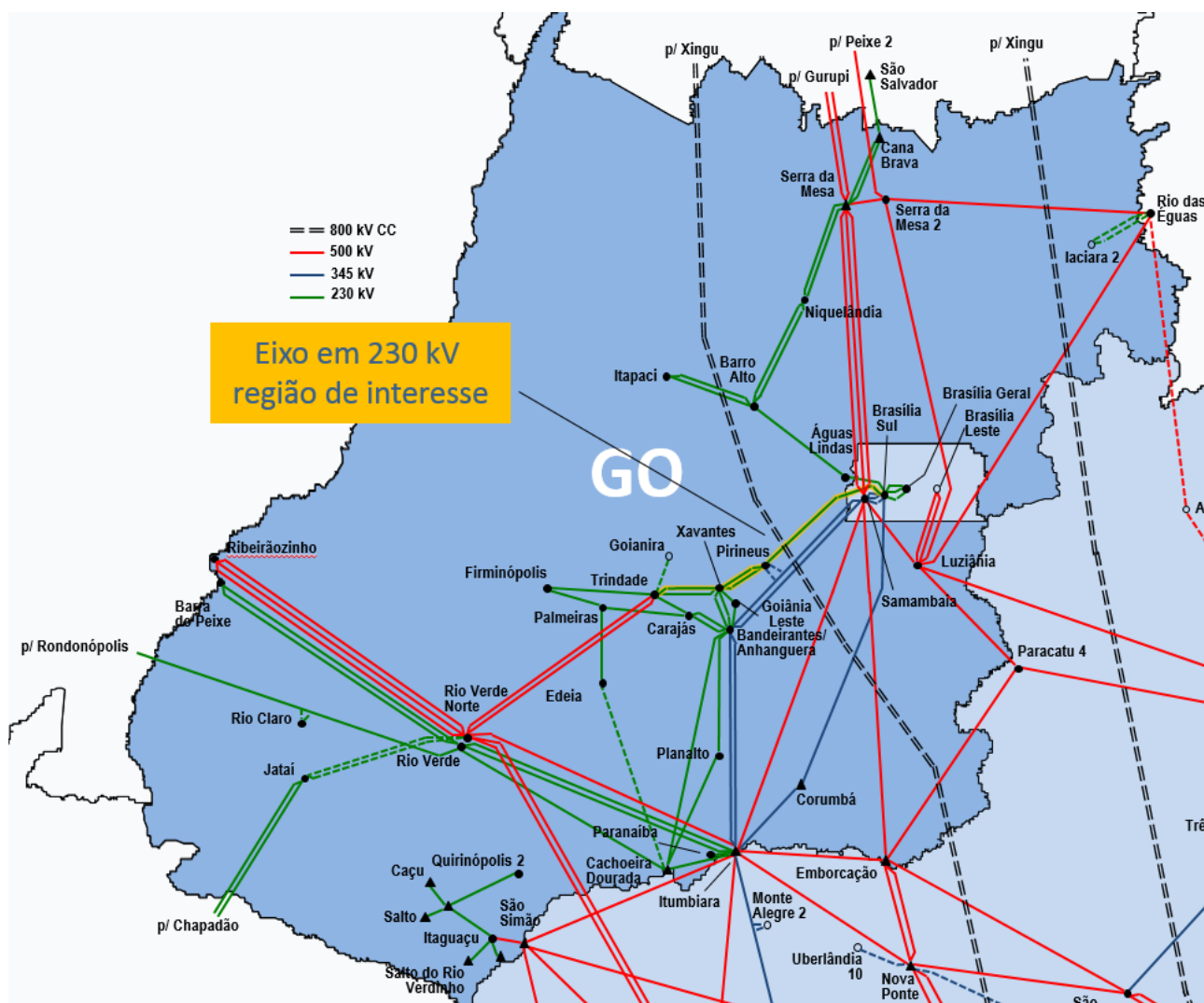


Figura 5-1 Sistema elétrico da Região central do Estado de Goiás

Percebe-se claramente que esse eixo de 230 kV serve de passagem para o fluxo de intercâmbio entre as regiões Norte/Nordeste e Sudeste/Centro-Oeste, tanto no sentido para a Região Norte no período seco quanto no sentido da Região Norte no período úmido.

A Tabela 5-1 mostra as obras de transmissão previstas para o sistema elétrico regional, as quais têm impacto significativo no desempenho, bem como o status do empreendimento:

Tabela 5-1 Obras previstas na região de interesse

Obra	Previsão de entrada em operação
LT 230 kV Itumbiara-Paranaíba C2	Concluída
LT 230 kV Trindade-Firminópolis C1	Concluída
LT 230 kV Edéia-Cachoeira Dourada C1	2022
Novo pátio 345 kV na SE Pirineus	2023
LT 230 KV Trindade-Goianira e nova SE 230/138 kV Goianira	2024

5.2 Desempenho Elétrico da Rede

Foram realizadas análise das seguintes contingências que têm impacto direto no desempenho do sistema elétrico da região em análise:

- LT 230 kV Brasília Sul-Pirineus
- LT 230 kV Brasília Sul-Pirineus
- LT 345 kV Brasília Sul-Pirineus
- LT 230 kV Pirineus-Xavantes
- LT 345 kV Brasília Sul- Bandeirantes
- LT 230 kV Xavantes-Goiânia Leste
- LT 230 kV Goiânia Leste-Anhanguera
- LT 230 kV Anhanguera-Planalto
- LT 230 kV Anhanguera-Cachoeira Dourada
- LT 345 kV Bandeirantes-Itumbiara
- LT 230 kV Trindade-Carajás
- LT 230 kV Carajás-Anhanguera
- LT 230 kV Carajás-Palmeiras
- LT 230 kV Palmeiras-Edéia
- LT 230 kV Edéia-Cachoeira Dourada
- LT 230 kV Cachoeira Dourada-Itumbiara
- LT 345 kV Brasília Sul-Corumbá
- LT 345 kV Corumbá-Itumbiara

A Tabela 5-2 apresenta um resumo dos problemas identificados no diagnóstico do sistema elétrico que atende a região no ano de 2024.

Tabela 5-2 Desempenho elétrico – Ano 2024

Cenário	Linha de Transmissão	Carregamento Condição Normal (%)
2	LT 230 kV Xavantes - Pirineus C1	106%
1	LT 345 kV Samambaia - Pirineus C1	98%
1	LT 230 kV Brasília Sul - Pirineus C1	105%

Contingência	Cenário	Linha de Transmissão	Carregamento em Emergência (%)
LT 345 kV Samambaia - Bandeirantes C1	2	LT 230 kV Xavantes - Pirineus C1	94%
LT 345 kV Samambaia - Bandeirantes C1	1	LT 345 kV Samambaia - Pirineus C1	101%
LT 345 kV Samambaia - Bandeirantes C1	1	LT 230 kV Brasília Sul - Pirineus C1	92%
LT 345 kV Samambaia - Pirineus C1	1	LT 230 kV Brasília Sul - Pirineus C1	113%
LT 345 kV Pirineus - Bandeirantes C1	2	LT 230 kV Xavantes - Pirineus C1	122%
LT 500 kV Samambaia - Itumbiara C1	2	LT 230 kV Xavantes - Pirineus C1	100%
LT 230 kV Xavantes - Pirineus C1	2	LT 230 kV Xavantes - Pirineus C2	121%
TRAFO 345/230 kV Bandeirantes ATR 1	1	TRAFO 345/230 kV Bandeirantes ATR 2	104%

A Tabela 5-2 apresenta a contingência analisada (ou situação normal de operação), o respectivo cenário em que foi detectado o problema, em qual elemento esse problema foi detectado e o percentual de sobrecarga verificado.

Eliminando-se os problemas que apresentaram valores marginais de sobrecarga, temos os seguintes pontos apresentando sobrecargas inadmissíveis:

- Sobrecarga em condição normal na LT 230 kV Xavantes-Pirineus no cenário Sudeste/Centro-Oeste exportador e na LT 230 kV Brasília Sul-Pirineus no cenário Norte/Nordeste exportador;
- Sobrecarga na LT 230 kV Brasília Sul-Pirineus quando da perda da LT 345 kV Samambaia-Pirineus no cenário Sudeste/Centro-Oeste importador; e
- Sobrecarga na LT 230 kV Xavantes-Pirineus C2 quando da perda da LT 345 kV Bandeirantes-Pirineus ou da LT 230 kV Xavantes-Pirineus C1 no cenário Sudeste/Centro-Oeste importador.

Não se verificam grandes alterações no diagnóstico para os anos posteriores ao ano 2024, uma vez que essa análise realizada para o ano inicial considerou o máximo possível no intercâmbio entre as regiões envolvidas.

6 DESCRIÇÃO DAS ALTERNATIVAS

6.1 Alternativa 1

A Figura 6-1 mostra um esquemático das obras previstas para a Alternativa 1. Essa alternativa contempla a interligação ao sistema de uma nova SE denominada Silvânia e de uma LT 500 kV interligando as SEs de Silvânia (nova) e Trindade (existente). O atendimento à nova SE Silvânia será realizado através do seccionamento das LTs 500 kV Samambaia-Itumbiara e Samambaia-Emborcação. Ressalta-se que essas obras já foram indicadas para ampliação da interligação Norte-Sudeste/Centro Oeste em 2027 [4], conforme já exposto. Assim, para essa alternativa, essas obras serão custeadas considerando-se o ano inicial de necessidade verificado no estudo (2024) e, para as demais alternativas, estas obras serão custeadas para o ano de 2027 por se tratarem de obras comuns.

Ressalta-se, contudo, que considerou-se nos custos da Alternativa 1 a implantação da LT 230 kV Goianira-Xavantes [8] no ano 2027, uma vez que as obras previstas nas demais alternativas eliminam a necessidade dessa linha. A contabilização dos custos dessa linha na Alternativa 1 faz-se necessária para que todos os benefícios advindos da alternativa sejam refletidos no mínimo custo global.

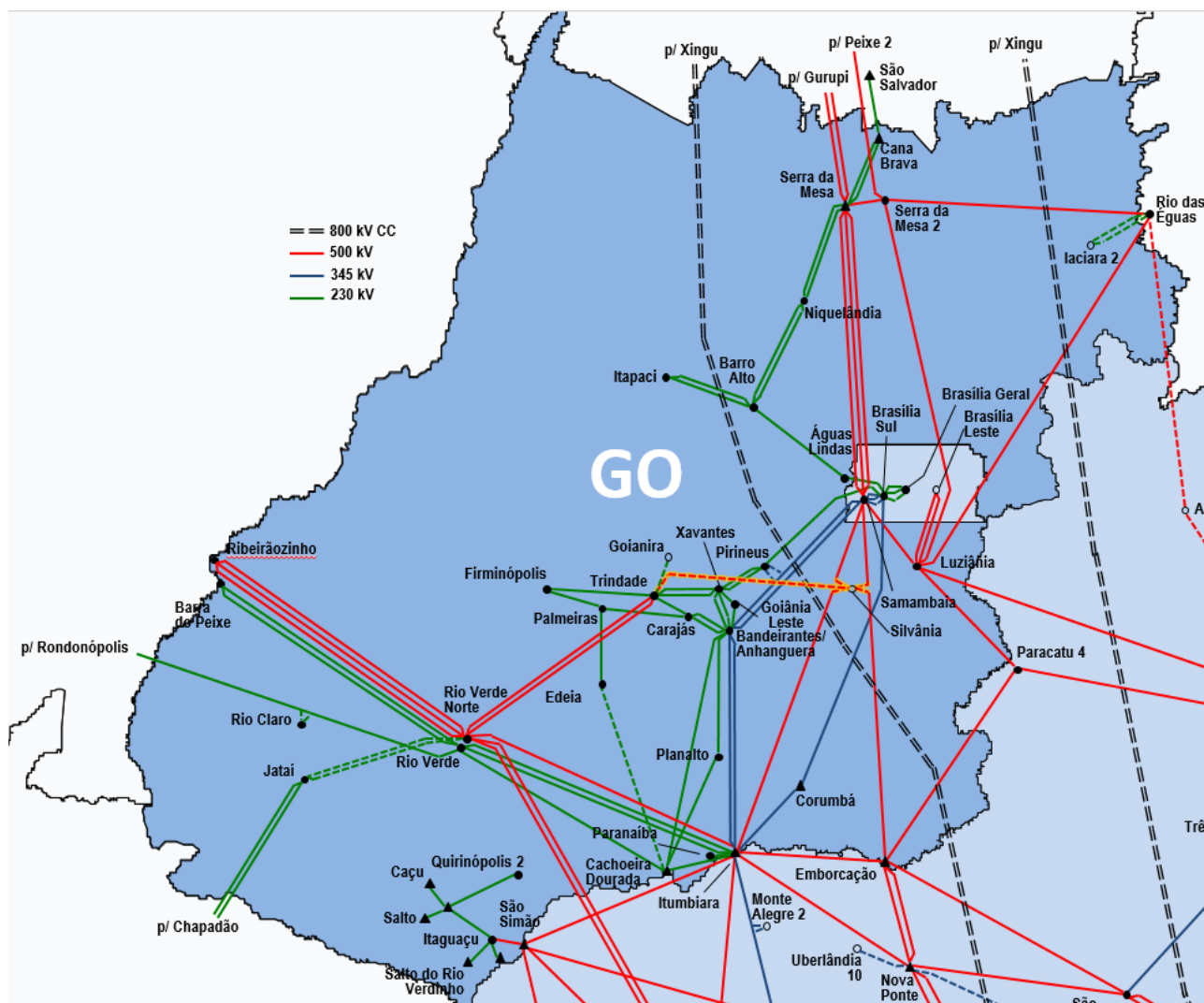


Figura 6-1 – Alternativa 1: Eixo 500 kV Trindade – Silvânia e nova SE 500 kV Silvânia.

6.2 Alternativa 2

A Figura 6-2 mostra um esquemático das obras previstas para a alternativa 2. Essa alternativa contempla a interligação de um novo eixo de 230 kV com a implantação das LTs Niquelândia-Barro Alto C3 e Águas Lindas-Pirineus-Goianira. Essa alternativa elimina a necessidade de implantação da LT 230 kV Goianira-Xavantes prevista em [8]. Além disso, para efeito de comparação com as demais alternativas, a LT 500 kV Trindade-Silvânia e nova SE 500 kV Silvânia foi custeada em 2027, conforme [4].

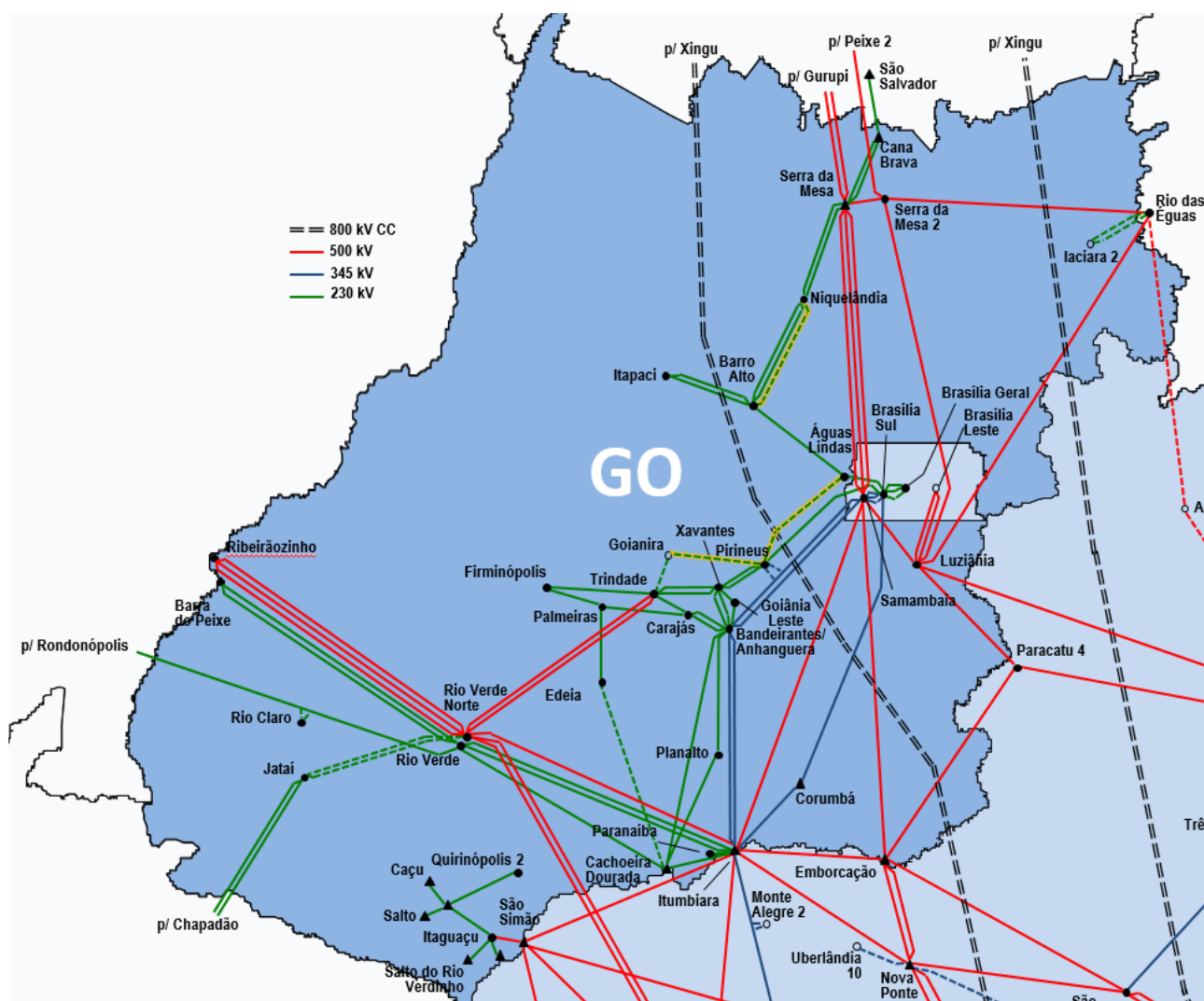


Figura 6-2 – Alt. 2: Eixo 230 kV Goianira-Pirineus-Águas Lindas e LT 230 kV Niquelândia – B. Alto C3.

