

ESTUDO DE INTERFERENCIA ELETROMAGNETICA

REDES DO SUL – ETAPA III - SIDEROPOLIS A COCAL DO SUL

1	12/10/24	LIBERADO PARA CONSTRUÇÃO	MAAS	ANDRÉS	REYNALDO
A	12/08/24	EMIÇÃO INICIAL	MAAS	ANDRÉS	REYNALDO
0	28/03/24	EMIÇÃO INICIAL	MAAS	ANDRÉS	REYNALDO
REV.	DATA	NATUREZA DA REVISÃO	ELAB.	VERIF.	APROV.

CLIENTE:		CONTRATADA:	
			
EMPREENHIMENTO:			
REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL DO ESTADO DE SANTA CATARINA			
ÁREA:			
REGIÃO "D" – SUL CATARINENSE			
TÍTULO:			
ESTUDO DE INTERFERENCIA ELETROMAGNETICA - REDES DO SUL ETAPA III – SIDERÓPOLIS – NOVA VENEZA			
ELABORADO:	VERIFICADO:	APROVADO:	R. TEC.: CREA N°:
MAAS	ANDRÉS	REYNALDO	Reynaldo 5062105570/D
CÓDIGO DOS DESCRITORES	DATA	FOLHA:	DE
NÃO APLICAVEL	28/03/2024	1	91
N° DO DOCUMENTO			REVISÃO
RE-44.330.LMT.116			1

 Engenharia & Proteção Catódica	RELATÓRIO TÉCNICO					Nº RE-44.330.LMT.116			
	CLIENTE: SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA					FOLHA: 1 DE 34			
	PROGRAMA / EMPREENDIMENTO: REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL					REV. 5		CÓD. / CLIENTE:	
	ÁREA: REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III					Nº CONTRATO:			
TÍTULO: ESTUDO DE INTERFERENCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC									
 engenharia e consultoria					 COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA				
ÍNDICE DE REVISÕES									
Rev.	DESCRIÇÃO E / OU FOLHAS ATINGIDAS								
Ø	EMIÇÃO ORIGINAL PARA APROVAÇÃO APROVAÇÃO – RESPONSÁVEL TÉCNICO  MAAS Engenharia & Proteção Catódica Eireli Sidnei Roberto Maas Engenheiro Eletricista CREA. 5062132/402 Data: 12/06/2024								
	REV. Ø	REV. A	REV. B	REV. C	REV. D	REV. E	REV. F	REV. G	REV. H
DATA:	12/06/2024	20/08/2024	4/09/2024	20/09/2024	02/10/2024				
PROJETO:	MAAS	MAAS	MAAS	MAAS	MAAS				
EXECUÇÃO:	SIDNEI	SIDNEI	SIDNEI	SIDNEI	SIDNEI				
VERIFICAÇÃO:	SIDNEI	SIDNEI	SIDNEI	SIDNEI	SIDNEI				
APROVAÇÃO:	AMAURI	AMAURI	AMAURI	AMAURI	AMAURI				
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DOCUMENTO SÃO DE PROPRIEDADE DO(S) RESPECTIVO(S) CONTRATANTE(S), SENDO PROIBIDA UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE.									

**RELATÓRIO TÉCNICO**

Nº

RE-44.330.LMT.116

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

2 DE 34

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

5

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III

Nº CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

SUMÁRIO

1	OBJETIVO	6
2	ESCOPO DE ABRANGÊNCIA E LIMITE DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA	7
3	VALIDADE DO ESTUDO	7
4	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	7
5	DEFINIÇÕES	8
6	EQUIPE TÉCNICA.....	9
7	INSTRUMENTOS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	9
8	METODOLOGIA E CRITÉRIOS.....	9
8.1	Levantamento de dados de campo	9
8.2	Desenvolvimento do estudo.....	10
8.3	Critérios de segurança.....	12
8.3.1	Zona de interferência.....	12
8.3.2	Limite de suportabilidade do revestimento isolante	12
8.3.3	Limites de tensões de toque e passo de curta duração	13
8.3.4	Rigidez dielétrica das juntas isolantes	14
8.3.5	Tensão de acionamento dos supressores de surtos.....	14
8.3.6	Limite de suportabilidade dos equipamentos retificadores.....	14
9	CARACTERIZAÇÃO DAS APROXIMAÇÕES	15
9.1	Descrição geral das instalações	15
9.2	Parâmetros dos dutos.....	16
9.3	Relação de pontos de afloramento	17
9.4	Relação de juntas isolantes	17
9.5	Relação de retificadores	18
9.6	Parâmetros das LTs 69 KV da CELESC E COOPERCOCAL.....	18
9.6.1	Características gerais da LTS	18
9.6.2	Características das subestações terminais.....	18
9.6.3	Resistividade elétrica do solo e resistências de aterramento	19
9.6.4	Configuração do sistema de aterramento	19
9.6.5	Geometria das torres.....	20

**RELATÓRIO TÉCNICO**

N°

RE-44.330.LMT.116

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

3 DE 34

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

5

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III

N° CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

10 ANÁLISE DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS EM REGIME TRANSITÓRIO	26
10.1 Premissas de cálculo	26
10.2 Estudo da aproximação entre o Gasoduto 8” e os vãos entre as torres 5-6, 3-4, 5-6, 80-86	26
10.2.1 Geometria da aproximação	26
10.2.2 Distribuição de correntes de falta na LT	26
10.3 Conclusões do estudo em regime transitório	27
10.4 Recomendações e mitigações de interferências em regime de curto-circuito	28
11 ANÁLISE DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS EM REGIME PERMANENTE.....	28
11.1 Premissas de cálculo.....	28
11.2 Distribuição de tensões induzidas.....	29
11.3 Conclusões do estudo em regime permanente	30
12 RECOMENDAÇÕES PARA MITIGAÇÃO DE RISCOS EM REGIME PERMANENTE.....	30
13 RECOMENDAÇÕES DE CARÁTER GERAL	31
13.1 Medidas relativas à segurança durante a construção e manutenção dos dutos	31
13.2 Uso de equipamentos de proteção individual – EPIs.....	32
13.3 Sinalização de travessias de linhas de transmissão sobre dutos.....	33
13.4 Detecção e mitigação de interferências com o sistema de Proteção Catódica	33
ANEXO A.....	34

**RELATÓRIO TÉCNICO**

N°

RE-44.330.LMT.116

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

4 DE 34

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

5

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III

N° CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Integrantes da equipe técnica da CONTRATADA	9
Tabela 2 - Instrumentos e equipamentos utilizados	9
Tabela 3 - Identificação do cruzamento entre LTs e o sistema em estudo	16
Tabela 4 - Características do Gasoduto 8”	16
Tabela 5 – Relação de pontos de afloramento	18
Tabela 6 - Características técnicas das LTs 69 KV da Copercocal e Celesc.....	18
Tabela 7 - Níveis de curto-circuito considerados e resistência de aterramento nas subestações terminais para a(s) linha(s) da COOPERCOCAL E CELESC DE 69 KV ...	19
Tabela 8 – localização das torres próximas ao duto.....	31
Tabela 9 - Distâncias de segurança em função da tensão da LT	32

**RELATÓRIO TÉCNICO**

Nº

RE-44.330.LMT.116

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

5 DE 34

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

5

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III

Nº CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Ilustração do arranjo de Wenner (quatro pinos)	10
Figura 2 - Zona de interferência eletromagnética	12
Figura 3 - Ilustração conceitual das tensões de stress e toque	13
Figura 4 - Visão geral dos cruzamento e aproximação com o Gasoduto das LTs da Celesc e Coopercocal	15
Figura 5 - Esquema de contrapesos típico	20
Figura 6 – Diagrama de aproximação	22
Figura 7 - Geometria da torre típica Caso 1 - LT 69KV Forquilha / Sideropolis	22
Figura 8 - Geometria da torre típica Caso 1 - LT 69KV Criciúma / Sideropolis	22
Figura 9 - Geometria da torre típica Caso 1 - LT 69KV Criciúma Floresta / Sideropolis ESUL	22
Figura 10 - Geometria da torre típica Caso 1 - LT 69KV coopercocal	22

**RELATÓRIO TÉCNICO**

Nº

RE-44.330.LMT.116

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

6 DE 34

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

5

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III

Nº CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

1 OBJETIVO

- 1.1. Este documento é desenvolvido pela **MAAS ENGENHARIA & PROTEÇÃO CATÓDICA** a serviço da **LIMA & TORRES ENGENHARIA** e tem por objetivo apresentar o estudo de interferências eletromagnéticas entre a(s) linha(s) de transmissão e o gasoduto em fase de projeto identificados no quadro abaixo, visando à detecção de possíveis anomalias e violações dos critérios de segurança admissíveis, para adoção de medidas de caráter corretivo e/ou preventivo, no intuito de assegurar a integridade das instalações e de pessoas.
- 1.2. Este volume contém o estudo com parecer técnico conclusivo e recomendações para o(s) seguinte(s) caso(s) de interferência:

EMPRESA INTERFERIDA

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

ESTRUTURA INTERFERENTE

CELESC - LT 69 KV FORQUILHINHA – SIDEROPOLIS
CELESC -LT 69 KV CRICIUMA – SIDEROPOLIS ESUL – C1 E C2
CELESC -LT 69 KV CRICIUMA FLORESTA – SIDEROPOLIS
COOPERCOCAL - LT 69 KV SIDEROPOLIS RB - COOPERCOCAL

EMPRESA INTERFERENTE

CELESC
COOPERCOCAL

Caso 01: CRUZAMENTO 1 entre o Gasoduto REGIÃO D – SUL CATARINENSE – ETAPA 3 e a LT 69 KV da Celesc Forquilha / Sideropolis no vão entre as torres de nº. 5 e 6, no município de Sideropolis/ SC, com simulação de falta fase-terra na torre 5.