6.3 Alternativa 3

A Figura 6-3 mostra um esquemático das obras previstas para a Alternativa 3. Essa alternativa contempla a interligação ao sistema de uma nova SE 500/345 kV Silvânia, de uma nova SE 345/230 kV doravante denominada Senador Canedo e de uma LT 345 kV Silvânia-Senador Canedo. Além disso, para efeito de comparação com as demais alternativas, a LT 500 kV Trindade-Silvânia e nova SE 500 kV Silvânia foi custeada em 2027, conforme [4].

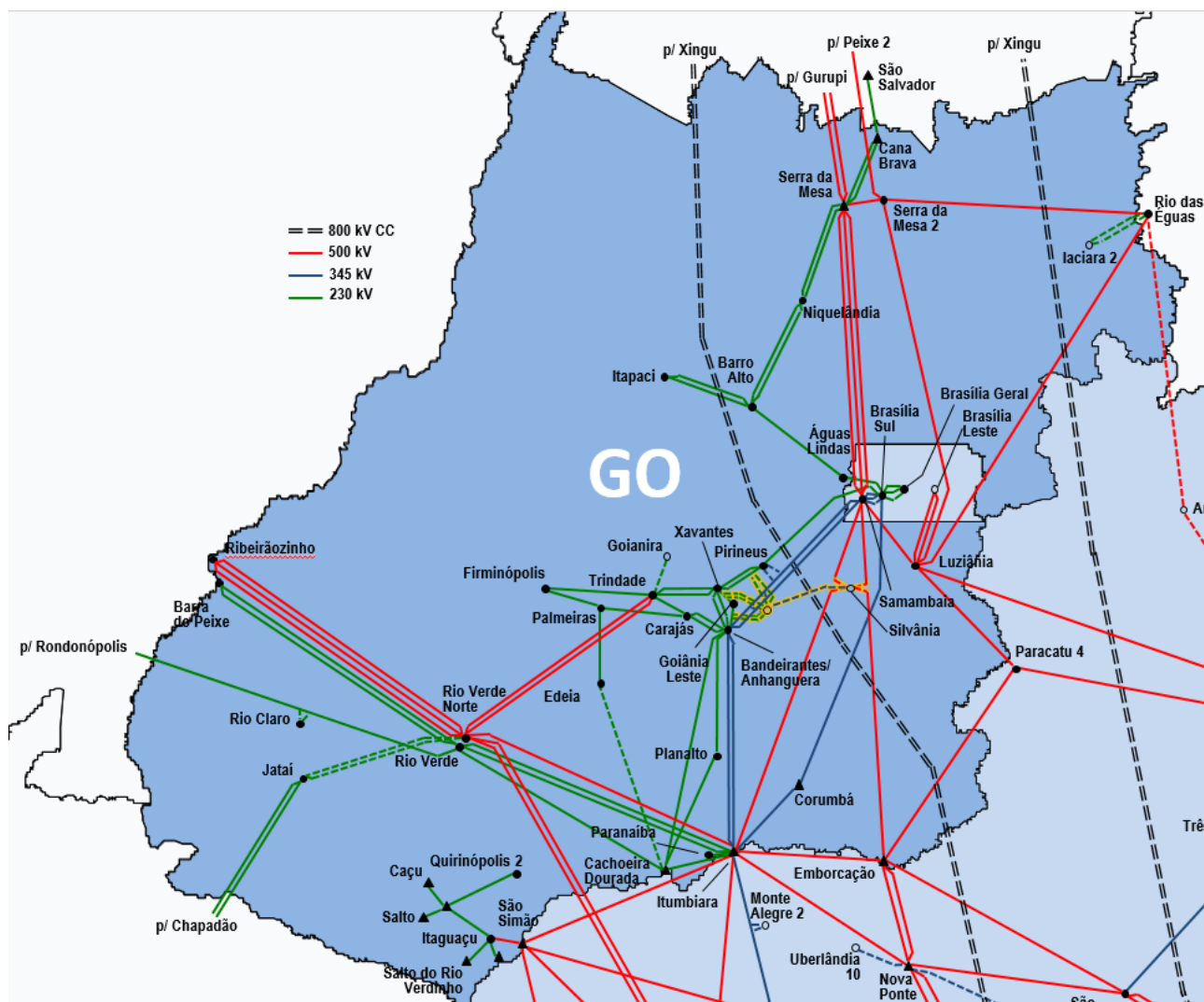


Figura 6-3 – Alternativa 3: Nova SE 500/345 kV Silvânia e nova SE 345/230 kV Senador Canedo e LT 345 kV Silvânia – Senador Canedo.

Para melhor elucidação das obras referentes a esta alternativa, a Figura 6-4 mostra um esquemático dos seccionamentos das LT 345 kV e 230 kV na nova SE Senador Canedo.

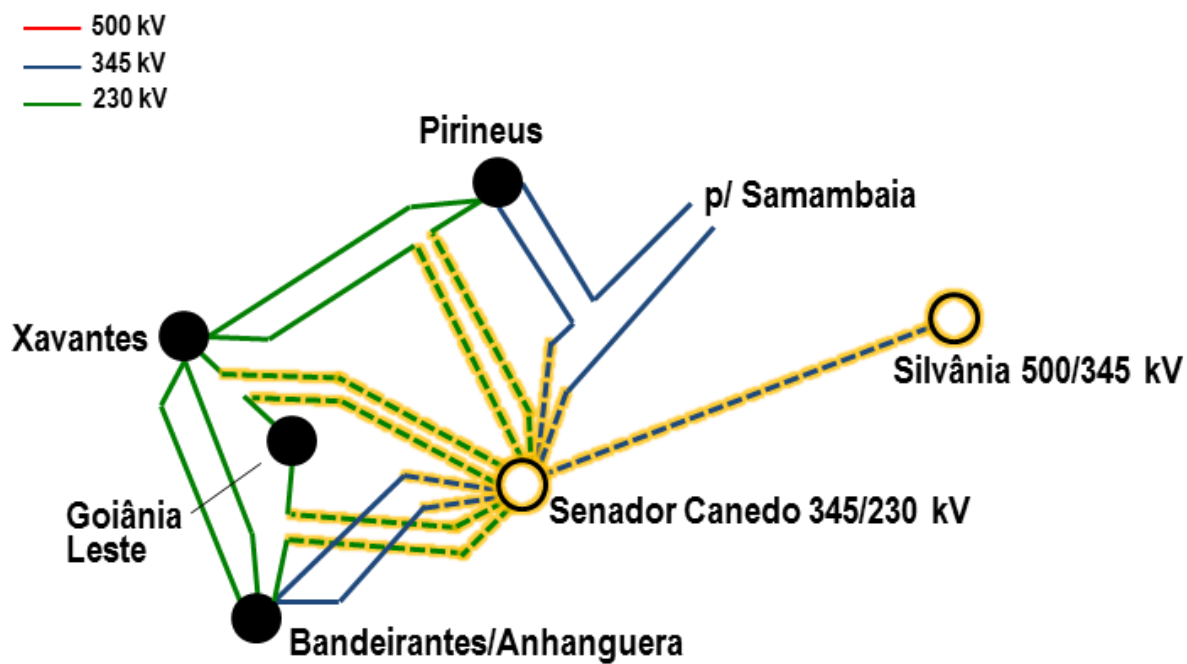


Figura 6-4 – Alternativa 3: Detalhamento seccionamentos na nova SE 345/230 kV Senador Canedo

7 ANÁLISE ECONÔMICA

Para a análise econômica comparativa das alternativas foi utilizada Base de Preços de Referência ANEEL – Ref. 02/2019 [5].

A avaliação econômica das alternativas tem como base o Método dos Investimentos Necessários ou Método do Valor Presente dos Custos Anuais Equivalentes. Nesse método, os investimentos totais anuais são convertidos em uma série de “n” termos de valor constante. O número “n” é igual ao prazo de concessão concedido pela ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, equivalente a trinta anos.

Para fins de comparação econômica, no final do período em estudo, as séries temporais correspondentes a cada alternativa são truncadas, sendo considerado o valor atual do fluxo de caixa referido ao ano base da análise econômica.

O truncamento das séries de custos anuais equivalentes leva em conta o valor que é proporcional à vida útil dos equipamentos até o ano analisado. Assim, o truncamento da série em um período inferior à vida útil de um determinado equipamento, resulta em um valor presente menor que o investimento inicial, o que está de acordo com a consideração de que o valor proporcional à vida útil deve ser descontado do custo, por representar ainda um patrimônio naquela data.

Um detalhe com relação à aplicação dos custos modulares ANEEL refere-se ao custo de linhas de transmissão de curta extensão. Na ocorrência desse tipo de situação, foram utilizados percentuais de sobrecusto em relação ao custo de linhas adotado na Base de Preços da ANEEL conforme Tabela 7-1.

Tabela 7-1 – Valores de sobrecusto para linhas curtas

Comprimento LT (km)	Fator multiplicador Sobrecusto
Até 5 km	1,3
Superior a 5 km e inferior a 15 km	1,2
Superior a 15 km e inferior a 30 km	1,1

O valor do custo marginal de expansão (CME) utilizado para balizar o impacto das perdas elétricas na comparação de alternativas foi de 233,95 R\$/MWh conforme o Plano Decenal de Energia da EPE [9] e conforme o item 4.7.

Nesta análise será considerado o ano de 2024 como o inicial e o ano de 2033 para o truncamento das séries de custos, tanto para investimentos quanto para o custo de perdas elétricas. No que se

refere às perdas elétricas, foram utilizados casos que modelassem o comportamento do sistema ao longo do ano e do dia.

Tabela 7-2 – Comparação de Custos de Alternativas – Etapa 1

Custo total (PV)				Rendimentos Necessários			Perdas			Rendimentos Necessários + Perdas		
Alternativa	Custos (R\$ x 1000)	(%)	Ordem	Custos (R\$ x 1000)	(%)	Ordem	Custos (R\$ x 1000)	Diferencial	Ordem	Custos (R\$ x 1000)	(%)	Ordem
Alternativa 1	378.284,29	100,0%	1º	231.208,33	100,0%	1º	35.635,34	30.110,87	3º	261.319,20	100,0%	1º
Alternativa 2	484.166,52	128,0%	2º	266.732,35	115,4%	2º	5.524,48	0,00	1º	266.732,35	102,1%	2º
Alternativa 3	563.331,60	148,9%	3º	321.106,62	138,9%	3º	22.511,79	16.987,32	2º	338.093,93	129,4%	3º

Em termos de custos de investimentos, observou-se que a alternativa mais módica é a Alternativa 1, tanto em valor presente quanto aplicando a metodologia dos rendimentos necessários. Já no que se refere ao custo de perdas elétricas, a alternativa que apresentou os menores custos foi a Alternativa 2.

Ao se agrupar os custos globais, houve um empate entre as Alternativas 1 e 2, conforme mostrado na Tabela 7-2 e ilustrado na Figura 7-1. Houve uma diferença máxima de aproximadamente 2% entre elas, apenas.

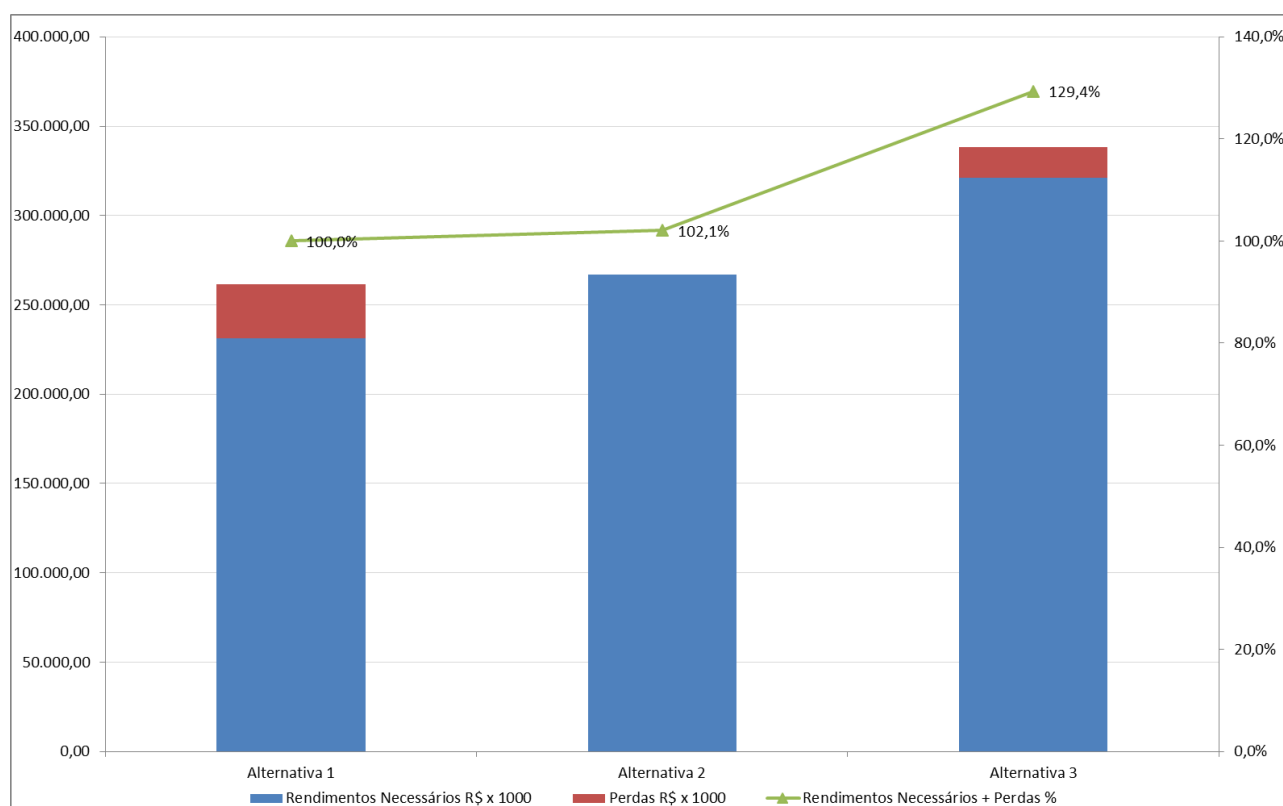


Figura 7-1 – Comparação econômica – Etapa 1

Dessa forma, caracterizou-se um empate técnico entre as Alternativas 1 e 2. Assim, optou-se pela Alternativa 1 devido ao menor investimento inicial e devido a possibilidade de antecipação de reforços futuros para aumento da capacidade da interligação entre as regiões Norte/Nordeste e Sudeste/Centro Oeste, conforme referência [4], a ser atualizado em novo estudo a iniciar ser iniciado pela EPE. Além disso, a Alternativa 1 apresenta as seguintes vantagens:

- Dota o sistema elétrico da região central do estado de Goiás de um novo ponto de conexão ao sistema em 500 kV, que é interessante uma vez que há dificuldades para novas expansões nas SEs existentes de Luziânia e Samambaia e
- Propicia ao sistema elétrico de 500 kV de suprimento à capital Goiânia o atendimento ao critério diferenciado N-2, quando da perda da LT 500 kV Trindade-Rio Verde Norte de circuito duplo.