Caso 02: CRUZAMENTO 2 entre o Gasoduto REGIÃO D – SUL CATARINENSE – ETAPA 3 e a LT 69 KV da Celesc Criciuma / Sideropolis ESUL C1 E C2 no vão entre as torres de nº. 5 e 6, no município de Sideropolis/ SC, com simulação de falta fase-terra na torre 5.

Caso 03: CRUZAMENTO 3 entre o Gasoduto REGIÃO D – SUL CATARINENSE – ETAPA 3 e a LT 69 KV da Celesc Criciuma Floresta / Sideropolis ESUL no vão entre as torres de nº. 3 e 4, no município de Sideropolis/ SC, com simulação de falta fase-terra na torre 3.

Caso 04: PARALELISMO 1 entre o Gasoduto REGIÃO D – SUL CATARINENSE – ETAPA 3 e a LT 69 KV Sideropolis RB / Coopercocal no vão entre as torres de nº. 80 e 86, no município de Sideropolis/ SC, com simulação de falta fase-terra na torre 80.

Caso 05: PARALELISMO 1 CASO MITIGADO entre o Gasoduto REGIÃO D – SUL CATARINENSE – ETAPA 3 e a LT 69 KV Sideropolis RB / Coopercocal no vão entre as torres de nº. 80 e 86, no município de Sideropolis/ SC, com simulação de falta fase-terra na torre 80

- 3.1. Apresenta-se no ANEXO A, como parte integrante e assumido como inteiramente transcrito no corpo deste documento, os relatórios sintéticos das linhas de 69KV da Celesc ROW-1033K3S6, ROW-1034W0G2, ROW-1035W5F3 e da Coopercocal ROW-1020X5K9 e caso mitigado Coopercocal ROW-1052L3W0 e que contém os resultados numéricos obtidos nas simulações computacionais realizadas e que norteiam as conclusões e recomendações propostas neste texto.

**RELATÓRIO TÉCNICO**

Nº RE-44.330.LMT.116

CLIENTE:
SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINAFOLHA:
7 DE 34PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:
REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURALREV. 5
CÓD. / CLIENTE:ÁREA:
REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III

Nº CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

2 ESCOPO DE ABRANGÊNCIA E LIMITE DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA

- 2.1. A responsabilidade técnica da **CONTRATADA** no contexto deste estudo é restrita às medições de resistividade em campo e construção de modelos de simulação computacional utilizando os dados fornecidos pela(s) **concessionária(s) de distribuição/transmissão de energia elétrica**, e, com base nos resultados obtidos, tecitura de conclusões e propositura de ações mitigadoras, se aplicável, face ao preconizado pelas normas técnicas, nacionais e internacionais, vigentes. A **CONTRATANTE** é única e integralmente responsável pela validade dos dados fornecidos, entendidos como premissas de cálculo, como descrito adiante.

3 VALIDADE DO ESTUDO

- 3.2. Os resultados apresentados neste documento refletem as condições de carregamento do sistema elétrico de potência em um horizonte de planejamento de 10 (dez) anos, conforme informações disponibilizadas pela concessionária quando do desenvolvimento do relatório. Este estudo deverá ser reavaliado após este período, bem como nos casos de ampliação da carga instalada, aumento das potências de curto-circuito, recondutoramento da LT ou qualquer outra alteração dos dados apresentados no item 0, admitidos como premissas.

4 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

- 4.1. Os documentos abaixo indicados norteiam a execução deste trabalho e contém referências e prescrições válidas para todo o texto:

- [1] Memorial Descritivo do Sistema de Proteção Catódica.
- [2] Características Técnicas e Parâmetros Elétricos das LTs.
- [3] NBR-7117 – Norma Técnica ABNT: Medição de Resistividade do Solo Pelo Método dos Quatro Pontos (Wenner).
- [4] NBR-5410 – Norma Técnica ABNT: Instalações Elétricas de Baixa Tensão.
- [5] NBR-5422 – Norma Técnica ABNT: Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica.
- [6] NBR-8449 – Norma Técnica ABNT: Dimensionamento de Cabos Pára-raios para Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica.
- [7] NBR-7276 – Norma Técnica ABNT: Sinalização de Advertência em Linha Aérea de Transmissão de Energia Elétrica – Procedimento.
- [8] NBR-15751 – Norma Técnica ABNT: Sistemas de Aterramento de Subestações – Requisitos.
- [9] Portaria MTE nº. 3214 de 08/06/1978 – Norma Regulamentadora nº. 10 (NR-10): Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade.
- [10] EPRI/A.G.A Project 1494-1 – F. Dawalibi: *Transmission Line Grounding*.
- [11] EPRI/A.G.A Project RP742-1/PR-132-80 – J. Dabkowski, A. Taflove: *Mutual Design Considerations for Overhead AC Transmission Lines and Gas Transmission Pipelines Vol. 1 – Engineering Analysis*.
- [12] EPRI/A.G.A Project RP742-1/PR-132-80 – J. Dabkowski, A. Taflove: *Mutual Design Considerations for Overhead AC Transmission Lines and Gas Transmission Pipelines Vol. 2 – Prediction and Mitigation Procedures*.

	RELATÓRIO TÉCNICO		Nº RE-44.330.LMT.116		
	CLIENTE: SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA			FOLHA: 8 DE 34	
	PROGRAMA / EMPREENDIMENTO: REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL			REV. 5	CÓD. / CLIENTE:
	ÁREA: REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III			Nº CONTRATO:	
TÍTULO: ESTUDO DE INTERFERENCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC					
[13] EPRI/A.G.A Project RP742-4/PR-176-510 – F. Dawalibi, R. D. Southey: <i>Power Line Fault Current Coupling to Nearby Natural Gas Pipelines – Analytical Methods and Graphical Techniques.</i> [14] IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, No. 2, April 1990 – T. Takahashi, T. Kawase: <i>Analysis of Apparent Resistivity in a Multi-Layer Earth Structure.</i> [15] CDEGS Users’ Group Conference Proceedings, June 2013 – R. M. Bass, F. P. Dawalibi, Y. Li, S. Fortin, H. Zhou: <i>Investigation of AC Leakage Current Density in Electrically Heated Subsea Pipelines as a Function of Pipeline Parameters.</i> [16] SP-0177-2007 – Norma Técnica NACE: <i>Mitigation of Alternating Current and Lightning Effects on Metallic Structures and Corrosion Control Systems.</i> [17] RP-0169 – Norma Técnica NACE: <i>Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems.</i> [18] TG-327 – Relatório NACE: <i>AC Corrosion State-of-the-Art: Corrosion Rate, Mechanism, and Mitigation Requirements.</i> [19] ANSI / IEEE STD. 80 – 2000: IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding. [20] WG-36.02 – Publication n. 95: <i>Guide on the Influence of High Voltage AC Power Systems on Metallic Pipelines.</i> 5 DEFINIÇÕES 5.1. Para os propósitos dos documentos que integram este relatório de estudo de interferências eletromagnéticas são adotadas as seguintes definições: Sistema interferente: Termo geral para designar uma linha de transmissão de energia elétrica ou sistema de tração AC em alta tensão. LT: Linha de transmissão de energia elétrica. Sistema interferido: Estrutura na qual se observam os efeitos das interferências elétricas, i.e. o duto metálico e todos os equipamentos associados. Circuito vítima: O mesmo que sistema interferido. Epicentro: Ponto de intersecção, no plano, entre o sistema interferente e o sistema interferido, no caso de cruzamento. No caso de paralelismo ou aproximação, corresponde ao ponto contido no sistema interferente que mais se aproxima do sistema interferido. Regime permanente: Condição normal de operação do sistema de transmissão de energia elétrica. Regime transitório: Condição não intencional causada por curto-circuito monofásico à terra, anterior à atuação dos dispositivos de proteção da linha de transmissão. Acoplamento condutivo: Fenômeno que ocorre quando parte da corrente elétrica proveniente do sistema interferente retorna ao seu aterramento de origem através do sistema interferido. Acoplamento resistivo: O mesmo que acoplamento condutivo. Acoplamento indutivo: Fenômeno que ocorre quando o campo magnético produzido por uma corrente elétrica influencia outro circuito, resultando em tensões e correntes induzidas no sistema interferido.					
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DOCUMENTO SÃO DE PROPRIEDADE DO(S) RESPECTIVO(S) CONTRATANTE(S), SENDO PROIBIDA UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE.					

**RELATÓRIO TÉCNICO**

Nº RE-44.330.LMT.116

CLIENTE:
SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINAFOLHA:
9 DE 34PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:
REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURALREV.
5
CÓD. / CLIENTE:ÁREA:
REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III

Nº CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

Acoplamento magnético: O mesmo que acoplamento indutivo, usualmente referido no contexto de operação em regime permanente.

Acoplamento capacitivo: Fenômeno que ocorre quando o campo elétrico produzido por um condutor energizado influencia outro circuito, resultando em tensões entre as partes isoladas do circuito vítima e a terra.

Tensão de toque: Diferença de potencial entre uma estrutura metálica aterrada e um ponto da superfície do solo separado por uma distância horizontal equivalente ao alcance normal do braço de uma pessoa, por definição considerada igual a 1,0 m.

Tensão de passo: Diferença de potencial entre dois pontos da superfície do solo separados pela distância de um passo de uma pessoa, considerada igual a 1,0 m.

Tensão no solo: Elevação de potencial do solo ocorrida quando uma corrente elétrica flui para a terra por meio de uma estrutura de aterramento.

Tensão de stress ou de solicitação: Diferença de potencial elétrico entre o metal do circuito interferido e o solo adjacente, normalmente imposta ao seu revestimento isolante.

6 EQUIPE TÉCNICA

Tabela 1 - Integrantes da equipe técnica da CONTRATADA

Nome	Função
Sidnei Roberto Maas	Responsável Técnico
Amauri Gutierrez Brito	Consultor Técnico Externo

7 INSTRUMENTOS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Tabela 2 - Instrumentos e equipamentos utilizados

Equipamento	Fabricante / Modelo	Nº Série
Terrômetro Digital	MEGABRÁS MTD-20KWe	MI 9018 E

8 METODOLOGIA E CRITÉRIOS

8.1 Levantamento de dados de campo

8.1.1. Foi realizado o levantamento de resistividade elétrica do eletrólito nas proximidades das estruturas mais próximas de cada ponto de cruzamento ou paralelismo, ao longo de 03 (três) eixos distintos, empregando o método dos quatro pinos (Wenner), em conformidade com o disposto na norma ABNT NBR-7117, para as profundidades “a” equivalentes a: 1,0 m; 2,0 m; 4,0 m; 8,0 m; 16,0 m; e 32,0 m.

8.1.2. Caso verificado aumento da resistividade aparente na última medição (32 m), em relação à curva de tendência, foi realizada uma medição adicional, para a profundidade 64,0 m.

8.1.3. Caso mais de duas amostras de resistência aparente tenham apresentado desvio superior a 50% em relação à média, foi realizado o levantamento ao longo de um terceiro

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

eixo, contido na bissetriz entre os dois eixos inicialmente escolhidos, para as mesmas profundidades indicadas acima.

- 8.1.4. Os eletrodos foram cravados a uma profundidade “b” igual a 20 cm, conforme arranjo ilustrado na figura seguinte:

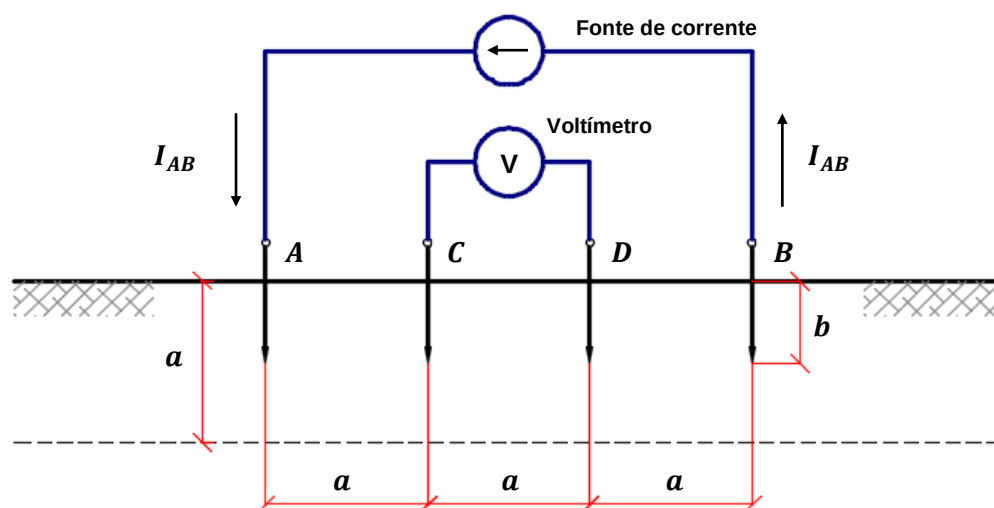


Figura 1 - Ilustração do arranjo de Wenner (quatro pinos)

- 8.1.5. Os eixos de medição foram escolhidos conforme recomendado no item 5.1.3.1 da norma ABNT NBR-7117 e no sentido de abranger a maior região de cobertura possível, tendo sido evitadas configurações que pudessem introduzir interferências nos valores das leituras, seja por proximidade com condutores metálicos eventualmente presentes, assim como por acoplamento indutivo com redes elétricas energizadas.

8.2 Desenvolvimento do estudo

- 8.2.1. O estudo foi realizado utilizando os módulos computacionais RESAP, TRALIN, SPLITS e MALZ, integrantes do software Right-Of-Way ver. 15.1.4080.0, desenvolvido pela empresa SES, cujos métodos numéricos mais relevantes são apresentados nos itens seguintes.
- 8.2.2. Todos os arquivos eletrônicos de entrada e saída produzidos pelos programas utilizados são disponibilizados, mediante solicitação do **CONTRATANTE**, para validação independente e/ou visualização na versão demonstrativa do software Right-Of-Way.
- 8.2.3. A partir dos dados de resistividade aparente coletados em campo, foi determinada a estratificação do solo utilizando a formulação completa para a resistividade aparente (Equação 6 da norma ABNT NBR-7117), com modelo multicamadas horizontais, para as regiões adjacentes às estruturas objeto de estudo, sendo desconsideradas as medições com desvio superior a 50%.
- 8.2.4. A modelagem do solo em múltiplas camadas foi realizada por meio da solução numérica do Algoritmo de Sunde, com otimização pelo Método de Levenberg-Marquardt.