Na Tabela 7-3, Tabela 7-4 e Tabela 7-5 são mostrados os custos de cada alternativa:

Tabela 7-3 – Custos da Alternativa 1

Descrição	Terminal	Ano	Qtde.	Fator	Custo da Alternativa (R\$ x 1000)					
					Custo Unitário (sem fator)	Custo Total	VP	Parcela Anual	RN	
						384.745,84	378.284,29	34.175,99	231.208,33	
SE 500 kV SILVÂNIA (Nova)						48.707,49	48.707,49	4.326,56	30.887,17	
EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM						0,00	0,00	0,00	0,00	
IB (Interligação de Barras) 500 kV, Arranjo DJM						6280,52	18.841,56	18.841,56	1.673,65	11.948,11
CRL (Conex. de Reator de Linha) 500 kV, Arranjo DJM						0,00	0,00	0,00	0,00	
CRB (Conexão de Reator de Barra) 500 kV, Arranjo DJM						5448,69	5.448,69	5.448,69	483,99	3.455,21
1º Reator de Barra 500 kV, (3+1R) x 50 Mvar 1Φ						2703,70	10.814,80	10.814,80	960,65	6.858,05
MIG (Terreno Rural)						10105,48	10.105,48	10.105,48	897,64	6.408,25
MIM - 500 kV						3496,96	3.496,96	3.496,96	310,63	2.217,55
SECC LT 500 kV SAMAMBAIA - EMBORCAÇÃO, C1, NA SE SILVÂNIA (Nova)						27.476,62	27.476,62	2.440,68	15.246,64	
Circuito Duplo 500 kV, 3 x 954 MCM (RAIL), 7,14 km						1809,07	15.500,08	15.500,08	1.376,83	8.600,92
EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM						5988,27	11.976,54	11.976,54	1.063,85	6.645,72
SECC LT 500 kV SAMAMBAIA - ITUMBIARA, C1, NA SE SILVÂNIA (Nova)						43.172,09	43.172,09	3.834,87	23.955,98	
Circuito Duplo 500 kV, 3 x 954 MCM (RAIL), 14,37 km						1809,07	31.195,55	31.195,55	2.771,02	17.310,25
EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM						5988,27	11.976,54	11.976,54	1.063,85	6.645,72
LT 500 kV SILVÂNIA - TRINDADE, C1 (Nova)						222.977,91	222.977,91	19.806,56	141.398,29	
EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM						5988,27	5.988,27	5.988,27	531,92	3.797,38
EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM						5988,27	5.988,27	5.988,27	531,92	3.797,38
Reator de Linha Fixo 500 kV, (3+1R) x 20 Mvar 1Φ						2400,90	9.603,60	9.603,60	853,06	6.089,99
Reator de Linha Fixo 500 kV, (3+1R) x 20 Mvar 1Φ						2400,90	9.603,60	9.603,60	853,06	6.089,99
CRL (Conexão de Reator de Linha Fixo) 500 kV, Arranjo DJM						2025,21	2.025,21	2.025,21	179,89	1.284,26
CRL (Conexão de Reator de Linha Fixo) 500 kV, Arranjo DJM						2025,21	2.025,21	2.025,21	179,89	1.284,26
Circuito Simples 500 kV, 4 x 954 MCM (RAIL), 169,19 km						1211,25	187.743,75	187.743,75	16.676,80	119.055,05
SE 500 kV TRINDADE (Nova)						11.070,49	11.070,49	983,36	7.020,19	
CRL (Conex. de Reator de Linha) 500 kV, Arranjo DJM						0,00	0,00	0,00	0,00	
IB (Interligação de Barras) 500 kV, Arranjo DJM						6280,52	0,00	0,00	0,00	0,00
EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM						0,00	0,00	0,00	0,00	
MIM - 500 kV						1165,65	1.165,65	1.165,65	103,54	739,18
MIG (Terreno Rural)						9904,84	9.904,84	9.904,84	879,82	6.281,01
LT 230 kV XAVANTES - GOIANIRA, C1 (Nova)						31.341,24	24.879,69	2.783,96	12.700,06	
Circuito Simples 230 kV, 2 x 636 MCM (GROSBEAK), 30 km						635,92	20.985,30	16.658,81	1.864,07	8.503,64
EL (Entrada de Linha) 230 kV, Arranjo BD4						4800,01	4.800,01	3.810,40	426,37	1.945,06
EL (Entrada de Linha) 230 kV, Arranjo BD4						4800,01	4.800,01	3.810,40	426,37	1.945,06
MIM - 230 kV						377,96	377,96	300,04	33,57	153,16
MIM - 230 kV						377,96	377,96	300,04	33,57	153,16

Tabela 7-4 – Custos da Alternativa 2

Descrição	Terminal	Ano	Qtde.	Fator	Custo da Alternativa (R\$ x 1000)			
					Custo Unitário (sem fator)	Custo Total	VP	Parcela Anual
						557.027,16	484.166,52	49.479,29
								266.732,35
LT 230 kV GOIANIRA - PIRINEUS, C1 (Nova)						55.512,84	55.512,84	4.931,06
Circuito Simples 230 kV, 2 x 795 MCM (TERN), 66 km		2024	66,0	1,0	639,38	42.199,08	42.199,08	3.748,44
EL (Entrada de Linha) 230 kV, Arranjo BD4	Goianira	2024	1,0	1,0	4800,01	4.800,01	4.800,01	426,37
EL (Entrada de Linha) 230 kV, Arranjo BD4	Pirineus	2024	1,0	1,0	4800,01	4.800,01	4.800,01	426,37
MIG-A	Goianira	2024	1,0	1,0	1478,91	1.478,91	1.478,91	131,37
MIG-A	Pirineus	2024	1,0	1,0	1478,91	1.478,91	1.478,91	131,37
MIM - 230 kV	Goianira	2024	1,0	1,0	377,96	377,96	377,96	33,57
MIM - 230 kV	Pirineus	2024	1,0	1,0	377,96	377,96	377,96	33,57
LT 230 kV PIRINEUS - ÁGUAS LINDAS, C1 (Nova)						78.530,52	78.530,52	6.975,66
Circuito Simples 230 kV, 2 x 795 MCM (TERN), 102 km		2024	102,0	1,0	639,38	65.216,76	65.216,76	5.793,04
EL (Entrada de Linha) 230 kV, Arranjo BD4	Pirineus	2024	1,0	1,0	4800,01	4.800,01	4.800,01	426,37
EL (Entrada de Linha) 230 kV, Arranjo BD4	Águas Lindas	2024	1,0	1,0	4800,01	4.800,01	4.800,01	426,37
MIG-A	Pirineus	2024	1,0	1,0	1478,91	1.478,91	1.478,91	131,37
MIG-A	Águas Lindas	2024	1,0	1,0	1478,91	1.478,91	1.478,91	131,37
MIM - 230 kV	Pirineus	2024	1,0	1,0	377,96	377,96	377,96	33,57
MIM - 230 kV	Águas Lindas	2024	1,0	1,0	377,96	377,96	377,96	33,57
LT 230 kV NIQUELÂNDIA - BARRO ALTO, C3 (Nova)						69.579,20	69.579,20	6.180,54
Circuito Simples 230 kV, 2 x 795 MCM (TERN), 88 km		2024	88,0	1,0	639,38	56.265,44	56.265,44	4.997,91
EL (Entrada de Linha) 230 kV, Arranjo BD4	Niquelândia	2024	1,0	1,0	4800,01	4.800,01	4.800,01	426,37
EL (Entrada de Linha) 230 kV, Arranjo BD4	Barro Alto	2024	1,0	1,0	4800,01	4.800,01	4.800,01	426,37
MIG-A	Barro Alto	2024	1,0	1,0	1478,91	1.478,91	1.478,91	131,37
MIG-A	Niquelândia	2024	1,0	1,0	1478,91	1.478,91	1.478,91	131,37
MIM - 230 kV	Niquelândia	2024	1,0	1,0	377,96	377,96	377,96	33,57
MIM - 230 kV	Barro Alto	2024	1,0	1,0	377,96	377,96	377,96	33,57
SE 500 kV SILVÂNIA (Nova)						48.707,49	38.665,58	4.326,56
EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM			5,0		0,00	0,00	0,00	0,00
IB (Interligação de Barras) 500 kV, Arranjo DJM		2027	3,0	1,0	6280,52	18.841,56	14.957,04	1.673,65
CRL (Conex. de Reator de Linha) 500 kV, Arranjo DJM			1,0		0,00	0,00	0,00	0,00
CRB (Conexão de Reator de Barra) 500 kV, Arranjo DJM		2027	1,0	1,0	5448,69	5.448,69	4.325,35	483,99
1º Reator de Barra 500 kV, (3+1R) x 50 Mvar 1Φ		2027	4,0	1,0	2703,70	10.814,80	8.585,14	960,65
MIG (Terreno Rural)		2027	1,0	1,0	10105,48	10.105,48	8.022,06	897,64
MIM - 500 kV		2027	1,0	1,0	3496,96	3.496,96	2.776,00	310,63
SECC LT 500 kV SAMAMBAIA - EMBORCAÇÃO, C1, NA SE SILVÂNIA (Nova)						27.476,62	21.811,83	2.440,68
Circuito Duplo 500 kV, 3 x 954 MCM (RAIL), 7,14 km		2027	7,14	1,2	1809,07	15.500,08	12.304,47	1.376,83
EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM		2027	2,0	1,0	5988,27	11.976,54	9.507,36	1.063,85
SECC LT 500 kV SAMAMBAIA - ITUMBIARA, C1, NA SE SILVÂNIA (Nova)						43.172,09	34.271,39	3.834,87
Circuito Duplo 500 kV, 3 x 954 MCM (RAIL), 14,37 km		2027	14,37	1,2	1809,07	31.195,55	24.764,03	2.771,02
EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM		2027	2,0	1,0	5988,27	11.976,54	9.507,36	1.063,85
LT 500 kV SILVÂNIA - TRINDADE, C1 (Nova)						222.977,91	177.007,05	19.806,56
EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM	Silvânia	2027	1,0	1,0	5988,27	5.988,27	4.753,68	531,92
EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM	Trindade	2027	1,0	1,0	5988,27	5.988,27	4.753,68	531,92
Reator de Linha Fixo 500 kV, (3+1R) x 20 Mvar 1Φ	Trindade	2027	4,0	1,0	2400,90	9.603,60	7.623,65	853,06
Reator de Linha Fixo 500 kV, (3+1R) x 20 Mvar 1Φ	Trindade	2027	4,0	1,0	2400,90	9.603,60	7.623,65	853,06
CRL (Conexão de Reator de Linha Fixo) 500 kV, Arranjo DJM	Silvânia	2027	1,0	1,0	2025,21	2.025,21	1.607,68	179,89
CRL (Conexão de Reator de Linha Fixo) 500 kV, Arranjo DJM	Trindade	2027	1,0	1,0	2025,21	2.025,21	1.607,68	179,89
Circuito Simples 500 kV, 4 x 954 MCM (RAIL), 169,19 km		2027	159,0	1,0	1211,25	187.743,75	149.037,04	16.676,80
SE 500 kV TRINDADE (Nova)						11.070,49	8.788,11	983,36
CRL (Conex. de Reator de Linha) 500 kV, Arranjo DJM			1,0		0,00	0,00	0,00	0,00
IB (Interligação de Barras) 500 kV, Arranjo DJM			0,0	1,0	6280,52	0,00	0,00	0,00
EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM			1,0		0,00	0,00	0,00	0,00
MIM - 500 kV		2027	1,0	1,0	1165,65	1.165,65	925,33	103,54
MIG (Terreno Rural)		2027	1,0	1,0	9904,84	9.904,84	7.862,78	879,82

Tabela 7-5 – Custos da Alternativa 3

Descrição	Terminal	Ano	Qtde.	Fator	Custo Unitário (sem fator)	Custo da Alternativa (R\$ x 1000)			
						Custo Total	VP	Parcela Anual	RN
						627.429,54	563.331,60	55.732,96	321.106,62
SE 500/345 kV SILVÂNIA (Nova)						68.709,00	68.709,00	6.103,24	43.570,84
1º ATF 500/345 kV, (3+1R) x 133 MVA 1Φ		2024	4,0	1,0	6137,68	24.550,72	24.550,72	2.180,78	15.568,49
CT (Conexão de Transformador) 500 kV, Arranjo DJM		2024	1,0	1,0	6892,32	6.892,32	6.892,32	612,23	4.370,67
CT (Conexão de Transformador) 345 kV, Arranjo DJM		2024	1,0	1,0	5479,53	5.479,53	5.479,53	486,73	3.474,77
IB (Interligação de Barras) 500 kV, Arranjo DJM		2024	2,0	1,0	6280,52	12.561,04	12.561,04	1.115,76	7.965,41
IB (Interligação de Barras) 345 kV, Arranjo DJM		2024	1,0	1,0	5073,20	5.073,20	5.073,20	450,64	3.217,10
EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM			2,0			0,00	0,00	0,00	0,00
EL (Entrada de Linha) 345 kV, Arranjo DJM			1,0			0,00	0,00	0,00	0,00
MIM - 500 kV		2024	1,0	1,0	2331,30	2.331,30	2.331,30	207,08	1.478,36
MIM - 345 kV		2024	1,0	1,0	887,88	887,88	887,88	78,87	563,04
MIG (Terreno Rural)		2024	1,0	1,0	10933,01	10.933,01	10.933,01	971,15	6.933,01
SECC LT 500 kV SAMAMBAIA - EMBORCAÇÃO, C1, NA SE SILVÂNIA (Nova)						27.476,62	27.476,62	2.440,68	15.246,64
Circuito Duplo 500 kV, 3 x 954 MCM (RAIL), 7,14 km		2024	7,14	1,2	1809,07	15.500,08	15.500,08	1.376,83	8.600,92
EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM		2024	2,0	1,0	5988,27	11.976,54	11.976,54	1.063,85	6.645,72
LT 345 kV SILVÂNIA - SENADOR CANEDO, C1 (Nova)						92.023,94	92.023,94	8.174,25	58.355,68
Circuito Simples 345 kV, 2 x 900 MCM (RUDDY), 106 km		2024	106,0	1,0	778,04	82.472,24	82.472,24	7.325,80	52.298,61
EL (Entrada de Linha) 345 kV, Arranjo DJM	Silvânia	2024	1,0	1,0	4775,85	4.775,85	4.775,85	424,23	3.028,54
EL (Entrada de Linha) 345 kV, Arranjo DJM	Senador Canedo	2024	1,0	1,0	4775,85	4.775,85	4.775,85	424,23	3.028,54
SE 345/230 kV SENADOR CANEDO (Nova)						60.022,90	60.022,90	5.331,68	38.062,67
IB (Interligação de Barras) 345 kV, Arranjo DJM		2024	2,0	1,0	5073,20	10.146,40	10.146,40	901,28	6.434,20
IB (Interligação de Barras) 230 kV, Arranjo BD4		2024	1,0	1,0	3637,57	3.637,57	3.637,57	323,12	2.306,71
CT (Conexão de Transformador) 345 kV, Arranjo DJM		2024	1,0	1,0	5479,53	5.479,53	5.479,53	486,73	3.474,77
CT (Conexão de Transformador) 230 kV, Arranjo BD4		2024	1,0	1,0	4339,06	4.339,06	4.339,06	385,43	2.751,55
EL (Entrada de Linha) 345 kV, Arranjo DJM			3,0			0,00	0,00	0,00	0,00
EL (Entrada de Linha) 230 kV, Arranjo BD4			6,0			0,00	0,00	0,00	0,00
1º ATF 345/230 kV, (3+1R) x 133 MVA 1Φ		2024	4,0	1,0	6145,60	24.582,40	24.582,40	2.183,59	15.588,58
MIM - 345 kV		2024	1,0	1,0	1775,75	1.775,75	1.775,75	157,74	1.126,07
MIM - 230 kV		2024	1,0	1,0	755,92	755,92	755,92	67,15	479,36
MIG (Terreno Rural)		2024	1,0	1,0	9306,27	9.306,27	9.306,27	826,65	5.901,44
SECC LT 230 kV XAVANTESQ - PIRINEUS, C1, NA SE SENADOR CANEDO (Nova)						12.621,89	12.621,89	1.121,17	8.003,99
Circuito Duplo 230 kV, 2 x 636 MCM (GROSBEAK), 1,6 km		2024	1,6	1,3	1089,40	2.265,95	2.265,95	201,28	1.436,92
EL (Entrada de Linha) 230 kV, Arranjo BD4		2024	2,0	1,0	4800,01	9.600,02	9.600,02	852,75	6.087,72
MIM - 230 kV		2024	1,0	1,0	755,92	755,92	755,92	67,15	479,36
SECC LT 230 kV XAVANTES - GOIANIA LESTE, C1, NA SE SENADOR CANEDO (Nova)						12.621,89	12.621,89	1.121,17	8.003,99
Circuito Duplo 230 kV, 2 x 636 MCM (GROSBEAK), 1,6 km		2024	1,6	1,3	1089,40	2.265,95	2.265,95	201,28	1.436,92
EL (Entrada de Linha) 230 kV, Arranjo BD4		2024	2,0	1,0	4800,01	9.600,02	9.600,02	852,75	6.087,72
MIM - 230 kV		2024	1,0	1,0	755,92	755,92	755,92	67,15	479,36
SECC LT 230 kV XAVANTES - BANDEIRANTES, C1, NA SE SENADOR CANEDO (Nova)						12.621,89	12.621,89	1.121,17	8.003,99
Circuito Duplo 230 kV, 2 x 636 MCM (GROSBEAK), 1,6 km		2024	1,6	1,3	1089,40	2.265,95	2.265,95	201,28	1.436,92
EL (Entrada de Linha) 230 kV, Arranjo BD4		2024	2,0	1,0	4800,01	9.600,02	9.600,02	852,75	6.087,72
MIM - 230 kV		2024	1,0	1,0	755,92	755,92	755,92	67,15	479,36
SECC LT 345 kV PIRINEUS - BANDEIRANTES, C1, NA SE SENADOR CANEDO (Nova)						12.505,04	12.505,04	1.110,79	7.929,90
Circuito Duplo 345 kV, 2 x 900 MCM (RUDDY), 1,7 km		2024	1,7	1,3	1336,35	2.953,34	2.953,34	262,34	1.872,82
EL (Entrada de Linha) 345 kV, Arranjo DJM		2024	2,0	1,0	4775,85	9.551,70	9.551,70	848,45	6.057,08
SECC LT 345 kV SAMAMBAIA - BANDEIRANTES, C1, NA SE PIRINEUS (Nova)						17.924,49	17.924,49	1.592,19	11.366,56
Circuito Duplo 345 kV, 2 x 900 MCM (RUDDY), 0,5 km		2024	0,5	1,3	1336,35	868,63	868,63	77,16	550,83
EL (Entrada de Linha) 345 kV, Arranjo DJM		2024	2,0	1,0	4775,85	9.551,70	9.551,70	848,45	6.057,08
IB (Interligação de Barras) 345 kV, Arranjo DJM		2024	1,0	1,0	5073,20	5.073,20	5.073,20	450,64	3.217,10
MIG-A		2024	1,0	1,0	1543,08	1.543,08	1.543,08	137,07	978,52
MIM - 345 kV		2024	1,0	1,0	887,88	887,88	887,88	78,87	563,04
SE 500 kV SILVÂNIA (Nova)						33.681,38	26.737,37	2.991,83	13.648,33
EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM			3,0			0,00	0,00	0,00	0,00
CRL (Conex. de Reator de Linha) 500 kV, Arranjo DJM			1,0			0,00	0,00	0,00	0,00
IB (Interligação de Barras) 500 kV, Arranjo DJM		2027	1,0	1,0	6280,52	6.280,52	4.985,68	557,88	2.544,99
CRB (Conexão de Reator de Barra) 500 kV, Arranjo DJM		2027	1,0	1,0	5448,69	5.448,69	4.325,35	483,99	2.207,91
1º Reator de Barra 500 kV, (3+1R) x 50 Mvar 1Φ		2027	4,0	1,0	2703,70	10.814,80	8.585,14	960,65	4.382,36
MIM - 500 kV		2027	1,0	1,0	1165,65	1.165,65	925,33	103,54	472,34
MIG (Terreno Rural)		2027	1,0	1,0	9971,72	9.971,72	7.915,87	885,76	4.040,73
SECC LT 500 kV SAMAMBAIA - ITUMBIARA, C1, NA SE SILVÂNIA (Nova)						43.172,09	34.271,39	3.834,87	14.073,15
Circuito Duplo 500 kV, 3 x 954 MCM (RAIL), 14,37 km		2027	14,37	1,2	1809,07	31.195,55	24.764,03	2.771,02	10.169,06
EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM		2027	2,0	1,0	5988,27	11.976,54	9.507,36	1.063,85	3.904,09
LT 500 kV SILVÂNIA - TRINDADE, C1 (Nova)						222.977,91	177.007,05	19.806,56	90.354,88
EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM	Silvânia	2027	1,0	1,0	5988,27	5.988,27	4.753,68	531,92	2.426,56
EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM	Trindade	2027	1,0	1,0	5988,27	5.988,27	4.753,68	531,92	2.426,56
Reator de Linha Fixo 500 kV, (3+1R) x 20 Mvar 1Φ	Trindade	2027	4,0	1,0	2400,90	9.603,60	7.623,65	853,06	3.891,56
Reator de Linha Fixo 500 kV, (3+1R) x 20 Mvar 1Φ	Trindade	2027	4,0	1,0	2400,90	9.603,60	7.623,65	853,06	3.891,56
CRL (Conexão de Reator de Linha Fixo) 500 kV, Arranjo DJM	Silvânia	2027	1,0	1,0	2025,21	2.025,21	1.607,68	179,89	820,65
CRL (Conexão de Reator de Linha Fixo) 500 kV, Arranjo DJM	Trindade	2027	1,0	1,0	2025,21	2.025,21	1.607,68	179,89	820,65
Circuito Simples 500 kV, 4 x 954 MCM (RAIL), 169,19 km		2027	155,0	1,0	1211,25	187.743,75	149.037,04	16.676,80	76.077,33
SE 500 kV TRINDADE (Nova)						11.070,49	8.788,11	983,36	4.485,97
CRL (Conex. de Reator de Linha) 500 kV, Arranjo DJM			1,0			0,00	0,00	0,00	0,00
IB (Interligação de Barras) 500 kV, Arranjo DJM			0,0	1,0	6280,52	0,00	0,00	0,00	0,00
EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM			1,0			0,00	0,00	0,00	0,00
MIM - 500 kV		2027	1,0	1,0	1165,65	1.165,65	925,33	103,54	472,34
MIG (Terreno Rural)		2027	1,0	1,0	9904,84	9.904,84	7.862,78	879,82	4.013,63