	RELATÓRIO TÉCNICO		Nº RE-44.330.LMT.116		
	CLIENTE: SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA			FOLHA: 11 DE 34	
	PROGRAMA / EMPREENDIMENTO: REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL			REV. 5	CÓD. / CLIENTE:
	ÁREA: REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III			Nº CONTRATO:	
TÍTULO: ESTUDO DE INTERFERENCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC					
8.2.5. O solo foi modelado como um elemento anisotrópico, isto é: resistividade variável com a profundidade (estratificação em camadas) e com a direção (posição ao longo da LT e do duto). 8.2.6. Os cálculos de acoplamento indutivo foram realizados pelo Método das Fontes Distribuídas, o qual é baseado na construção e solução fasorial de um circuito elétrico representativo do problema de interferência eletromagnética em termos de paralelismos equivalentes, consoante as diretrizes do EPRI [11]. 8.2.7. O cálculo das impedâncias próprias e mútuas com caminho de retorno pela terra foi realizado por meio da solução analítica da Integral de Carson, assegurando precisão numérica de ponto flutuante, independente da frequência e do afastamento entre os pontos. 8.2.8. Com base nos valores de estratificação obtidos, nas correntes de curto-circuito e nos sistemas de aterramento das torres informados pela(s) concessionária(s), foi determinada a resistência da malha de aterramento de cada estrutura, assim como as elevações de potencial do solo produzidas por acoplamento condutivo, em regime de curto-circuito. 8.2.9. Os cálculos relativos aos parâmetros de malhas de aterramento foram realizados pelo Método da Segmentação-Integração, considerando a fonte e suas imagens complexas, em um modelo de parâmetros distribuídos e meio multicamadas. 8.2.10. Utilizando os parâmetros geométricos do(s) duto(s) em estudo, da(s) linha(s) de transmissão e respectivas torres, características das subestações terminais, parâmetros elétricos dos circuitos e respectivos condutores, resistividade elétrica do solo e resistência de aterramento das torres, e empregando os métodos e softwares descritos nos itens anteriores, foram realizadas simulações de interferências em regime transitório (ocorrência de falta fase-terra nas LTs), para determinação de: ▪ Valores das correntes de falta nas torres e subestações terminais. ▪ Perfil de tensões nas torres das LTs. ▪ Perfil de tensões induzidas na estrutura interferida por acoplamentos indutivo e condutivo. ▪ Perfil de elevação do potencial do solo, em relação ao terra remoto, por acoplamento condutivo. ▪ Perfil de tensões de passo ao longo da estrutura interferida, por acoplamento condutivo. ▪ Perfil de tensões impostas ao revestimento isolante da estrutura interferida por acoplamentos indutivo e condutivo. ▪ Perfil de correntes longitudinais induzidas na estrutura interferida por acoplamentos indutivo e condutivo. 8.2.11. Por meio da comparação dos perfis de tensão resultantes com os critérios adotados, foram avaliados os riscos de: choques elétricos decorrentes de tensões de toque e tensões de passo nos pontos de afloramento dos dutos, danos ao revestimento isolante, ao material dos dutos e à dispositivos conectados eletricamente à estrutura interferida.					
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DOCUMENTO SÃO DE PROPRIEDADE DO(S) RESPECTIVO(S) CONTRATANTE(S), SENDO PROIBIDA UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE.					

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

8.2.12. Caso constatadas violações aos critérios de segurança preceituados, foram propostas ações de mitigação, após o que se realizaram novas simulações computacionais, considerando a aplicação das referidas medidas.

8.3 Critérios de segurança

8.3.1 Zona de interferência

8.3.1.1. O comprimento da zona de interferência é aquele onde a influência eletromagnética é significativa, entendida como distância a partir da qual a força eletromotriz induzida (*fem*) devido a uma corrente de falta com retorno pela terra é superior a 10 V / km x kA. A tensão total induzida em uma estrutura interferida cresce linearmente com o comprimento da exposição (paralelismo), porém, em situações reais, é limitada pela impedância associada à corrente de fuga pelo revestimento isolante do duto a qual, por sua vez, é determinada pela resistividade elétrica do solo.

8.3.1.2. Conforme o CIGRÉ WG-36.02, a zona de influência eletromagnética é definida numericamente em função da resistividade elétrica do solo ρ , como descrito na figura e equação seguintes:

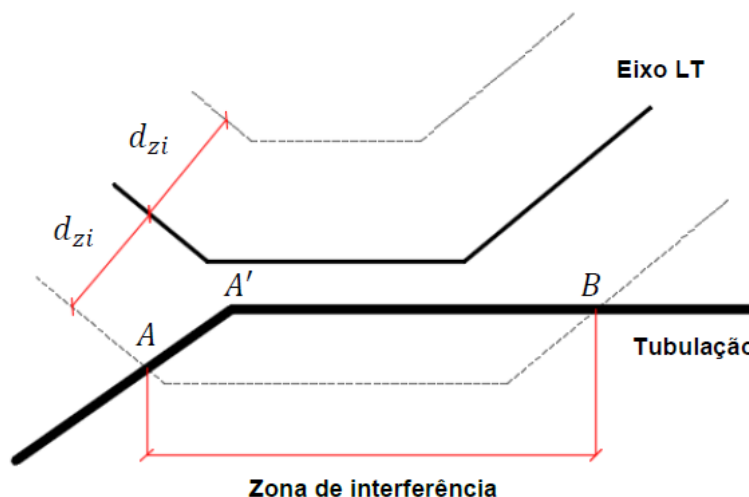


Figura 2 - Zona de interferência eletromagnética

$$d_{zi} = 200\sqrt{\rho}$$

[m]

(1)

8.3.2 Limite de suportabilidade do revestimento isolante

8.3.2.1. O potencial sobre o revestimento isolante, ou tensão de stress, é caracterizado pela diferença de potencial entre o solo e o condutor metálico numa determinada região, sendo numericamente igual à tensão de toque, como ilustrado na figura seguinte.

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

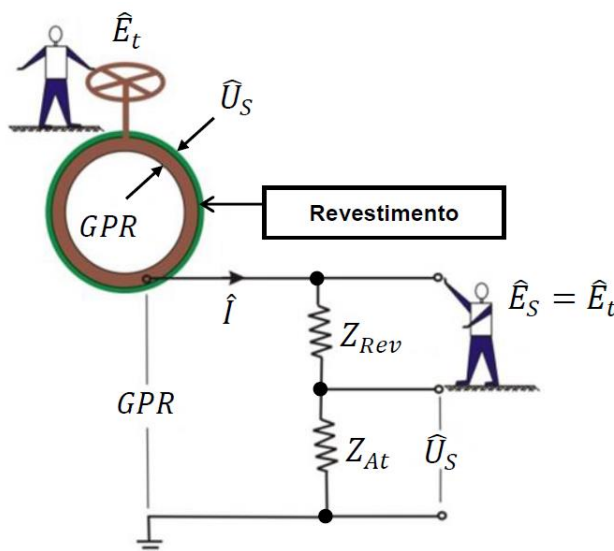


Figura 3 - Ilustração conceitual das tensões de stress e toque

8.3.2.2. Conforme recomendação da NACE [16], o valor limite admissível para diferença de potencial imposta ao revestimento isolante é de 5 kV.

8.3.3 Limites de tensões de toque e passo de curta duração

8.3.3.1. O potencial de toque é a máxima diferença de potencial que pode ocorrer entre o pé e a mão de um indivíduo para que não ocorra fibrilação ventricular pela circulação de corrente. A tensão de toque é caracterizada pela diferença de potencial entre o solo e o condutor metálico exposto, por exemplo, por uma válvula de bloqueio ou um ponto de teste do duto.

8.3.3.2. O potencial de passo é a máxima diferença de potencial que pode ocorrer entre os dois pés de um indivíduo para que não ocorra fibrilação ventricular pela circulação de corrente. A tensão de passo é caracterizada pela diferença de potencial quando os dois pés estão distantes 1 metro e repousam sobre linhas equipotenciais distintas.

8.3.3.3. A norma IEEE Std. 80 [19] estabelece que, para exposições de curta duração, ou seja, entre 30 ms e 3 s, considerando indivíduos com massa corporal de aproximadamente 50 kg, esse critério é observado em 99,5% dos casos para uma corrente máxima suportável I_B calculada como:

$$I_B = \frac{0,116}{\sqrt{t_s}} \quad [\text{A}] \quad (2)$$

em que t_s é o tempo de exposição à corrente de choque, em segundos.

8.3.3.4. Conforme a norma IEEE Std. 80 [19], os limites admissíveis para tensões de toque e passo de curta duração são determinados em função da corrente máxima suportável, definida na equação acima, por meio das expressões:

	RELATÓRIO TÉCNICO		N° RE-44.330.LMT.116		
	CLIENTE: SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA			FOLHA: 14 DE 34	
	PROGRAMA / EMPREENDIMENTO: REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL			REV. 5	CÓD. / CLIENTE:
	ÁREA: REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III			N° CONTRATO:	
TÍTULO: ESTUDO DE INTERFERENCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC					
$E_{t,máx} = (R_B + R_{2Fp}) \times I_B \quad [V] \quad (3)$ $E_{p,máx} = (R_B + R_{2Fs}) \times I_B \quad [V] \quad (4)$ em que $E_{t,máx}$ é a máxima tensão de toque admissível, em volts; $E_{p,máx}$ é a máxima tensão de passo admissível, em volts; R_B é a resistência elétrica representativa do corpo humano, em ohms, considerada igual a 1000 Ω; R_{2Fp} é a resistência representativa dos dois pés do indivíduo em paralelo, em ohms; e R_{2Fs} é a resistência representativa do percurso entre os dois pés do indivíduo, em ohms. 8.3.3.5. As resistências R_{2Fp} e R_{2Fs} são calculadas como: $R_{2Fp} = 1,5 \times C_s \times \rho_s \quad [\Omega] \quad (5)$ $R_{2Fs} = 6 \times C_s \times \rho_s \quad [\Omega] \quad (6)$ $C_s \cong 1 - 0,106 \times \left[\frac{1 - \frac{\rho_1}{\rho_s}}{2 \times h_s + 0,106} \right] [m^{-1}] \quad (7)$ em que ρ_s é a resistividade do material de recobrimento do solo, em ohms.metro, sendo considerada a faixa de 10.000 $\Omega.m$ para brita granítica n°. 4 recoberto com cimento alisado. 8.3.4 Rigidez dielétrica das juntas isolantes 8.3.4.1. É considerado, para as juntas isolantes, o limite de rigidez dielétrica de 3 kV. 8.3.5 Tensão de acionamento dos supressores de surtos 8.3.5.1. É considerada a tensão de acionamento dos supressores de surtos igual a 2,5 kV. 8.3.6 Limite de suportabilidade dos equipamentos retificadores 8.3.6.1. É considerado o parâmetro de rigidez dielétrica mínima de 1,5 kV @ 60 Hz pelo período de 1 minuto, entre cada circuito do retificador e o respectivo gabinete. 8.3.6.2. Os equipamentos retificadores são considerados dotados de supressores de surtos (varistores) de, no mínimo, 40 kA, entre os terminais positivo e negativo.					
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DOCUMENTO SÃO DE PROPRIEDADE DO(S) RESPECTIVO(S) CONTRATANTE(S), SENDO PROIBIDA UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE.					

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERENCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

9 CARACTERIZAÇÃO DAS APROXIMAÇÕES

9.1 Descrição geral das instalações

9.1.1. As instalações objeto de estudo são as estruturas metálicas enterradas e aéreas pertencentes à SCGÁS que serão passíveis de interferência eletromagnética por influência da linha de transmissão em alta tensão operada pelas concessionárias CELESC e denominadas: LT 69 KV FORQUILHINHA – SIDEROPOLIS, LT 69KV SIDEROPOLIS CRICIUMA, LT 69KV FLORESTA CRICIUMA SIDEROPOLIS e COOPERCOCAL LT 69 KV SIDEROPOLIS RB - COOPERCOCAL

9.1.2. As figuras seguintes ilustram a topologia dos sistemas em estudo, posicionamento da(s) linha(s) de transmissão, estruturas e, ainda, os cruzamentos e/ou faixas de paralelismo:

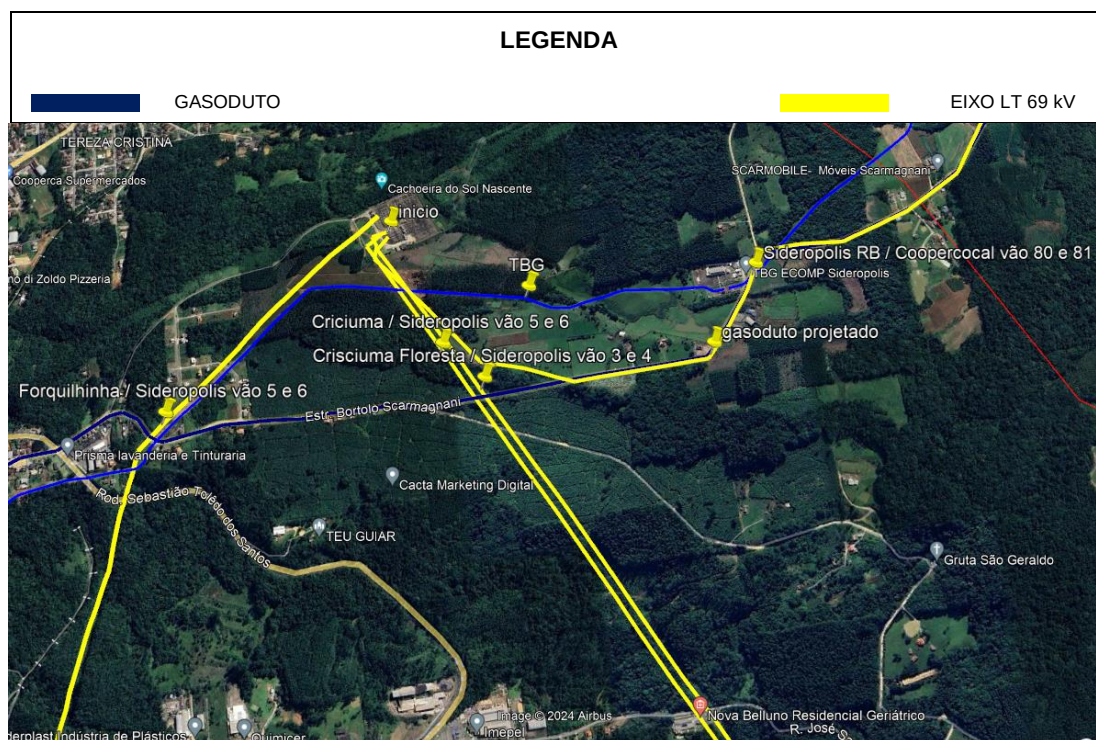


Figura 4 - Visão geral dos cruzamento e aproximação com o Gasoduto das LTs da Celesc e Coopercocal

9.1.3. Todas as coordenadas geográficas contidas neste estudo são apresentadas em projeção UTM, referenciadas ao Datum SIRGAS 2000 e expressas em metros.

9.1.4. Ocorrem as seguintes aproximações entre as instalações em estudo e as linhas de transmissão de transmissão/distribuição de energia elétrica em alta tensão:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

Tabela 3 - Identificação do cruzamento entre LTs e o sistema em estudo

CAS O	Identificação LT / Vão	Duto	Concecionaria	Ângulo / distancia da aproximação	X	Y	Tipo
1	LT 69 KV FORQUILHINH A / SIDEROPOLIS / 5 - 6	REGIÃO D – ETAPA III	CELESC	89°	654680.55	6834599.54	Cruzamento
2	LT 69KV CRICIUMA / SIDEROPOLIS ESUL C1 E C2 / 3 e 4	REGIÃO D – ETAPA III	CELESC	64°	655450.75	6834584.31	Cruzamento
3	LT 69KV CRICIUMA FLORESTA / SIDEROPOLIS ESUL / 5 e6	REGIÃO D – ETAPA III	CELESC	64°	655465.87	6834592.22	Cruzamento
4	LT 69 KV SIDEROPOLIS RB – COOPERCOCAL / 80 e 86	REGIÃO D – ETAPA III	COOPERCOCAL	5,1m	656344.66	6834747.09	Paralelismo
5	LT 69 KV SIDEROPOLIS RB – COOPERCOCAL / 01 e 80	REGIÃO D – ETAPA IV	COOPERCOCAL	5,1m	656344.66	6834747.09	Paralelismo caso mitigado

9.1.5. Registre-se que a despeito de a tabela anterior, bem como o item 1.2, indicarem explicitamente os cruzamentos envolvendo os vãos 5-6, 3-4, 5-6 e 80-86, o modelo geométrico construído no software de simulação contempla o traçado completo dos dutos envolvidos no estudo, cujas coordenadas foram extraídas diretamente do sistema GIS mantido pela **SCGÁS**, bem como a extensão total da linha de transmissão, conforme projeto executivo. Em outras palavras, os resultados apresentados neste relatório abrangem todos os efeitos de acoplamento eletromagnético entre as instalações envolvidas, independente de distância e tipo de aproximação (cruzamentos, paralelismos e obliquidades).

9.2 Parâmetros dos dutos

9.2.1. Os dados dos dutos utilizados nos cálculos, bem como os limites de abrangência do domínio de estudo, em cada caso, são sumarizados nas tabelas seguintes:

Tabela 4 - Características do Gasoduto Região D – Etapa 3

Marco Inicial	E = 647438.55; N = 6830275.61
Marco Final	E = 656311.03; N = 6834766.60

**RELATÓRIO TÉCNICO**

N°

RE-44.330.LMT.116

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

17 DE 34

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

5

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III

N° CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

Diâmetro Externo	8"
Espessura	0,250"
Extensão Aproximada	~ 7,9 km
Profundidade Instalação	Considerado 1,5 m (média)
Resistividade Aço	1,72E-7 Ω .m / 10 p.u.
Permeabilidade Magnética Aço	3,77E-4 H/m / 300 p.u.
Esp. Camada Isolante	Considerado 3,0 mm
Resistividade Camada Isolante	2E+7 Ω .m

9.3 Relação de pontos de afloramento

9.3.1. Os pontos de afloramento do Gasoduto em estudo são listados na tabela seguinte:

Tabela 5 - Relação de pontos de afloramento

Nº.	Identificação	X	Y
1	ETC 09 / PTJI 01	647440.223	6830274.379
2	VB-01	647034.448	6831496.755
3	PTCP-01	647138.030	6831700.924
4	VB-02	648598.519	6832124.876
5	PTCP-02	648974.859	6832270.123
6	VB-03	650357.668	6832389.075
7	PTCP-03	650854.481	6832218.629
8	VB-04	651840.604	6832902.195
9	PTCP-04	652474.120	6833255.306
10	VB-05	653132.090	6833914.118
11	PTCP-05	653875.432	6834495.909
12	ERP-48 – PTMI-03 - PTJI 02	654335.229	6834541.382
13	PTMI-02	654597.153	6834508.565
14	VB-06	655209.815	6834490.452
15	PTCP-06	655752.406	6834463.668
16	PTMI-01	656351.196	6834740.195
17	ECP-10 / PTJI 03	656357.364	6834689.569

9.4 Relação de juntas isolantes

9.4.1. Foram verificadas juntas de isolamento elétrico instalados no domínio de estudo considerado.

**RELATÓRIO TÉCNICO**

Nº RE-44.330.LMT.116

CLIENTE:
SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINAFOLHA:
18 DE 34PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:
REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURALREV.
5 Cód. / CLIENTE:ÁREA:
REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III

Nº CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

9.5 Relação de retificadores

9.5.1. Não se verificam retificadores instalados no domínio de estudo considerado, será instalado retificador de proteção catódica no projeto da etapa IV.

9.6 Parâmetros das LTs 69 KV da CELESC E COOPERCOCAL**9.6.1 Características gerais da LTS**

9.6.1.1. A tabela seguinte resume as características gerais da linha de transmissão, extraídas de [2]:

Tabela 6 - Características técnicas das LTs 69 KV da Celesc e Cooperco

Concessionária	Celelesc	Celelesc	Celelesc	Cooperco
Linha de transmissão	LT 69KV Criciúma / Forquilha / Siderópolis	LT 69KV Criciúma / Siderópolis – ESUL C1 e C2	LT 69KV Criciúma Floresta / Siderópolis	LT 69 KV Siderópolis RB / Cooperco
Comprimento	18,06km	12,22km	8,94km	10,85km
Total de Estruturas	81	67	47	92
Altura Mín. Solo	8,0 m	8,0 m	8,0 m	20
Faixa de Servidão	20,0 m	17,0 m	17,0 m	Lateral da via
Cabo Fase	01 x 477 CAA HAWK	01 x 397,5 CAA IBIS	01 x 397,5 CAA IBIS	01 x CAA 636 MCM ORCHID
Cabo Para-Raios	1 x Cabo de aço HS 5/16"	1 x Cabo de OPGW - 6F - PIRELLI	1 x Cabo de aço HS 5/16	01 X OPGW – 36 FO
Tipo de Circuito	SIMPLES	DUPLO	SIMPLES	SIMPLES
Vão Médio	222,42 m	182,46 m	190,28 m	118 M
Aterramento Típico	Circular raio de 1,80 m – Cabo 5/16 HS	Circular raio de 1,80 m – Cabo 5/16 HS	Circular raio de 1,80 m – Cabo 5/16 HS	Circular raio de 1,80 m – Cabo 5/16 HS
Corrente Nominal	670 A / Fase	720 A / Fase	590 A / Fase	745 A / Fase
Corrente Máxima	670 A / Fase	720 A / Fase	590 A / Fase	987 A / Fase
Tempo Atuação Proteção	50 ms (pior situação)	50 ms (pior situação)	50 ms (pior situação)	500 ms (pior situação)

9.6.2 Características das subestações terminais

9.6.2.1. A figura seguinte resume os níveis de curto-circuito adotados para o estudo e resistências de aterramento nas subestações, conforme [2]:

**RELATÓRIO TÉCNICO**

Nº

RE-44.330.LMT.116

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

19 DE 34

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

5

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III

Nº CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

Tabela 7 - Níveis de curto-circuito considerados e resistência de aterramento nas subestações terminais para a(s) linha(s) CELESC 69 Kv e COOPERCOCAL 69KV

CASO	SUBESTAÇÃO	TRIFÁSICO		MONOFÁSICO		R=
		MÓD.	∠	MÓD.	∠	
CASO 1 - LT 69KV FORQUILHINHA / SIDEROPOLIS	FORQUILHINHA	2,3 kA	0	1,62 kA	0	5 Ω
	SIDNEROPOLIS	15,34 kA	0	12,77 kA	0	5 Ω
CASO 2 - LT 69KV CRICIUMA / SIDEROPOLIS	CRICIUMA C1 E C2	1,54 kA	0	1,23 kA	0	5 Ω
	SIDEROPOLIS C1 E C2	19,35 kA	0	16,52 kA	0	5 Ω
CASO 3 - LT 69KV CRICIUMA FLORESTA / SIDEROPOLIS ESUL	CRICIUMA FLORESTA	0 kA	0	0 kA	0	5 Ω
	SIDEROPOLIS	19,04 kA	0	16,86 kA	0	5 Ω
CASO 4 - LT 69 KV SIDEROPOLIS RB / COOPERCOCAL	SE - SRP	-	-	5,3 kA	-103,89°	0,1 Ω
	SE - CPC	-	-	2,4 kA	-92,35°	0,1 Ω

9.6.3 Resistividade elétrica do solo e resistências de aterramento

- 9.6.3.1. As medições de resistividade elétrica aparente são apresentadas nos **ANEXOS A1, 2, 3, 4** do presente relatório.
- 9.6.3.2. Para simulações de curto-circuito, a impedância de falta é considerada igual a 0,001 Ω.
- 9.6.3.3. Para estudos de distribuição de corrente nos condutores para-raios, é considerada 15 Ω a resistência de aterramento para as torres do sistema.
- 9.6.3.4. Para estudos de elevação de potencial do solo (acoplamento condutivo), as resistências de aterramento das torres/subestações são efetivamente calculadas pelo programa de simulação, a partir da geometria dos condutores de aterramento e do valor local da resistividade elétrica do solo, sendo efetivamente utilizado o pior valor entre o calculado e a referência de 5 Ω recomendada pela concessionária.

9.6.4 Configuração do sistema de aterramento

- 9.6.4.1. A figura seguinte representa a configuração típica dos condutores contrapeso:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERENCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

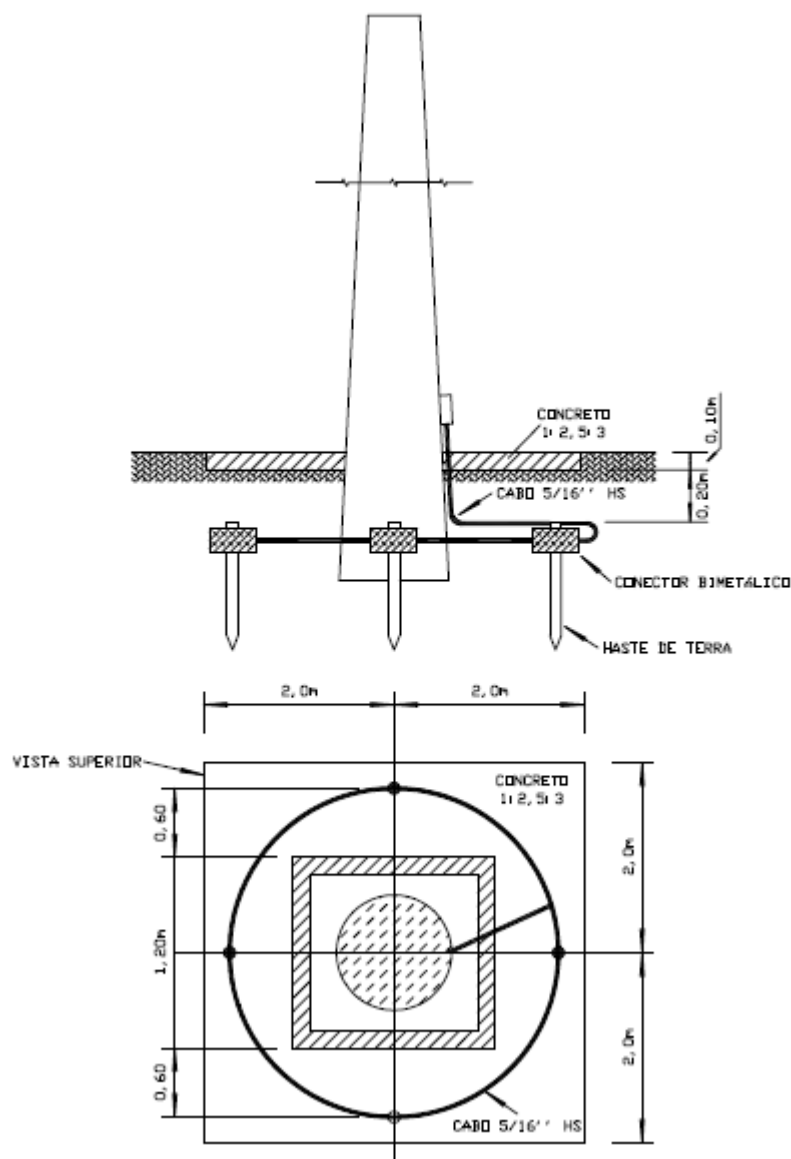


Figura 5 - Esquema de contrapesos típico

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERENCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