8 DEFINIÇÃO DA COMPENSAÇÃO SHUNT

Neste capítulo, serão definidos os detalhes da compensação shunt necessária para o novo reforço em corrente alternada - CA indicado na alternativa vencedora. O resultado final dessa análise consistirá na recomendação dos seguintes itens:

1. Necessidade ou não de reatores de linha e definição dos valores em Mvar;
2. Definição da forma de conexão dos reatores de linha: fixos ou manobráveis; e
3. Montante de compensação shunt nas barras e a modulação dos reatores de barra.

Para chegar a essas definições, foram necessários 3 (três) tipos de análises, a saber:

- a. Análise simplificada de religamento monopolar (extinção de arco secundário);
- b. Análise em regime permanente e em contingência, nos cenários de carregamento máximo e de carregamento mínimo, de forma a manter os critérios de limite de tensão; e
- c. Análise de energização e rejeição de carga, de forma a atender aos critérios de tensão máxima de terminal aberto e delta de tensão após chaveamento.

Salienta-se que foi utilizada a topologia de rede presente nos casos de trabalho do Plano Decenal da Transmissão 2027 [4].

8.1 Análise Simplificada de Religamento Monopolar

Nessa análise, desconsideram-se os elementos série da LT e concentram-se os elementos *shunt* (capacitância da linha e reatores de linha *shunt*) em um único ponto, em cada uma das fases. O nível de compensação da LT é diretamente relacionado à ocorrência de ressonância na abertura de uma das fases e a condição de ressonância pode ser expressa pela equação abaixo:

$$\frac{1}{\omega \cdot L} = \frac{\omega \cdot (2C_1 + C_0)}{3}$$

Em que:

C_1 = capacitância de sequência positiva da LT

C_0 = capacitância de sequência zero da LT

L = indutância dos reatores de linha

Sendo k a relação entre a impedância *shunt* da linha e dos reatores *shunt* da linha, ou seja, o grau de compensação da linha, temos:

$$k = \frac{1}{\omega^2 \cdot C_1 \cdot L}$$

Substituindo L na primeira equação, temos que a condição de ressonância ocorre para o seguinte valor de k:

$$k = \frac{2 + \frac{C_0}{C_1}}{3}$$

Como estão sendo utilizadas LTs de configuração 4x954MCM, cabo Rail, com $C_1=5,2246 \mu\text{S/km}$ e $C_0=3,2944 \mu\text{S/km}$, verifica-se um valor de compensação $k = 87,7\%$, para que haja ressonância.

Assim, de forma a se afastar desse valor e considerando o alto valor de injeção de potência reativa capacitiva que linhas de transmissão com essa configuração proporcionam, foi adotado como valor máximo uma compensação de 70%, um valor relativamente alto, porém suficientemente abaixo do valor de k encontrado através da equação acima.

Esse valor inicial, no entanto, deverá ser melhor especificado no R2.

8.2 Análise em Regime Normal e em Contingência

Tendo como dado de entrada os percentuais de compensação indicados no subitem anterior, a próxima etapa consiste no dimensionamento do montante de compensação *shunt* para os novos barramentos de 500 kV, de forma que:

- Em regime normal, as tensões estejam dentro dos limites da Tabela 4-6;
- Na contingência simples de qualquer linha de transmissão, reator de barra ou perda de carga de grandes consumidores livres, não haja violação dos níveis de tensão em emergência;
- Ao manobrar reatores de barra, o delta de tensão não seja maior que 5% da tensão nominal do barramento; e
- Seja possível controlar a tensão nos cenários de alto carregamento da LT, desligando reatores de barra e mantendo os reatores fixos da linha de transmissão.

As análises indicaram que foi possível manter perfis de tensão adequados na malha de 500 kV no cenário de carga pesada combinado a altos valores de intercâmbio na interligação Norte - Sul. O desligamento dos reatores de barra foi suficiente para efetuar esse controle, indicando que não há necessidade de se recomendar que os reatores de linha sejam manobráveis em nenhum dos circuitos. Adicionalmente, verificou-se que a contingência de qualquer reator de barra não acarreta variações de tensão maiores que 5%.

8.3 Análise de Energização e Rejeição de Carga

Foi analisada a energização inicial dos reforços CA e das LTs seccionadas em 500 kV que compõem a alternativa vencedora com o intuito de prover recursos para controle de tensão durante as manobras. Já nas análises de rejeição foram consideradas as LTs inicialmente energizadas em carga e feita a abertura de cada um dos terminais, um a um. Em cada uma das situações foi identificado o cenário mais crítico, que será descrito em cada uma das análises.

Para verificar possíveis violações de tensão no terminal aberto, a tensão no terminal emissor foi ajustada em 1,10 pu, de forma a simular o pior cenário possível de tensão no terminal emissor. A Tabela 8-1 mostra os resultados obtidos para a análise de tensão de terminal aberto para a LT 500 kV indicada neste estudo, além da análise para as LTs resultantes dos seccionamentos nas SEs Silvânia.

Tabela 8-1 – Tensão de Terminal Aberto (pu)

Linha de Transmissão	Percentual de Compensação Shunt	Tensão (pu)		
		Terminal Emissor	Terminal Aberto	
			Com Compensação Shunt	Sem Compensação Shunt
LT 500 kV Silvânia - Trindade (terminal aberto em Silvânia)	58,0%	1,100	1,112	1,126
LT 500 kV Silvânia - Trindade (terminal aberto em Trindade)		1,100	1,112	1,126
LTs Resultantes de Seccionamento				
LT 500 kV Samambaia - Silvânia C1 (terminal aberto em Samambaia)	72,15%*	1,100	1,097	1,107
LT 500 kV Samambaia - Silvânia C1 (terminal aberto em Silvânia)		1,100	1,106	1,106
LT 500 kV Silvânia - Emborcação (terminal aberto em Silvânia)	27,58%*	1,100	1,146	1,146
LT 500 kV Silvânia - Emborcação (terminal aberto em Emborcação)		1,100	1,120	1,146
LT 500 kV Samambaia - Silvânia C2 (terminal aberto em Samambaia)	70,33%*	1,100	1,097	1,106
LT 500 kV Samambaia - Silvânia C2 (terminal aberto em Silvânia)		1,100	1,107	1,107
LT 500 kV Silvânia - Itumbiara (terminal aberto em Silvânia)	49,07%*	1,100	1,150	1,150
LT 500 kV Silvânia - Itumbiara (terminal aberto em Itumbiara)		1,100	1,100	1,150

* Compensação shunt em apenas um terminal da LT

A utilização de compensação *shunt* nos valores indicados foi suficiente para que fosse atendido o critério de tensão de terminal aberto, considerando o maior valor possível de tensão para o terminal emissor.

Numa segunda etapa, visando identificar o impacto no valor de tensão da barra emissora após o fechamento do disjuntor emissor, foi utilizada tensão de pré-energização entre 1,05 e 1,09 pu para o sistema de 500 kV. Além disso, os compensadores estáticos ou síncronos próximos aos eixos foram ajustados de forma a deixar uma folga para consumo de potência reativa, auxiliando no controle de tensão durante as manobras. Os itens seguintes ilustram os valores de tensão para manobras das LTs recomendadas nesse estudo e para os trechos de linha de transmissão resultantes de

seccionamentos. Ressalta-se que as análises foram realizadas em um cenário de geração especial elaborado especificamente para as análises de energização.

8.3.1 Eixo Silvânia - Trindade

Este eixo é composto pela LT 500 kV Silvânia - Trindade, com comprimento total de aproximadamente 155 km. Para esse eixo, a análise de rejeição de carga foi a dimensionadora da compensação a ser utilizada, resultando numa compensação final de 58%, com um reator de linha fixo de 60 Mvar em cada uma de suas extremidades.

Nos itens seguintes são mostrados os resultados para esse valor de compensação shunt.

Energização por Silvânia

A Figura 8-1 e Figura 8-2 mostram os sequenciamentos de manobras para energização do eixo Silvânia - Trindade a partir da SE Silvânia, utilizando os recursos de controle de tensão definidos nas etapas anteriores. O cenário utilizado foi o Cenário 3, que dentre todos foi o que apresentou os maiores deltas de tensão pós-energização.

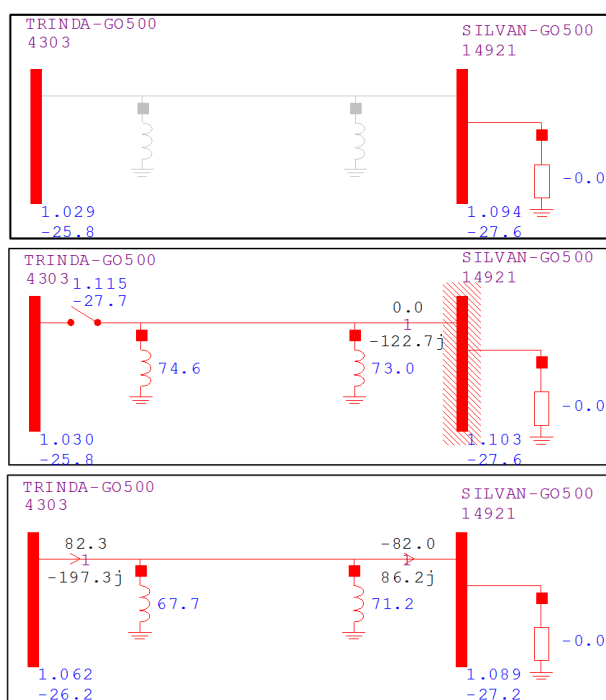


Figura 8-1 – Energização Eixo Silvânia - Trindade: por SE Silvânia (pt 1)

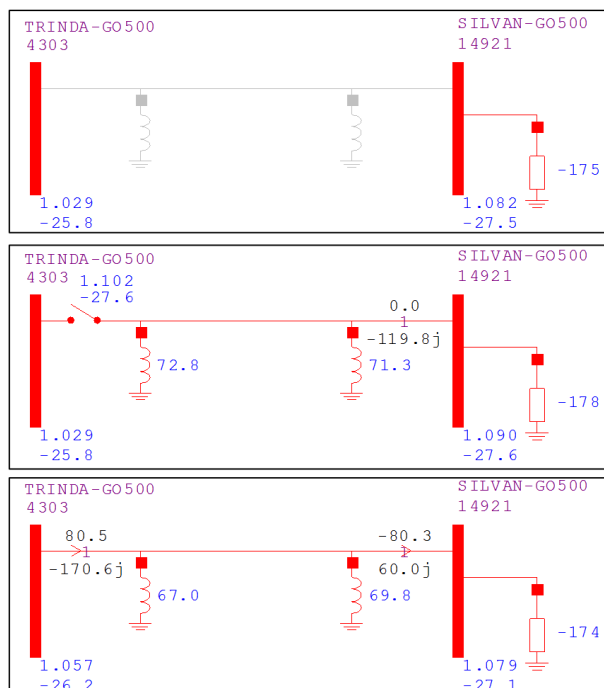


Figura 8-2 - Energização Eixo Silvânia - Trindade: por SE Silvânia (pt 2)

Observa-se que a energização do eixo via SE Silvânia, nos níveis de tensão ajustados no caso base leva a uma tensão na SE Silvânia ligeiramente superior aos limites apontados na Tabela 4-6, conforme Figura 8-1. Assim, recomenda-se que o reator de barra da SE Silvânia esteja em operação durante a energização da LT pelo terminal de Silvânia, conforme Figura 8-2. Logo, a energização por Silvânia, considerando os reatores fixos recomendados, é perfeitamente possível atendendo a todos os critérios de tensão.

Energização por Trindade

A Figura 8-3 mostra o sequenciamento de manobras para energização do eixo Silvânia - Trindade a partir da SE Trindade, utilizando os recursos de controle de tensão definidos nas etapas anteriores. O cenário utilizado foi Cenário 3, que dentre todos foi o que apresentou os maiores deltas de tensão pós-energização.