9.6.4.1 A imagem seguinte representa o layout das linhas e distancias entre torres e gasoduto projetado.

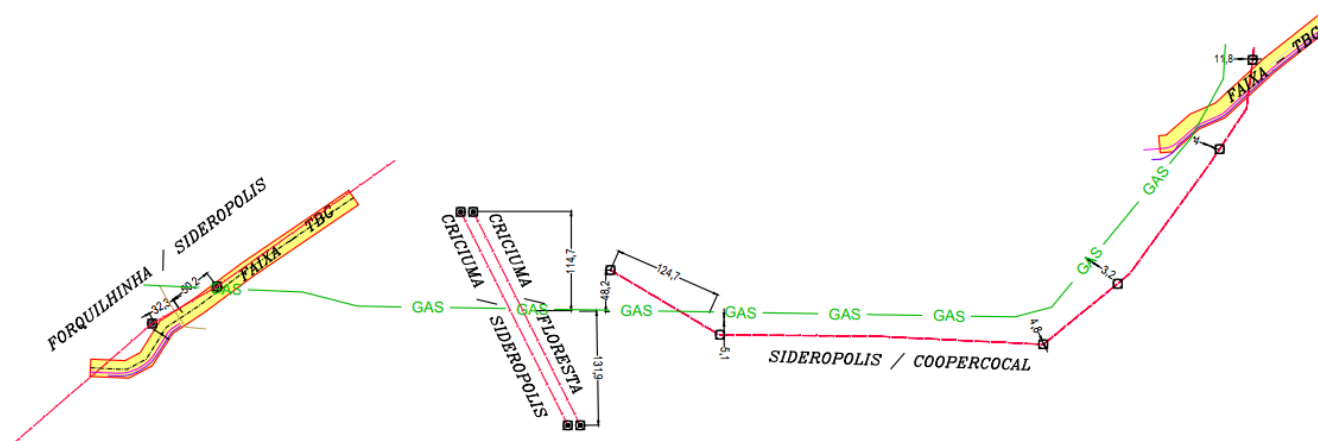


Figura 6 – Diagrama de aproximação

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

9.6.5 Geometria das torres

9.6.5.1 A figura seguinte representa a geometria predominante das torres da LT adotadas no estudo:

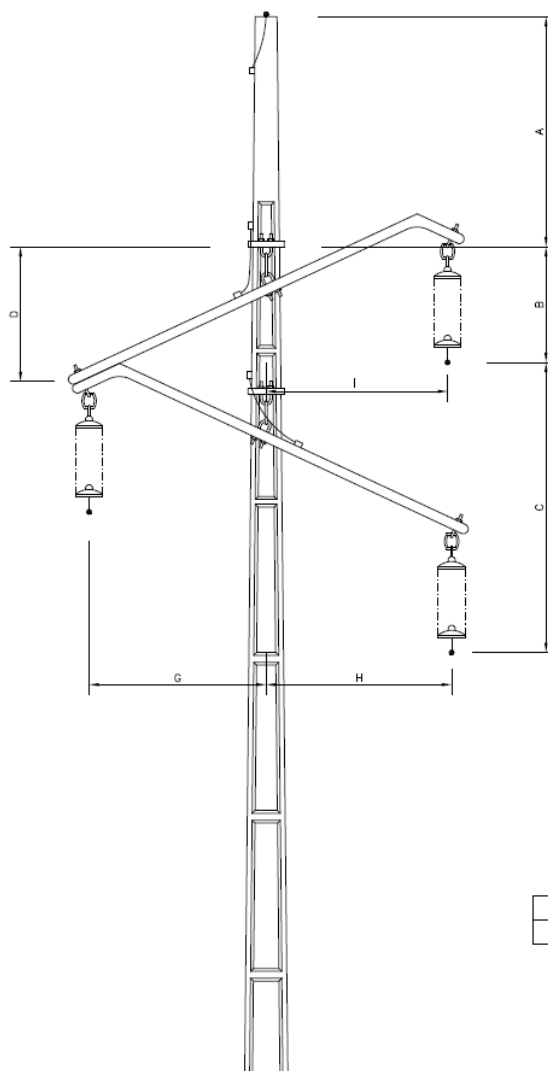


Figura 7 - Geometria da torre típica Caso 1 - LT 69KV Forquilha / Siderópolis

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

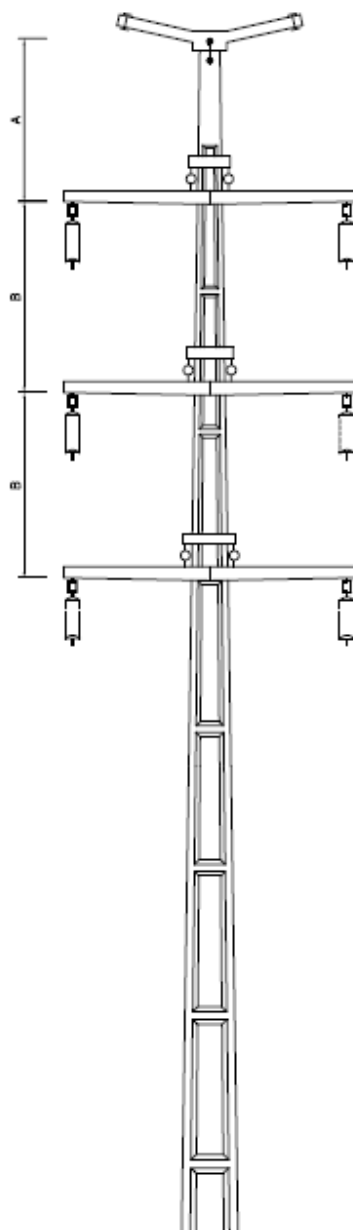


Figura 8 - Geometria da torre típica Caso 2 - LT 69KV Criciúma / Siderópolis

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERENCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

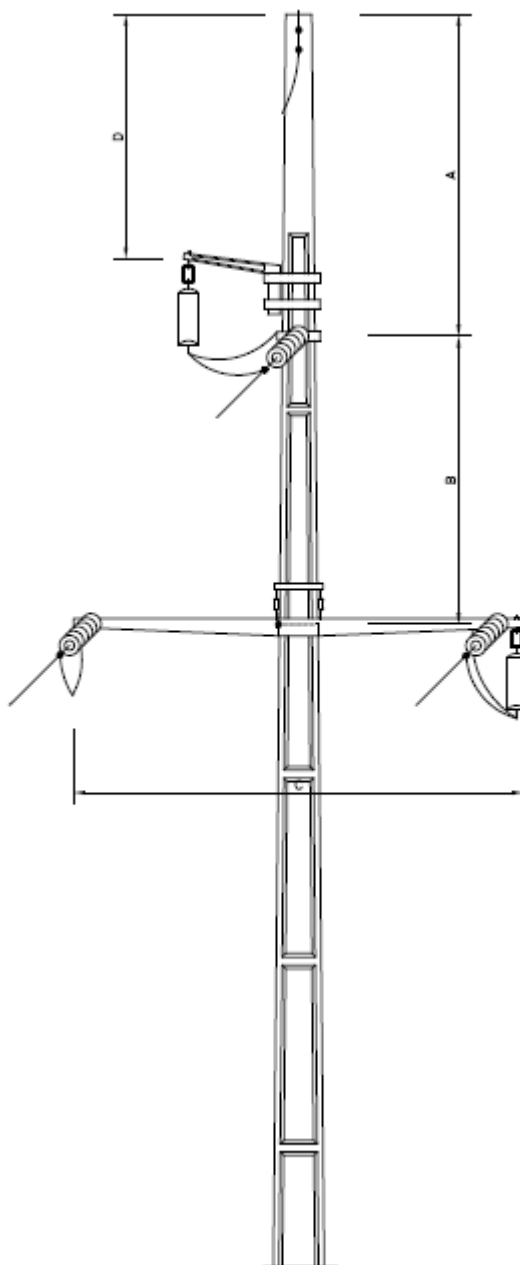


Figura 9 - Geometria da torre típica Caso 3 - LT 69KV Criciuma Floresta / Sideropolis ESUL

**RELATÓRIO TÉCNICO**

Nº

RE-44.330.LMT.116

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

25 DE 34

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

5

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III

Nº CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC



Figura 10 - Geometria da torre típica Caso 4 - LT 69KV Sideropolis RB - Coopercofal

**RELATÓRIO TÉCNICO**

N°

RE-44.330.LMT.116

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

26 DE 34

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

5

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III

N° CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

10 ANÁLISE DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS EM REGIME TRANSITÓRIO**10.1 Premissas de cálculo**

10.1.1. A falta monofásica é gerada na fase mais próxima ao encaminhamento do duto observado, com simulações realizadas para todas as torres das travessias ou aproximações descritas nas seções precedentes. Os resultados contidos nos gráficos e tabelas correspondem aos cenários de pior impacto nos dutos interferidos.