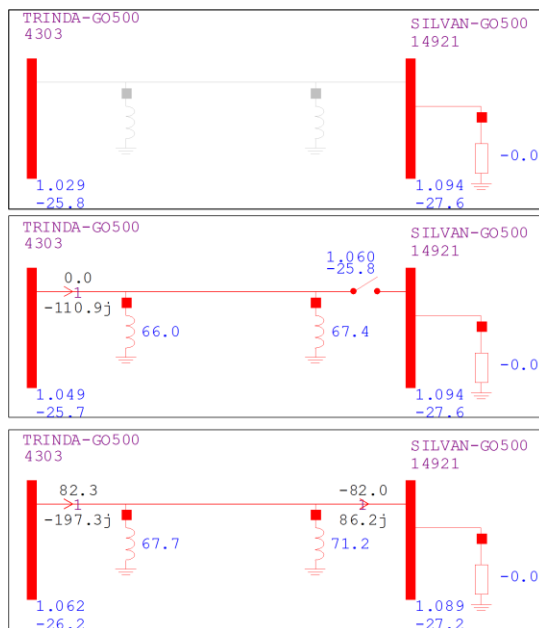


Figura 8-3 – Energização Eixo Silvânia – Trindade: por SE Trindade

Observa-se que a energização do eixo via SE Trindade é perfeitamente possível, atendendo a todos os critérios de tensão.

Abertura de Terminal

A Figura 8-4 mostra a rejeição da LT 500 kV Silvânia - Trindade em cada um de seus terminais. O cenário utilizado nesse caso foi o Cenário 2, no qual a LT 500 kV Silvânia – Trindade está com alto carregamento no sentido de Trindade - Silvânia, no período de carga leve. Não se observam violações nesse cenário.

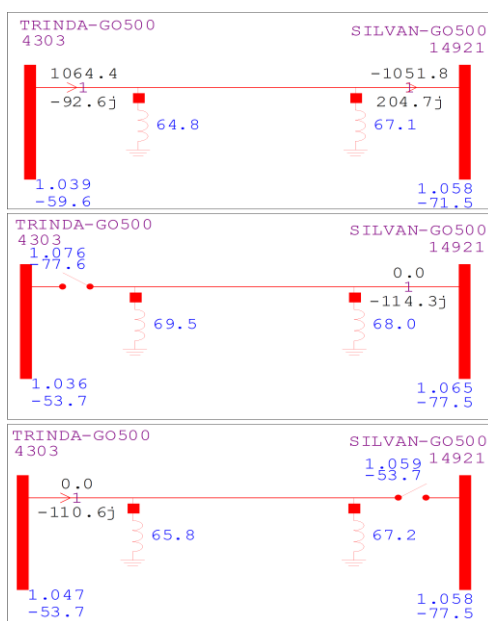


Figura 8-4 – Rejeição Eixo Silvânia - Trindade: por terminal

8.3.2 Eixo Samambaia - Silvânia

Esse eixo é composto por dois circuitos paralelos, sendo resultado do seccionamento das LTs 500 kV Samambaia – Emborcação e Samambaia - Itumbiara, na SE Silvânia. O objetivo dessa análise é verificar se serão mantidos os critérios de tensão quando da realização de manobras nos trechos de LT resultantes desses seccionamentos.

A compensação *shunt* nos circuitos 1 e 2 resultantes, fica em 70,33% e 72,15% da susceptância das LTs, respectivamente (alocados apenas na extremidade de Samambaia), valores mais elevados de compensação em relação ao que havia anteriormente nas respectivas LTs seccionadas. Optou-se por manter os reatores fixos na extremidade de Samambaia, já que a compensação final ficou em torno de 70%, que é normalmente o valor mais alto suficiente para manter a LT fora da faixa de ressonância.

No entanto, recomenda-se que as análises sejam aprofundadas no âmbito do relatório R2, com possibilidade de indicação da instalação de reatores de neutro. Finalmente, a manutenção dos reatores de linha nos terminais de Samambaia não acarreta qualquer restrição para o controle de tensão durante a realização de manobras nos circuitos resultantes dos referidos seccionamentos, conforme ilustrado nos itens seguintes.

Energização por Samambaia

A Figura 8-5 mostra o sequenciamento de manobras para energização do eixo Samambaia - Silvânia a partir da SE Samambaia, após a realização do seccionamento. Foi utilizado o Cenário 3 para essa simulação.

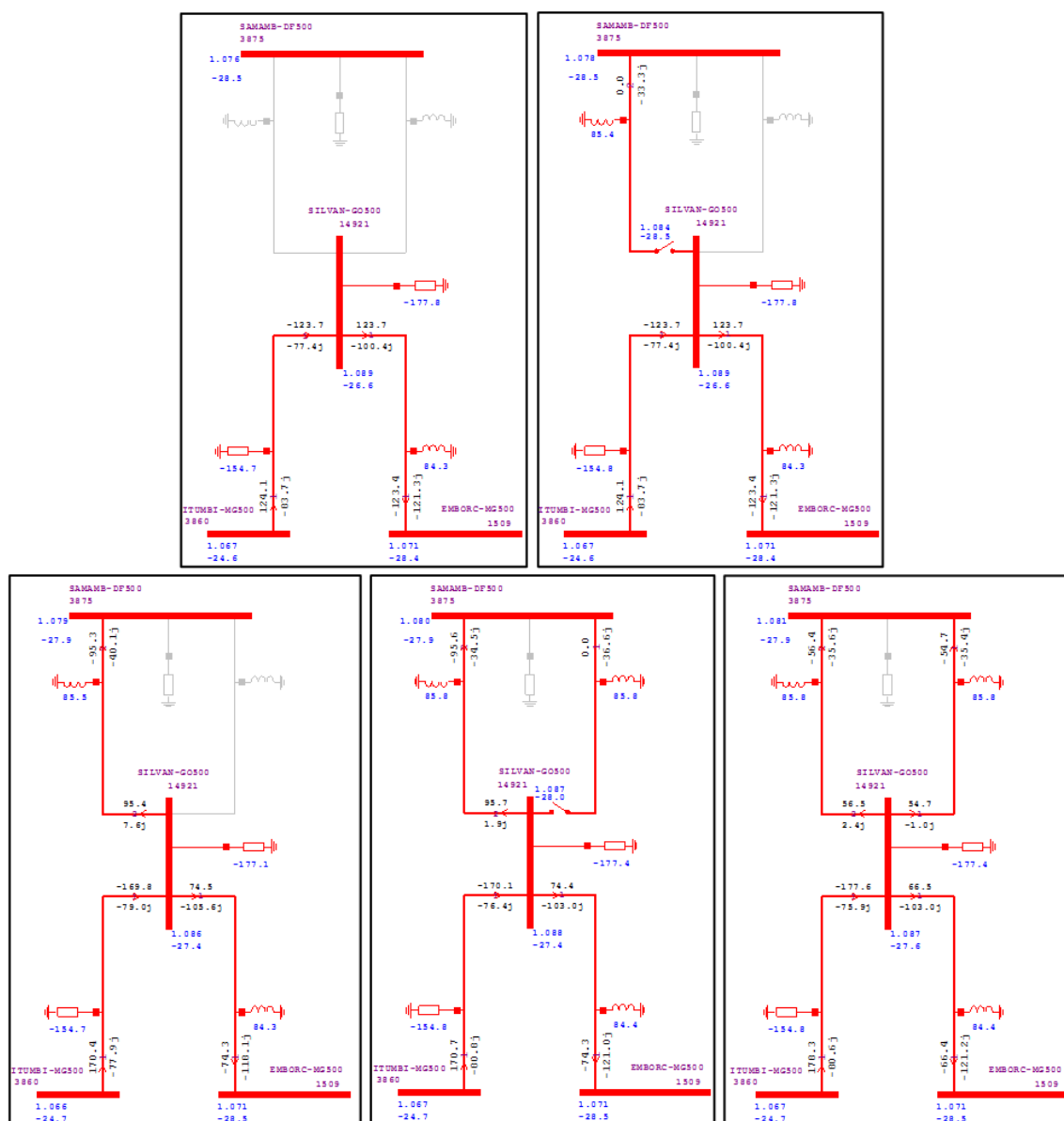


Figura 8-5 – Energização Eixo Samambaia - Silvânia: por SE Samambaia

Observa-se que a energização do eixo via SE Samambaia é perfeitamente possível, atendendo a todos os critérios de tensão.

Energização por Silvânia

A Figura 8-6 mostra o sequenciamento de manobras para energização do eixo Samambaia - Silvânia a partir da SE Silvânia, após a realização do seccionamento. Foi utilizado o Cenário 3 para essa simulação.

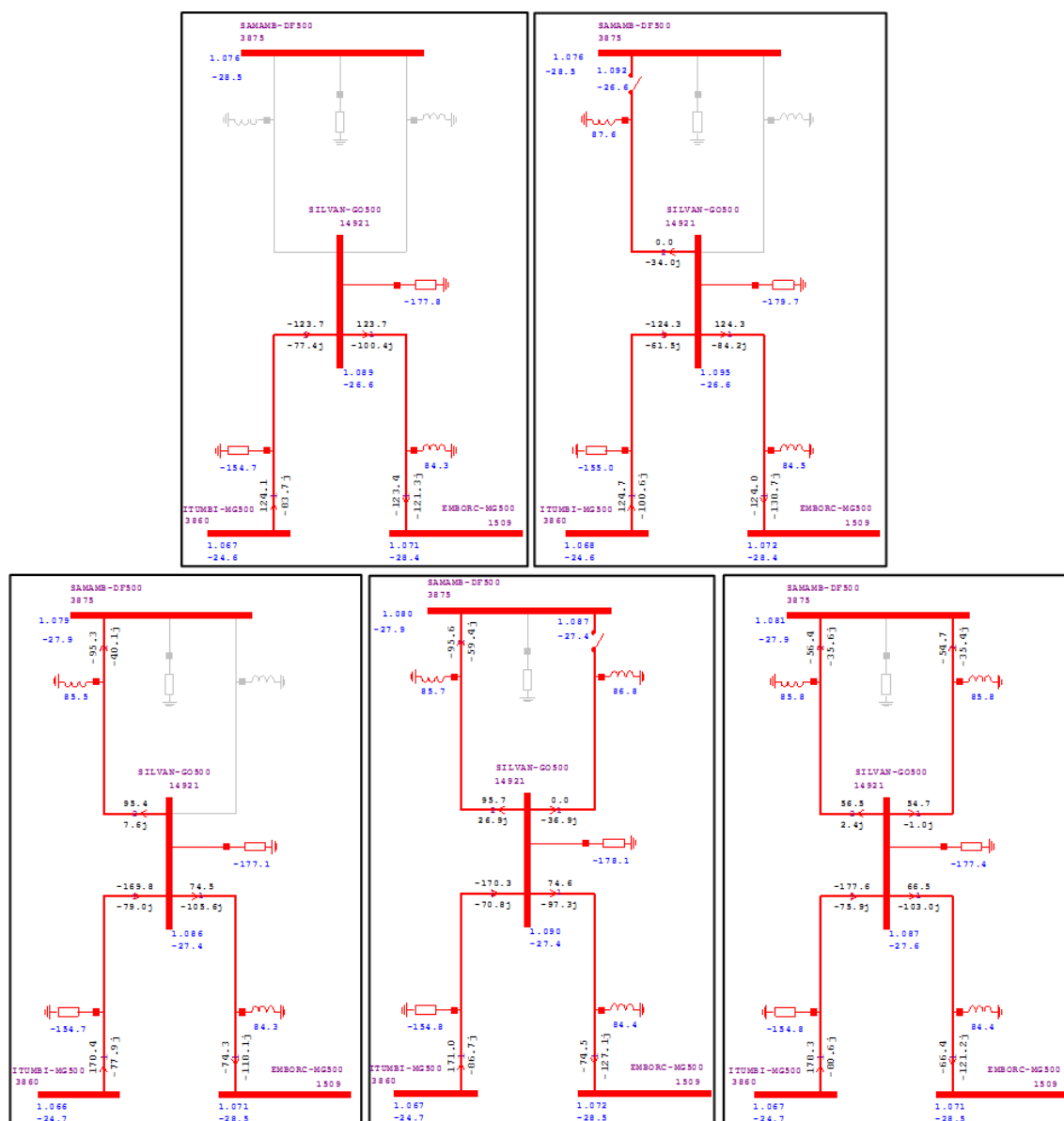


Figura 8-6 – Energização Eixo Samambaia - Silvânia: por SE Silvânia

Observa-se que a energização do eixo via SE Silvânia é perfeitamente possível, atendendo a todos os critérios de tensão.

Abertura de Terminal

A Figura 8-7 mostra a rejeição da LT 500 kV Samambaia – Silvânia C1 e C2, em cada um de seus terminais. Foi utilizado o Cenário 2 para essa simulação. Observa-se o atendimento aos critérios de tensão em todos os casos.

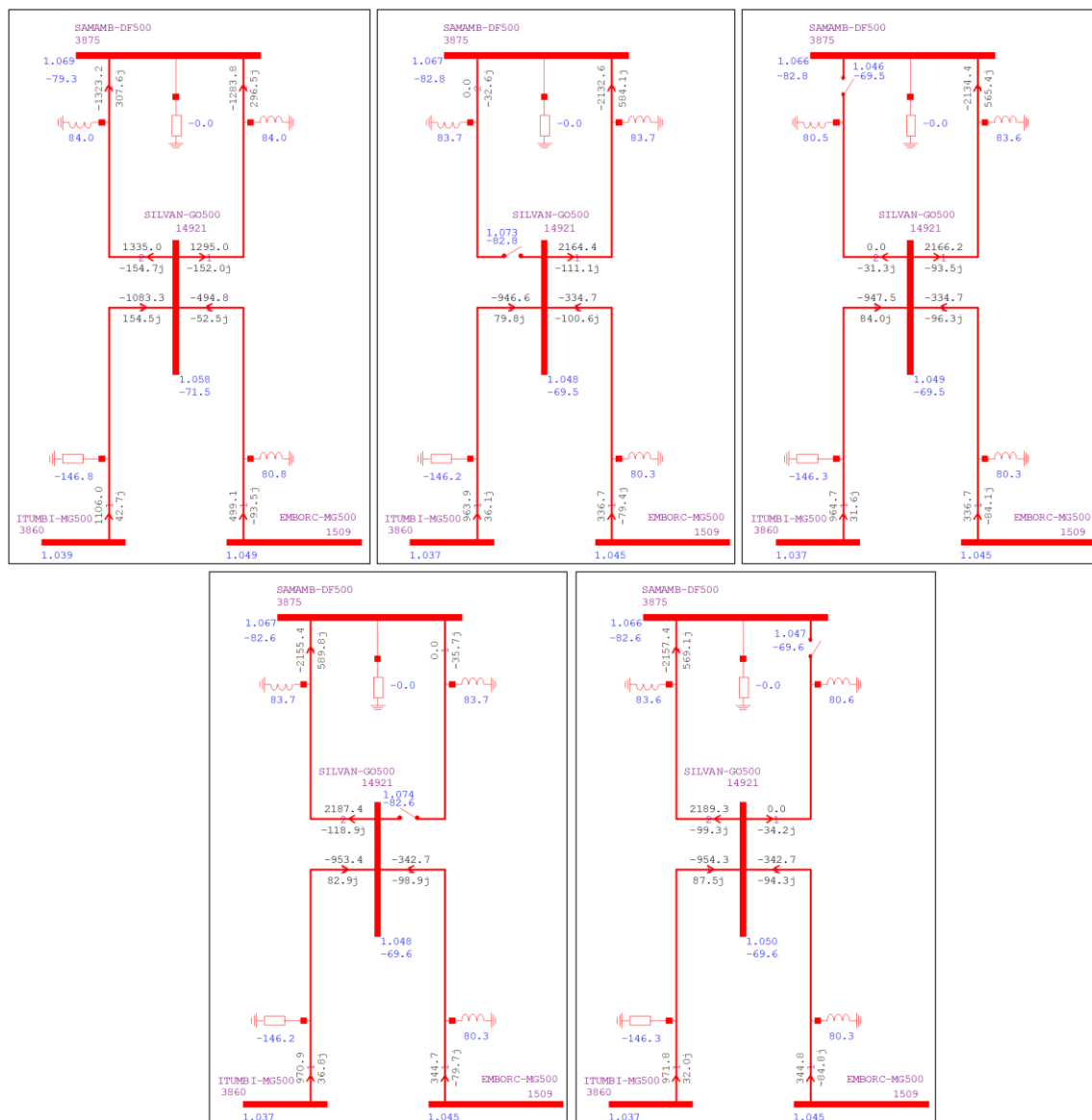


Figura 8-7 – Rejeição Eixo Samambaia - Silvânia: por terminal

8.3.3 Eixo Silvânia - Itumbiara

Esse eixo é resultado do seccionamento da LT 500 kV Samambaia - Itumbiara, na SE Silvânia. O objetivo dessa análise é verificar se serão mantidos os critérios de tensão quando da realização de manobras neste trecho de LT resultante do seccionamento. A compensação *shunt* desta LT resultante, mantendo-se o reator de linha manobrável na extremidade de Itumbiara, fica em 49,1% da susceptância da LT (alocado apenas na extremidade de Itumbiara), valor inferior à compensação da LT 500 kV Samambaia - Itumbiara antes do seccionamento. Por esse motivo, optou-se por manter o reator na extremidade de Itumbiara, já que a compensação líquida da LT foi diminuída, afastando-se ainda mais da região de ressonância. Adicionalmente, sua presença não acarreta qualquer

restrição para o controle de tensão durante a realização de manobras na LT resultante do referido seccionamento, conforme ilustrado nos itens seguintes.

Energização por Silvânia

A Figura 8-8 mostra o sequenciamento de manobras para energização do eixo Silvânia - Itumbiara a partir da SE Silvânia, após a realização do seccionamento. Foi utilizado o Cenário 3 para essa simulação e considerado desligado o reator de linha manobrável do lado de Itumbiara, de forma a simular a pior condição operativa.

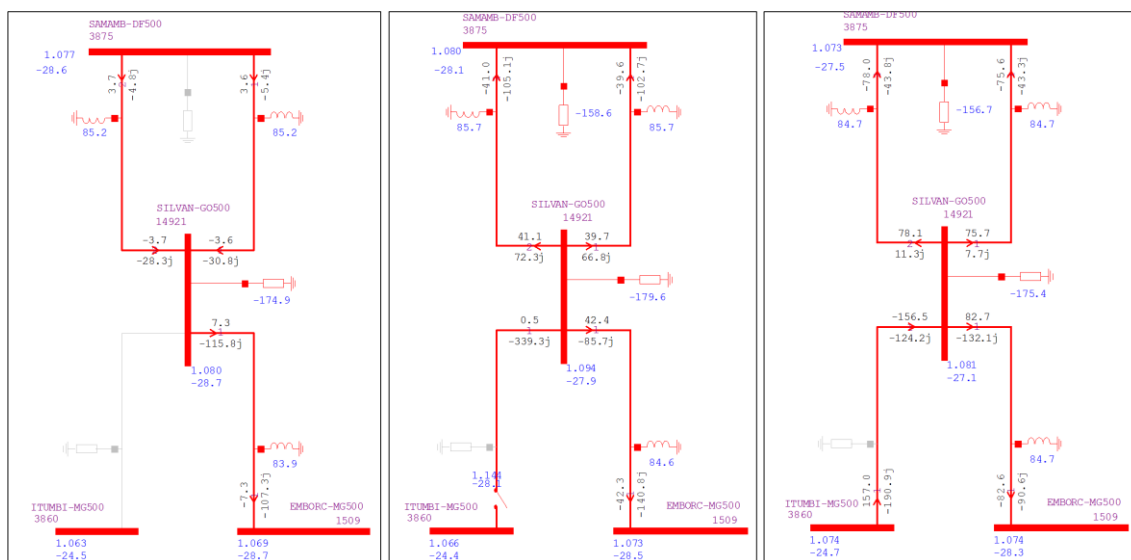


Figura 8-8 – Energização Eixo Silvânia - Itumbiara: por SE Silvânia

Observa-se que a energização do eixo via SE Silvânia é perfeitamente possível, atendendo a todos os critérios de tensão.

Energização por Itumbiara

A Figura 8-9 mostra o sequenciamento de manobras para energização do eixo Silvânia - Itumbiara a partir da SE Itumbiara, após a realização do seccionamento. Foi utilizado o Cenário 3 para essa simulação.

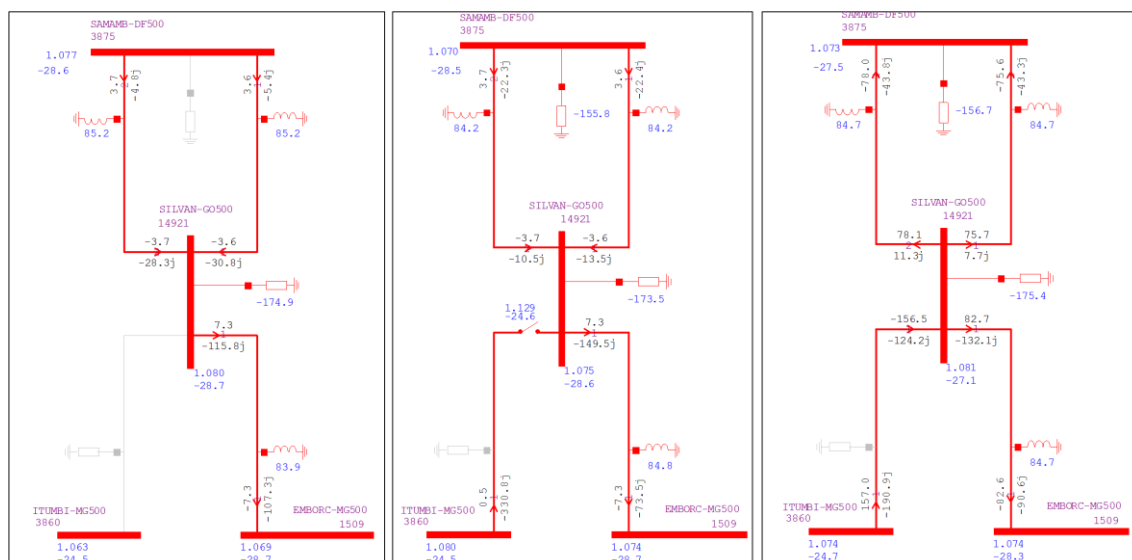


Figura 8-9 – Energização Eixo Silvânia - Itumbiara: por SE Itumbiara

Observa-se que a energização do eixo via SE Itumbiara é perfeitamente possível, atendendo a todos os critérios de tensão.

Abertura de Terminal

A Figura 8-10 mostra a rejeição da LT 500 kV Silvânia - Itumbiara, em cada um de seus terminais, sendo utilizado o Cenário 1 para simulação. Observa-se o atendimento aos critérios de tensão em todos os casos.

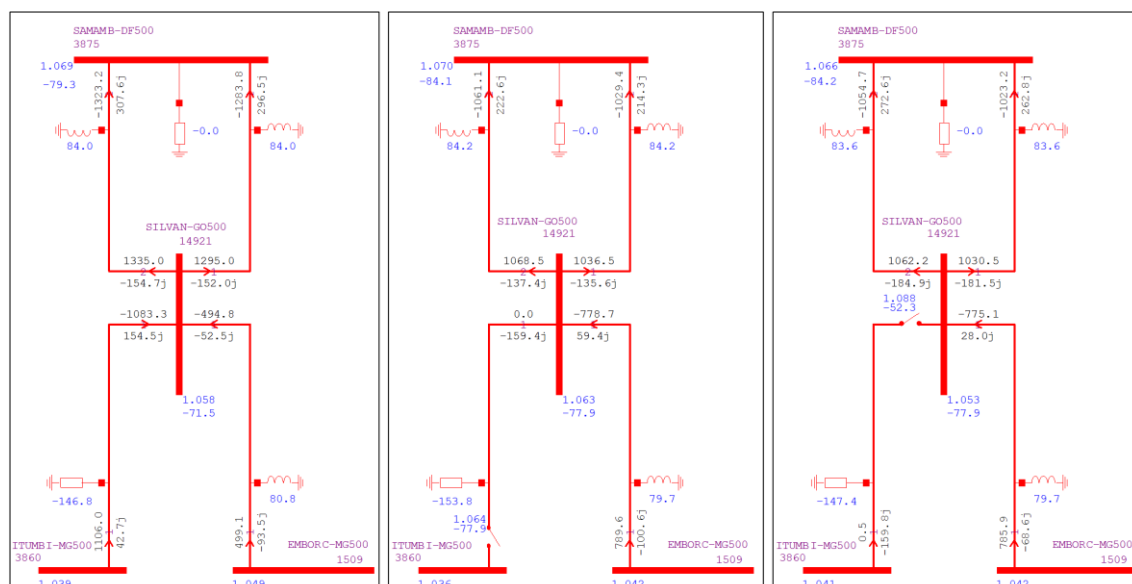


Figura 8-10 – Rejeição Eixo Silvânia - Itumbiara: por terminal

8.3.4 Eixo Silvânia - Emborcação

Esse eixo é resultado do seccionamento da LT 500 kV Samambaia - Emborcação, na SE Silvânia. O objetivo dessa análise é verificar se serão mantidos os critérios de tensão quando da realização de manobras neste trecho de LT resultante do seccionamento. A compensação *shunt* desta LT resultante, mantendo-se o reator de linha fixo na extremidade de Emborcação, fica em 27,6% da susceptância da LT (alocado apenas na extremidade de Emborcação), valor inferior à compensação da LT 500 kV Samambaia - Emborcação antes do seccionamento. Por esse motivo, optou-se por manter o reator fixo na extremidade de Emborcação, já que a compensação líquida da LT foi diminuída, afastando-se ainda mais da região de ressonância. Adicionalmente, sua presença não acarreta qualquer restrição para o controle de tensão durante a realização de manobras na LT resultante do referido seccionamento, conforme ilustrado nos itens seguintes.

Energização por Silvânia

A Figura 8-11 mostra o sequenciamento de manobras para energização do eixo Silvânia - Emborcação a partir da SE Silvânia, após a realização do seccionamento. Foi utilizado o Cenário 3 para essa simulação.

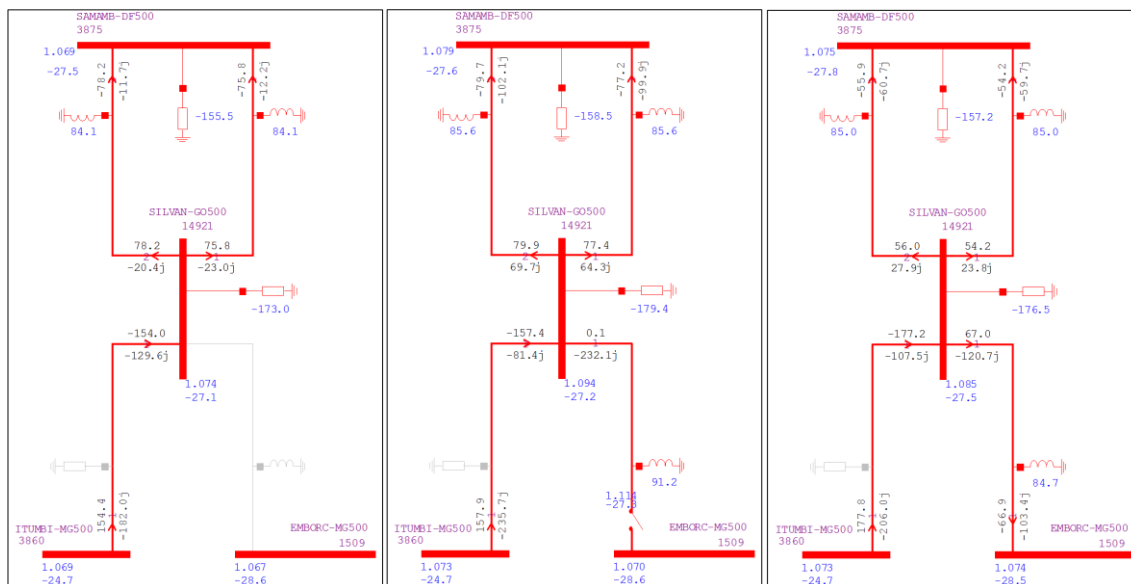


Figura 8-11 – Energização Eixo Silvânia - Emborcação: por SE Silvânia

Observa-se que a energização do eixo via SE Silvânia é perfeitamente possível, atendendo a todos os critérios de tensão.

Energização por Emborcação

A Figura 8-12 mostra o sequenciamento de manobras para energização do eixo Silvânia - Emborcação a partir da SE Emborcação, após a realização do seccionamento. Foi utilizado o Cenário 3 para essa simulação.

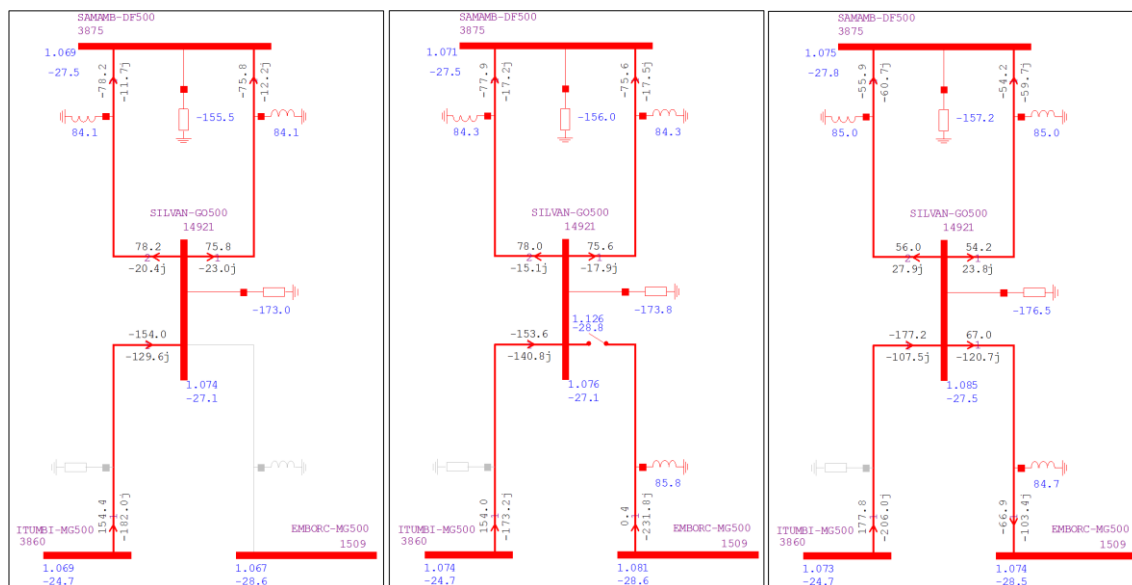


Figura 8-12 – Energização Eixo Silvânia - Emborcação: por SE Emborcação

Observa-se que a energização do eixo via SE Emborcação é perfeitamente possível, atendendo a todos os critérios de tensão.

Abertura de Terminal

A Figura 8-13 mostra a rejeição da LT 500 kV Silvânia - Emborcação, em cada um de seus terminais, sendo utilizado o Cenário 3 para simulação. Observa-se o atendimento aos critérios de tensão em todos os casos.

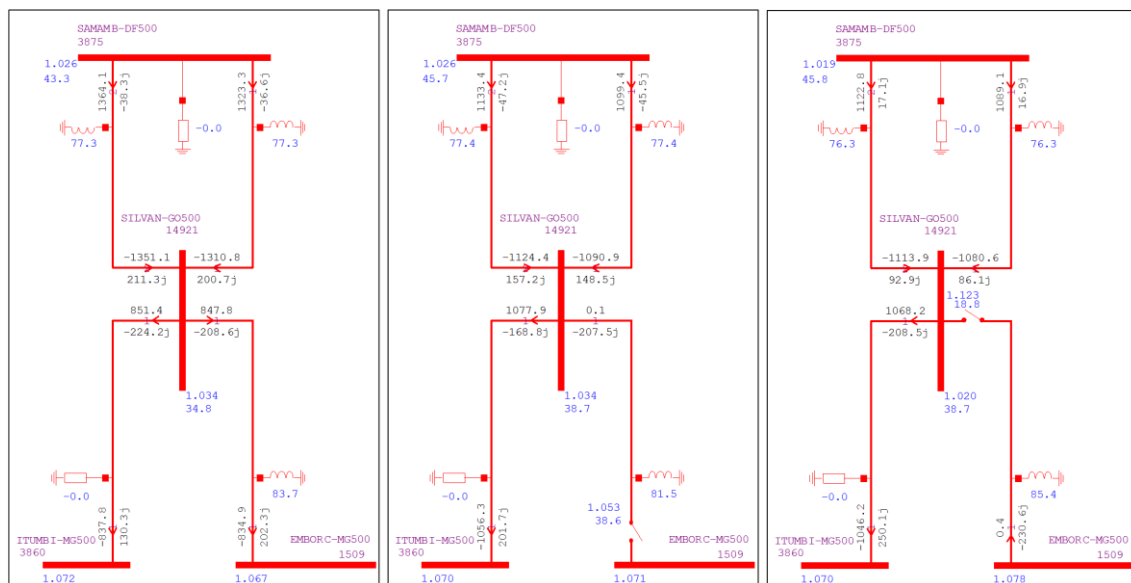


Figura 8-13 – Rejeição Eixo Silvânia - Emborcação: por terminal

9 AVALIAÇÃO TÉCNICO-ECONÔMICA DA LINHA DE TRANSMISSÃO

9.1 Avaliação Econômica da Linha de Transmissão em 500 kV Silvânia - Trindade CS

Nesta seção são apresentadas as análises que definem os condutores e as capacidades da linha de transmissão 500 kV Silvânia – Trindade CS, de cerca de 155 km.

Inicialmente, foi considerada como solução de referência para as análises do presente relatório a concepção de uma LT com 4 subcondutores de 954 MCM (RAIL) por fase espaçados de 0,475 metros.

Em seguida, é realizada uma análise que visa sinalizar, a partir de uma estrutura típica de linha de transmissão, o condutor que resulta em menores custos totais, avaliando custos de perdas e investimentos para cada conjunto de condutores que atendem aos critérios técnicos e econômicos.

Os resultados apresentados nas análises realizadas são extraídos diretamente do programa ELEKTRA, desenvolvido pelo CEPEL. As simulações foram realizadas com base nas seguintes premissas:

- 100% das estruturas consideradas são estaiadas;
- resistividade do solo igual a 1000 $\Omega.m$;
- feixes simétricos com 0,457 m de espaçamento entre condutores, no caso de linhas de transmissão com mais de um subcondutor por fase;
- custo marginal de expansão (CME): R\$ 233,92/MWh;
- taxa de desconto anual: 8%;
- banco de Custos ANEEL/2017;
- perfis de elevação das regiões atravessadas pelas linhas de transmissão;
- fluxos de potência para cenários de carga leve, média e pesada e suas respectivas permanências, bem como fluxos em situações de emergência.

Além dos critérios listados, foram observadas restrições relativas a campos magnético e elétrico dentro e fora da faixa de passagem típica, bem como níveis de ruído audível, radio interferência e balanço máximo da cadeia de isoladores, de forma a definir a faixa de passagem.

A Tabela 9-1 apresenta os custos (R\$/km) totais, da instalação e das perdas em função da bitola do cabo condutor (MCM), resultantes da otimização técnico-econômica da linha para o universo de condutores candidatos, tipo CAA, tecnicamente viáveis.

Tabela 9-1 – Alternativas com condutores tecnicamente viáveis

Condutor				Custo (R\$x1000/km)			Custo total em relação ao menor custo total (%)
Nome Código	Número de sub cond. por fase	Bitola (MCM)	Formação Al/Aço	Instalação	Perdas	Total	
RAIL	4	954	45/7	980	470	1449	100,0
RUDDY	4	900	45/7	945	508	1453	100,3
ORTOLAN	4	1034	45/7	1036	422	1458	100,6
BLUEJAY	4	1113	45/7	1088	381	1469	101,4
DRAKE	4	795	43/7	925	559	1484	102,4
TERN	4	795	45/7	886	599	1485	102,5
BUNTING	4	1193	45/7	1203	348	1551	107,0
BITTERN	4	1272	45/7	1253	319	1572	108,5
DIPPER	4	1352	45/7	1305	295	1600	110,4
LAPWING	4	1590	45/7	1384	237	1621	111,9
BOBOLINK	4	1431	45/7	1364	272	1636	112,9
NUTHATCH	4	1511	45/7	1418	253	1671	115,3
CHUKAR	4	1780	84/19	1524	200	1724	118,9

Conforme mostrado na Tabela 9-1, a configuração 4 x 954 MCM (RAIL) é aquela que possui o menor custo total (instalação e perdas) para o conjunto de soluções avaliado.

Características elétricas da LT 500 kV Silvânia – Trindade

Uma vez que a configuração adotada é constituída por quatro subcondutores 954 MCM (RAIL) por fase, é apresentado na Figura 9-1, extraída do ELEKTRA, um sumário dos resultados técnicos para a LT 500 kV Silvânia – Trindade.

A disposição geométrica do centro do feixe de condutores em circuito simples avaliada é apresentada na Tabela 9-2 e silhueta da torre ilustrada na Figura 8-1. A configuração dessa solução apresenta uma potência natural da ordem de 1040 MW.

Tabela 9-2 – Coordenadas dos condutores (centro do feixe) na torre típica da LT 500 kV Silvânia - Trindade

	X(m)	Y(m)
Feixe A	-7,50	29,36
Feixe B	0,00	36,86
Feixe C	7,50	29,36
Pára-raios 1	-6,20	41,40
Pára-raios 2	6,20	41,40

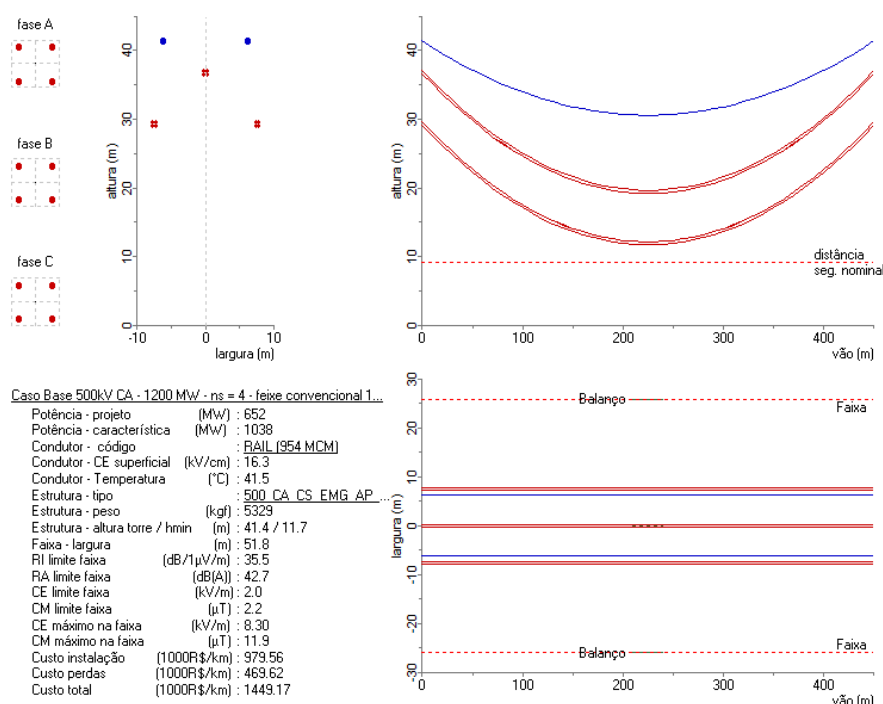


Figura 9-1 – Dados técnicos básicos da LT 500 kV Silvânia – Trindade CS, configuração com quatro sub condutores RAIL por fase

Os parâmetros elétricos da linha de transmissão considerada, bem como os níveis de carregamentos limitados pelo cálculo da ampacidade dessa LT, estão sumarizados na Tabela 9-2.

Tabela 9-3 – Características elétricas da linha de transmissão em 500 kV

Potência por circuito [MVA]			Cabo condutor por fase	Parâmetros de seq. pos/zero (50° C)			
Nom (65°C)	Emerg. (90°C)	Natural (SIL)		Seq	R (Ω/km)	X (Ω/km)	B (µS/km)
2850	3464*	1040	4xRAIL	+	0,0173	0,3081	5,3207
				0	0,3383	1,4255	3,0055

*Potência limitada pelos equipamentos terminais da linha de transmissão. Por exemplo, disjuntores e barramentos.

Análises econômicas de sensibilidade

Foram realizadas, adicionalmente avaliações de sensibilidade em relação às variações de fatores de perda e de custos considerados para as perdas.

O fator de perdas médio considerado na avaliação é da ordem de 0,4. Ao ser considerado um fator de perdas de 0,2 para todo o horizonte da análise, a solução com quatro subcondutores 954 MCM diferiu de apenas 0,12% da solução de menor custo. Por outro lado, considerando um fator de perdas de 0,6 para todo o horizonte da análise, a solução com quatro subcondutores 954 MCM diferiu de apenas 0,08% da solução de menor custo.

O custo de perdas considerado na avaliação vale 234 R\$/MWh. Ao ser considerado um custo de perdas na metade do valor utilizado, ou seja, 117 R\$/MWh para todo o horizonte da análise, a solução com quatro subcondutores 954 MCM diferiu de 2,29% da solução de menor custo. Por outro lado, considerando um custo de perdas de 400 R\$/MWh para todo o horizonte da análise, a solução com quatro subcondutores 954 MCM diferiu de 2,5% da solução de menor custo.

Esses resultados atestam a permanência e robustez da solução indicada, quatro subcondutores 954 MCM (RAIL), para um conjunto amplo de variação de fatores de perdas e custos associados com uma diferença econômica de até 3% da solução de menor custo.

9.2 Análise de Ressonância e Extinção de Arco Secundário da LT 500 kV Silvânia – Trindade

Nesta seção são apresentadas as análises de ressonância e extinção de arco secundário para a LT 500 kV Silvânia – Trindade, visando a viabilidade de implantação do religamento monopolar dessa linha de transmissão. A análise em regime permanente a 60 Hz, com o objetivo de obter as correntes de arco secundário e as tensões induzidas na fase aberta (sem a existência de arco), foi realizada prospectando-se a localização do curto-circuito que apresenta as condições mais severas.

As análises foram realizadas considerando um fluxo de carga da ordem de 1800 MW, condição acima do maior valor observado nas simulações de fluxo de carga, mas que permite obter resultados conservadores e, assim, mais robustos. A silhueta da torre utilizada nas análises tem semelhança com torres típicas existentes na região avaliada, com SIL da ordem de 1040 MW. Além disso, essas estruturas possuem 4 subcondutores por fase igualmente espaçados de 0,457 m. Vale salientar que a LT avaliada possui um grau de compensação de cerca de 58% e 155 km de comprimento.

Os resultados apresentados sinalizam valores eficazes de tensão de fase aberta e corrente de arco secundário abaixo dos limites admissíveis, de acordo com os critérios definido no submódulo 23.3 dos procedimentos de rede do ONS, sem a necessidade de utilização de reator de neutro. Portanto, fica evidenciado que o religamento monopolar poderá ser implementado com um tempo morto de até 1,75 s.

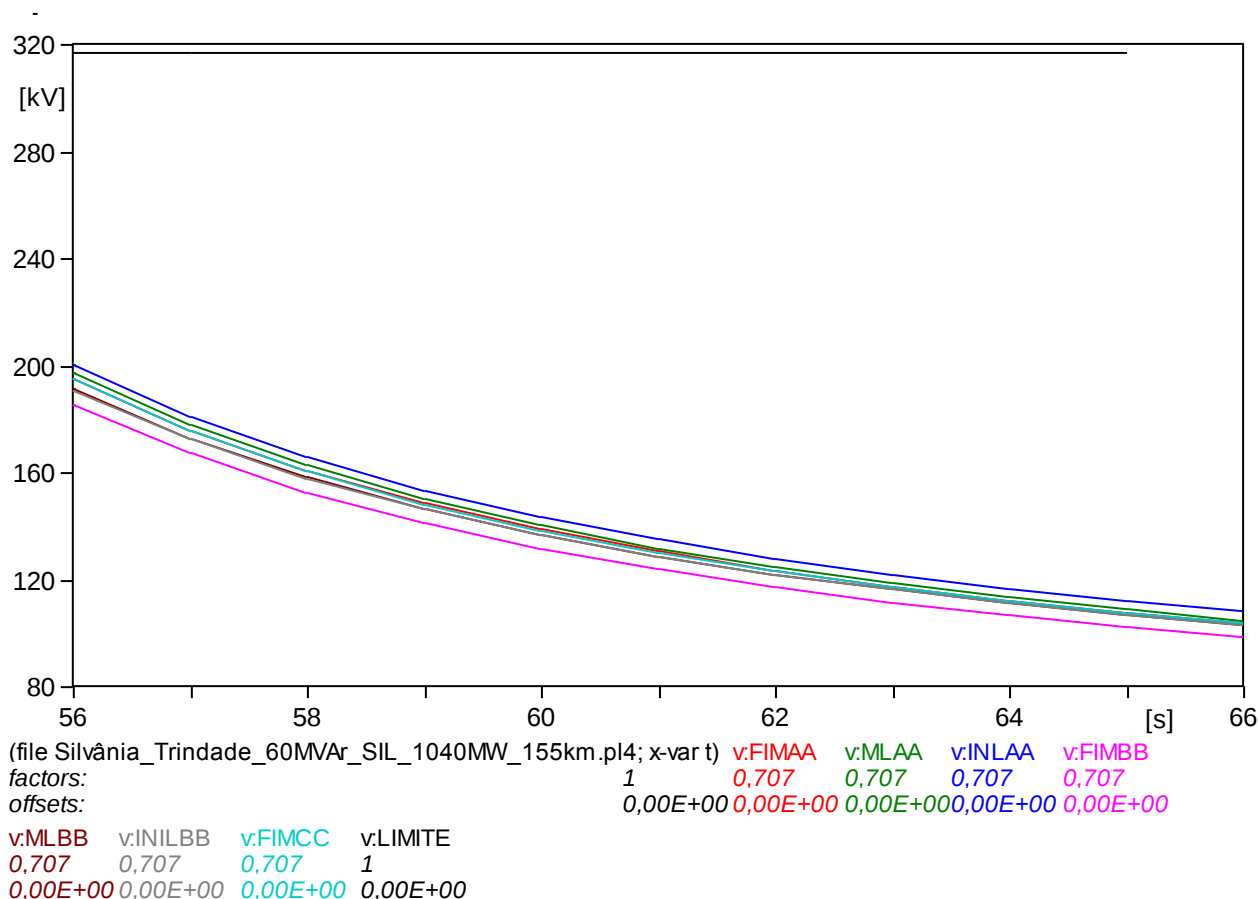


Figura 9-2 – LT 500 kV Silvânia – Trindade, C1, CS - Prospecção dos valores eficazes das tensões induzidas na fase aberta com neutro dos reatores solidamente aterrados

Os valores eficazes da tensão induzida de fase aberta, na faixa da frequência entre 56 Hz e 66 Hz, medidas nos terminais e no meio da linha de transmissão, para todas as condições consideradas, ficou abaixo do limite de 317,5 kV.

Tabela 9-4 – Valores eficazes das correntes de arco secundário (A) a 60 Hz, para religamento monopolar na LT 500 kV Silvânia – Trindade, C1, CS - Falta nas extremidades e 1/2 da LT com o neutro dos reatores solidamente aterrado

Fase em falta	Local da falta		
	Trindade 500 kV	1/2 LT	Silvânia 500 kV
A	35,4	34,2	34,3
B	33,7	33,4	32,6
C	35,4	34,2	34,2

A Tabela 9-4 apresenta resultados de corrente de arco secundário abaixo de 50 A, a 60 Hz, evidenciando que o religamento monopolar poderá ser implementado com um tempo morto de até 1,75 s.

A Figura 9-3 e Figura 9-4 mostram que, para pequenas variações de eventuais comprimentos da LT 500 kV Silvânia – Trindade, não são esperados impactos significativos na viabilidade do religamento monopolar, de forma que as constatações já realizadas no início da seção permanecem, na faixa de 56 Hz a 66 Hz.

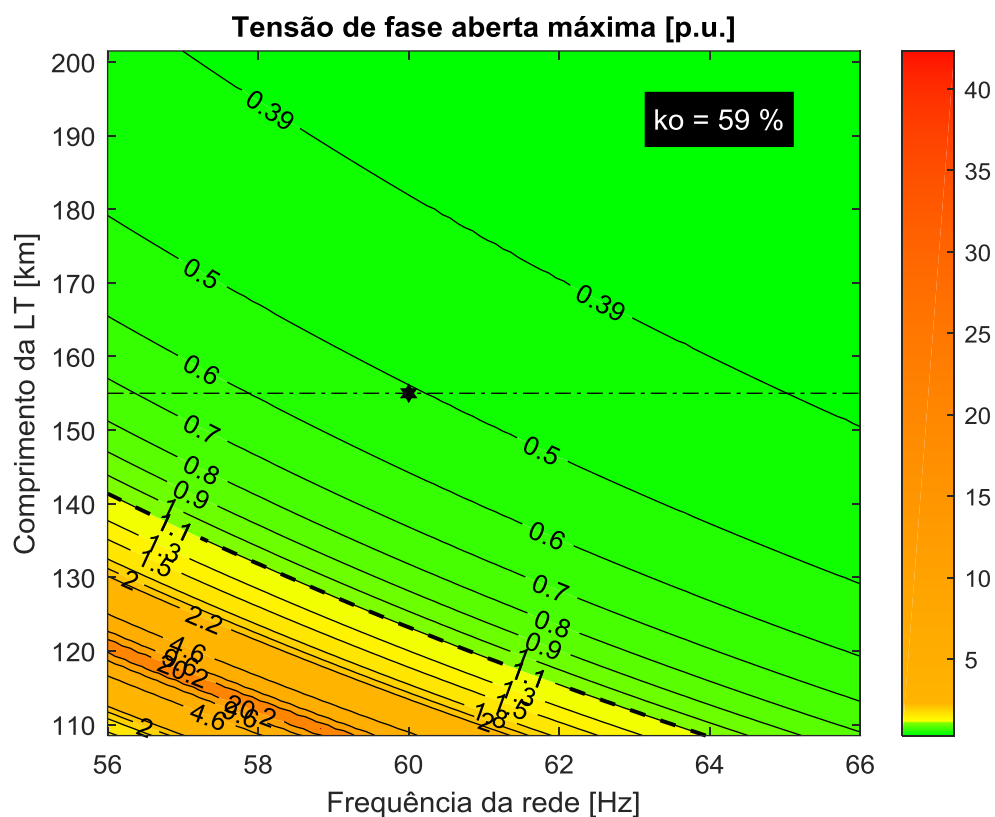


Figura 9-3 – Sensibilidade nos valores eficazes de tensão de fase aberta com variação no comprimento da LT 500 kV Silvânia – Trindade, C1, CS com neutro dos reatores solidamente aterrados – Máxima tensão de fase aberta no Terminal Silvânia (fase C – externa)

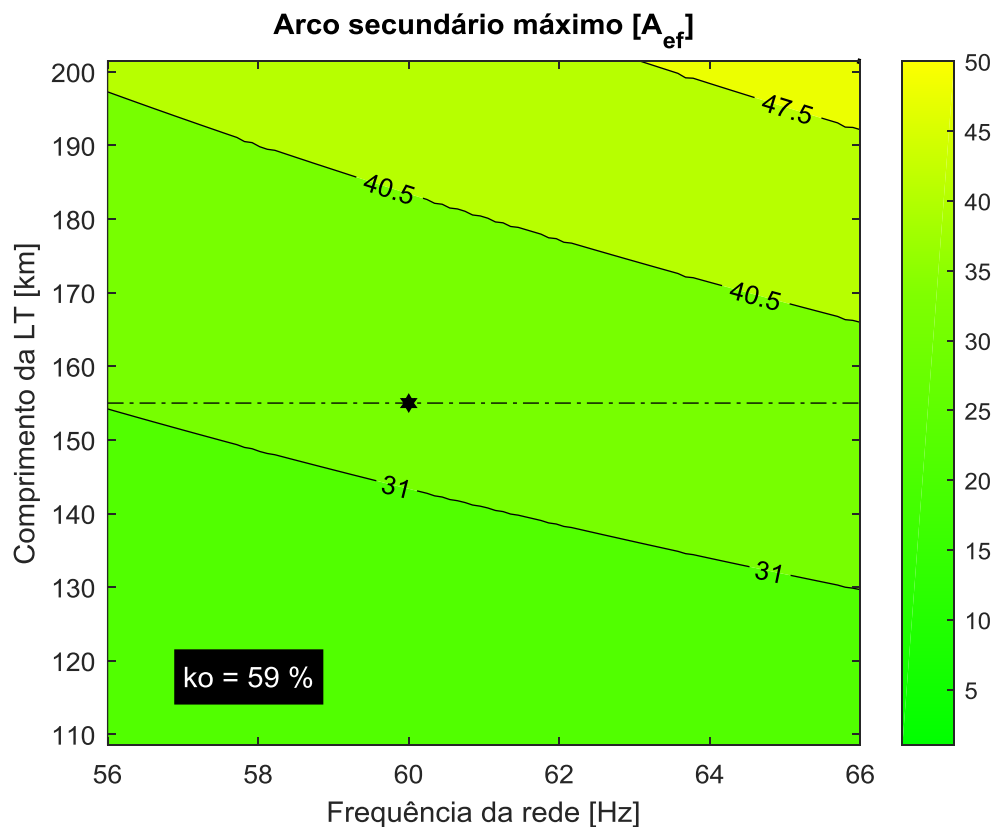


Figura 9-4 – Sensibilidade nos valores eficazes de corrente de arco secundário com variação no comprimento da LT 500 kV Silvânia – Trindade, C1, CS com neutro dos reatores solidamente aterrados – Corrente de arco secundário no Terminal Silvânia (fases A e C – externas)

10 ANÁLISE DE CURTO-CIRCUITO

Foi realizada a análise de curto-circuito em subestações representativas do sistema elétrico da região central do estado de Goiás. Para isso, foram considerados os anos inicial e final do horizonte de estudo como sendo 2024 e 2033, respectivamente.

Todavia, os resultados presentes na Tabela 10-1 são referentes apenas ao ano inicial devido ao aumento pouco significativo dos níveis de curto-circuito até o final do horizonte em estudo.

Tabela 10-1 - Níveis de Curto-circuito verificados: com e sem obras no ano 2024

Com os reforços															Disjuntores (kA)
Identificação do Barramento			Sem Obra						Com obra						
Número	subestação	Tensão (kV)	3φ (kA)	X/R	1φ (kA)	X/R	2φ (kA)	X/R	3φ (kA)	X/R	1φ (kA)	X/R	2φ (kA)	X/R	
1183	XAVANT-GO230	230	18,02	9,96	16,67	8,07	17,72	9,08	19,38	10,27	17,53	8,05	18,94	9,27	20
1509	EMBORC-MG500	500	24,74	16,86	23,36	15,55	24,20	16,26	25,17	17,11	23,65	15,69	24,58	16,47	38
3860	ITUMBI-MG500	500	30,48	20,55	29,74	19,21	30,21	19,90	30,82	20,76	29,93	19,29	30,49	20,05	31,5
3875	SAMAMB-DF500	500	24,32	11,00	20,27	9,08	23,03	10,28	25,92	11,50	21,62	9,37	24,56	10,69	40
3909	BANDEI-GO345	345	15,59	12,78	15,02	15,13	15,47	13,75	15,91	12,92	15,23	15,24	15,74	13,87	25
3978	PIRINE-GO230	230	8,44	6,93	6,14	5,35	7,85	6,45	8,62	6,92	6,20	5,33	7,99	6,45	20
4303	TRINDA-GO500	500	9,23	13,90	7,80	9,44	8,86	11,99	12,81	14,78	10,04	8,76	12,12	12,33	40
4304	TRINDA-GO230	230	19,46	12,93	17,56	9,15	19,06	11,13	23,17	14,89	20,41	9,42	22,60	12,26	40
14921	SILVAN-GO500	500	-	-	-	-	-	-	20,05	15,30	13,25	8,76	18,40	13,22	nova

Como pode ser observado, não foram encontrados aumentos significativos dos níveis de curto-circuito do sistema após a entrada em operação dos reforços estruturais.

Desta forma, a princípio não são necessárias maiores análises de superação de disjuntores por níveis de curto circuito.

11 REFERÊNCIAS

- [1]. “Aumento da Capacidade da Interligação entre as Regiões Norte/Nordeste e Sudeste/Centro-Oeste para Escoamento de Excedentes de Energia das Regiões Norte e Nordeste: Bipolos A e B”, EPE-DEE-RE-020/2016-rev0, de 29 de fevereiro de 2016.
- [2]. “Diretrizes para Elaboração dos Relatórios Técnicos Referentes às Novas Instalações da Rede Básica”, EPE - abril de 2005.
- [3]. “Critérios e Procedimentos para o Planejamento da Expansão dos Sistemas de Transmissão – Volume 2”, CCPE. Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos, 2002.
- [4]. “Plano Decenal de Expansão de Energia 2027”, EPE - 2018.
- [5]. “Base de Referência de Preços ANEEL”, fevereiro de 2019.
- [6]. “Procedimentos de Rede”, Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS.
- [7]. “Programa de Expansão da Transmissão (PET) / Plano de Expansão de Longo Prazo (PELP) - Ciclo 2019 – 1º semestre”, EPE-DEE-RE-011/2019-rev0 – março/2019.
- [8]. “Estudo de Atendimento à Região de Inhumas, Itaberaí, Itapuranga e Guapó – Estado de Goiás”, EPE-DEE-RE-043/2017, 29 de agosto de 2017.
- [9]. “Custo Marginal de Expansão do Setor Elétrico Brasileiro Metodologia e Cálculo – 2018” - EPE-DEE-RE-055/2018 – r1, 20 de agosto de 2018.

12 EQUIPE TÉCNICA

Armando Leite Fernandes – EPE – Superintendência de Transmissão de Energia

Bruno Cesar Mota Maçada – EPE – Superintendência de Transmissão de Energia

Maxwell Cury Júnior – EPE – Superintendência de Transmissão de Energia

Rafael Theodoro Alves e Mello - EPE – Superintendência de Transmissão de Energia

Rodrigo Rodrigues Cabral – EPE – Superintendência de Transmissão de Energia

João Henrique Magalhães Almeida – EPE – Superintendência de Transmissão de Energia

Sérgio Felipe Falcão Lima – EPE – Superintendência de Transmissão de Energia

13 FICHAS PET

INSTALAÇÕES DE TRANSMISSÃO DE REDE BÁSICA

Sistema Interligado da Região CENTRO-OESTE

Empreendimento: SE 500 kV SILVÂNIA (Nova)	UF: GO
	DATA DE NECESSIDADE: Jan/2024
	PRAZO DE EXECUÇÃO: 48 meses

Justificativa:

Nova SE 500 kV Silvânia (seccionadora)

Obras e Investimentos Previstos: (R\$ x 1.000)

3 IB (Interligação de Barras) 500 kV, Arranjo DJM	18.841,56
1 CRB (Conexão de Reator de Barra) 500 kV, Arranjo DJM	5.448,69
1º Reator de Barra 500 kV, (3+1R) x 50 Mvar 1Φ	10.814,80
MIG (Terreno Rural)	10.105,48
MIM - 500 kV	3.496,96

Total de Investimentos Previstos:	48.707,49
--	------------------

Situação atual:**Observações:****Documentos de referência:**

- [1] Custos Modulares da ANEEL – Fevereiro de 2019.

INSTALAÇÕES DE TRANSMISSÃO DE REDE BÁSICA

Sistema Interligado da Região CENTRO-OESTE

Empreendimento: SECC LT 500 kV SAMAMBAIA - EMBORCAÇÃO, C1, NA SE SILVÂNIA (Nova)	UF: GO
	DATA DE NECESSIDADE: Jan/2024
	PRAZO DE EXECUÇÃO: 48 meses

Justificativa:

Seccionamento da LT 500 kV Samambaia-Emborcação na nova SE 500 kV Silvânia

Obras e Investimentos Previstos: (R\$ x 1.000)

Circuito Duplo 500 kV, 3 x 954 MCM (RAIL), 7,14 km	15.500,08
2 EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM	11.976,54

Total de Investimentos Previstos:	27.476,62
--	------------------

Situação atual:**Observações:****Documentos de referência:**

- [1] Custos Modulares da ANEEL – Fevereiro de 2019.

INSTALAÇÕES DE TRANSMISSÃO DE REDE BÁSICA

Sistema Interligado da Região CENTRO-OESTE

Empreendimento: SECC LT 500 kV SAMAMBAIA - ITUMBIARA, C1, NA SE SILVÂNIA (Nova)	UF: GO
	DATA DE NECESSIDADE: Jan/2024
	PRAZO DE EXECUÇÃO: 48 meses

Justificativa:

Seccionamento da LT 500 kV Samambaia-Itumbiara na nova SE 500 kV Silvânia

Obras e Investimentos Previstos: (R\$ x 1.000)

Circuito Duplo 500 kV, 3 x 954 MCM (RAIL), 14,37 km	31.195,55
2 EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM	11.976,54

Total de Investimentos Previstos:	43.172,09
--	------------------

Situação atual:**Observações:****Documentos de referência:**

- [1] Custos Modulares da ANEEL – Fevereiro de 2019.

INSTALAÇÕES DE TRANSMISSÃO DE REDE BÁSICA

Sistema Interligado da Região CENTRO-OESTE

Empreendimento:	UF: GO
LT 500 kV SILVÂNIA - TRINDADE, C1 (Nova)	DATA DE NECESSIDADE: Jan/2024
	PRAZO DE EXECUÇÃO: 48 meses

Justificativa:

Nova LT 500 kV Trindade-Silvânia C1 - 4x954 MCM - 155 km

Obras e Investimentos Previstos: (R\$ x 1.000)

1 EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM // Silvânia	5.988,27
1 EL (Entrada de Linha) 500 kV, Arranjo DJM // Trindade	5.988,27
Reator de Linha Fixo 500 kV, (3+1R) x 20 Mvar 1Φ // Trindade	9.603,60
Reator de Linha Fixo 500 kV, (3+1R) x 20 Mvar 1Φ // Trindade	9.603,60
1 CRL (Conexão de Reator de Linha Fixo) 500 kV, Arranjo DJM // Silvânia	2.025,21
1 CRL (Conexão de Reator de Linha Fixo) 500 kV, Arranjo DJM // Trindade	2.025,21
Circuito Simples 500 kV, 4 x 954 MCM (RAIL), 155 km	187.743,75

Total de Investimentos Previstos: **222.977,91**

Situação atual:

Observações:

Documentos de referência:

- [1] Custos Modulares da ANEEL – Fevereiro de 2019.

14 FICHAS PARA CONFORMIDADE DOS RELATÓRIOS R2 E R4

ANÁLISE CRÍTICA DO RELATÓRIO R2			
Empreendimento: Seccionamento, em circuito duplo, da LT 500 kV Samambaia – Emborcação, C1			
Característica da Instalação	Recomendações R1	Considerações do R2	Justificativas em Caso de Alterações no R2
Comprimento do circuito (km)	7,14		
Condutor utilizado (tipo e número por fase)	3 x RAIL (954 MCM)		
Capacidade operativa de longa duração (A)	2200		
Capacidade operativa de curta duração (A)	3000		
<i>Parâmetros de sequência positiva, 60 Hz</i> Resistência, a 50° C (Ω/km)	0,0233		
Reatância (Ω/km)	0,3412		
Susceptância ($\mu\text{S}/\text{km}$)	4,8492		
Parâmetros de Mútuas, se aplicável (*)	-		
<i>Parâmetros de sequência zero, 60 Hz</i> Resistência, a 50° C (Ω/km)	0,2427		
Reatância (Ω/km)	1,1009		
Susceptância ($\mu\text{S}/\text{km}$)	2,8724		

ANÁLISE CRÍTICA DO RELATÓRIO R2**Empreendimento: Seccionamento, em circuito duplo, da LT 500 kV Samambaia – Emborcação, C1**

Resistência mútua (Ω/km)	0,2180		
Reatância mútua (Ω/km)	0,6609		
Susceptância mútua ($\mu\text{S}/\text{km}$)	-0,9351		
Reatores de linha (extremidade; Mvar; tipo: fixo/manobrável)	-		
Capacitor série (extremidade; Mvar; reatância - Ω ; grau de compensação da LT - %)	-		
Cenário(s) utilizado(s) no cálculo do equivalente de rede	-		
Fluxo máximo na linha considerado no estudo (MVA)	1300 (Normal); 2110 (Emergência)		
OBSERVAÇÕES			

ANÁLISE CRÍTICA DO RELATÓRIO R2

Empreendimento: Seccionamento, em circuito duplo, da LT 500 kV Samambaia – Itumbiara, C1

Característica da Instalação	Recomendações R1	Considerações do R2	Justificativas em Caso de Alterações no R2
Comprimento do circuito (km)	14,37		
Condutor utilizado (tipo e número por fase)	3 x RAIL (954 MCM)		
Capacidade operativa de longa duração (A)	2200		
Capacidade operativa de curta duração (A)	3000		
<i>Parâmetros de sequência positiva, 60 Hz</i> Resistência, a 50° C (Ω/km)	0,0233		
Reatância (Ω/km)	0,3412		
Susceptância ($\mu\text{S}/\text{km}$)	4,8492		
Parâmetros de Mútuas, se aplicável (*)	-		
<i>Parâmetros de sequência zero, 60 Hz</i> Resistência, a 50° C (Ω/km)	0,2427		
Reatância (Ω/km)	1,1009		
Susceptância ($\mu\text{S}/\text{km}$)	2,8724		
Resistência mútua (Ω/km)	0,2180		

ANÁLISE CRÍTICA DO RELATÓRIO R2***Empreendimento: Seccionamento, em circuito duplo, da LT 500 kV Samambaia – Itumbiara, C1***

Reatância mútua (Ω/km)	0,6609		
Susceptância mútua ($\mu\text{S}/\text{km}$)	-0,9351		
Reatores de linha (extremidade; Mvar; tipo: fixo/manobrável)	-		
Capacitor série (extremidade; Mvar; reatância - Ω ; grau de compensação da LT - %)	-		
Cenário(s) utilizado(s) no cálculo do equivalente de rede	-		
Fluxo máximo na linha considerado no estudo (MVA)	1300 (Normal); 2110 (Emergência)		
OBSERVAÇÕES			

ANÁLISE CRÍTICA DO RELATÓRIO R2

Empreendimento: LT 500 kV Trindade – Silvânia, C1, em circuito simples

Característica da Instalação	Recomendações R1	Considerações do R2	Justificativas em Caso de Alterações no R2
Comprimento do circuito (km)	155		
Condutor utilizado (tipo e número por fase)	4 x RAIL (954 MCM)		
Capacidade operativa de longa duração (A)	3291		
Capacidade operativa de curta duração (A)	4000		
<i>Parâmetros de sequência positiva, 60 Hz</i> Resistência, a 50° C (Ω /km)	0,0173		
Reatância (Ω /km)	0,3081		
Susceptância (μ S/km)	5,3207		
Parâmetros de Mútuas, se aplicável (*)	-		
<i>Parâmetros de sequência zero, 60 Hz</i> Resistência, a 50° C (Ω /km)	0,3383		
Reatância (Ω /km)	1,4255		
Susceptância (μ S/km)	3,0055		
Parâmetros de Mútuas, se aplicável (*)	-		
Reatores de linha (extremidade; Mvar; tipo: fixo/manobrável)	Trindade; 60 Mvar; fixo Silvânia; 60 Mvar; fixo		

ANÁLISE CRÍTICA DO RELATÓRIO R2***Empreendimento: LT 500 kV Trindade – Silvânia, C1, em circuito simples***

Capacitor série (extremidade; Mvar; reatância - Ω ; grau de compensação da LT - %)	-		
Cenário(s) utilizado(s) no cálculo do equivalente de rede	-		
Fluxo máximo na linha considerado no estudo (MVA)	1010 (Normal); 1270 (Emergência)		
OBSERVAÇÕES			

(*) a ser especificado, caso a caso

15 NT DEA 002/19