10.1.2. Os cálculos realizados para regime transitório consideram, simultaneamente, os fenômenos de acoplamento indutivo e condutivo entre a(s) linha(s) de transmissão e o(s) duto(s). Os perfis de tensão apresentados nos gráficos correspondem à sobreposição fasorial dos dois efeitos, sendo avaliado, nas análises formuladas, qual é o predominante.

10.1.3. Para o estudo de interferências em regime transitório, os efeitos decorrentes de acoplamento capacitivo são desconsiderados, uma vez que os dutos são subterrâneos. Para recomendações quanto à segurança de pessoas quando da execução de serviços na faixa de dutos, vide item 13.

10.1.4. Os cálculos apresentados consideram os respectivos arranjos típicos dos cabos contrapeso conforme descrito na Tabela, e são válidos apenas para tal situação.

10.1.5. É responsabilidade da **CONTRATADA** designada para as obras de construção validar **em campo** a configuração dos cabos contrapeso das estruturas envolvidas e, se constatada alguma divergência, comunicar à **CONTRATANTE**, para que sejam promovidas as ações necessárias.

10.1.6. A presença de elementos que, por sua natureza e/ou finalidade, tenham efeitos mitigadores das tensões AC induzidas, tais como dispositivos supressores de surtos, leitos de anodos, malhas de aterramento, desacopladores CC etc., conforme relacionado nos itens 9.4 e subsequentes, é considerada nos cálculos. Nesses pontos, os dutos são conectados ao terminal terra através de uma resistência assumida igual a 5 Ω , no modelo de simulação.

10.2 Estudo da aproximação entre o Gasoduto 8” e os vãos entre as torres 5-6, 3-4, 5-6, 80-86**10.2.1 Geometria da aproximação**

10.2.1.1 Conforme Figura 1 do **Anexo A.1**.

10.2.2 Distribuição de correntes de falta na LT

10.2.2.1 Verifica-se que o cenário mais relevante de curto-circuito, para efeito de integridade das instalações estudadas, ocorre no caso 1 na **torre 5**, no caso 2 na **torre 3**, no caso 3 na **torre 5** e no caso 4 na **torre 80** com predominância do acoplamento **condutivo**.

	RELATÓRIO TÉCNICO		N° RE-44.330.LMT.116		
	CLIENTE: SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA			FOLHA: 27 DE 34	
	PROGRAMA / EMPREENDIMENTO: REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL			REV. 5	CÓD. / CLIENTE:
	ÁREA: REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III			N° CONTRATO:	
TÍTULO: ESTUDO DE INTERFERENCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC					
10.2.2.2 A distribuição das correntes de falta na LT, indicando as contribuições das fases, parcelas de retorno pelos para-raios e componentes drenadas ao solo nos pontos adjacentes aos dutos em estudo, é apresentada na Figura 3 do Anexo A.1, 2, 3, 4. 10.2.2.3 As Figuras 3, 4, 6 e 7 do Anexo A.1, 2, 3, 4 apresentam as distribuições de tensões induzidas nas instalações interferidas, incluindo valores nos afloramentos e limites de segurança, para o caso de falta retratado. 10.2.2.4 Valor máximo provável da tensão imposta às instalações interferidas, no instante da falta: Gasoduto de 8”e Caso 1 – Celesc LT 69KV Forquilha / Sideropolis: Et,máx = 356,88 V Gasoduto de 8”e Caso 2 – Celesc LT 69KV Criciuma / Sideropolis Et,máx = 356,88 V Gasoduto de 8”e Caso 3 – Celesc LT 69KV Criciuma Floresta / Sideropolis ESUL Et,máx = 356,88 V Gasoduto de 8”e Caso 4 – Coopercoval LT 69KV Sideropolis RB / Coopercoval caso mitigado Et,máx = 1.028,01 V 10.2.2.5 Verifica-se que a tensão de stress máxima imposta ao revestimento isolante da instalação interferida é inferior ao limite de segurança preceituado, para o duto avaliado. 10.2.2.6 As Figuras 6 e 7 do do Anexo A.1, 2, 3, 4 contém, respectivamente, os gráficos de tensão de toque e passo ao longo da instalação interferida, bem como os correspondentes limites de segurança considerando o solo natural, isto é, desprovido de camada de recobrimento para mitigação. 10.2.2.7 A Tabela 4 do Anexo A.1, 2, 3, 4 relacionam os pontos de afloramento das instalações interferidas e os respectivos valores das tensões de toque e passo. São destacados os valores que excedem os limites de segurança admissíveis para o solo desprovido de camada de recobrimento. 10.2.2.8 Foram verificadas violações aos limites admissíveis de tensão de toque nos pontos avaliados. 10.2.2.9 Não se verificam violações aos limites admissíveis de tensão de passo nos pontos avaliados. 10.2.2.10 Os valores de tensão transferidos para o duto interferido são inferiores aos limites nominais para retificadores e juntas isolantes. 10.3 Conclusões do estudo em regime transitório 10.3.1. Os valores de tensão impostos ao revestimento isolante dos dutos interferidos, nos piores casos de falta fase-terra considerados, são inferiores ao limite de suportabilidade					
AS INFORMAÇÕES CONTIDAS NESTE DOCUMENTO SÃO DE PROPRIEDADE DO(S) RESPECTIVO(S) CONTRATANTE(S), SENDO PROIBIDA UTILIZAÇÃO FORA DA SUA FINALIDADE.					

**RELATÓRIO TÉCNICO**

N°

RE-44.330.LMT.116

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

28 DE 34

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

5

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III

N° CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

adotado de 5 kV para o trecho adjacente às estruturas, **não cabendo** adoção de medidas mitigadoras.

10.3.2. Os valores de tensão induzidos nas instalações interferidas são **superiores** aos limites de tensão de toque adotados, **cabendo** adoção de medidas mitigadoras nos pontos de afloramento.

10.3.3. Os valores de elevação de potencial do solo ao longo da geratriz da instalação interferida são **inferiores** aos limites de tensão de passo adotados, **não cabendo** adoção de medidas mitigadoras.

10.3.4. Os valores de tensão impostos aos equipamentos conectados à instalação interferida (juntas isolantes, retificadores etc.) são **inferiores** aos limites suportáveis, **não cabendo** ações mitigadoras.

10.4 Recomendações e mitigações de interferências em regime de curto-circuito

10.4.1. Para mitigação das tensões de toque nos pontos de afloramento indicados nas tabelas acima recomenda-se a construção de uma base isolante, nas imediações de cada válvula de bloqueio e/ou ponto de teste, seguindo as dimensões mínimas do projeto e adaptando conforme necessidade. As dimensões apresentadas no desenho anexo 7 são **sugeridas** e devem ser ajustadas em campo, de tal forma que um trabalhador, quando realizando tarefas de operação, inspeção e/ou manutenção no equipamento, mantenha os dois pés posicionados sobre a cobertura isolante (brita granítica n°. 4 recoberto com cimento alisado).

10.4.2. O produto de recobrimento do solo (brita granítica n°. 4 recoberto com cimento alisado) deverá ter suas características técnicas, em especial suas propriedades isolantes, certificadas pelo fabricante, devendo ser garantida uma resistividade elétrica mínima de 10000 Ω m.

10.4.3. As Figuras 8, 9 e a Tabela 5 do **Anexo A.1, 2, 3, 4** reproduzem os mesmos resultados anteriores de tensão de toque e passo, porém considerando o solo recoberto com uma camada de material de mitigação, conforme especificado nos itens 10.4.1 e 10.4.2.

11 ANÁLISE DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS EM REGIME PERMANENTE**11.1 Premissas de cálculo**

11.1.1. Os cálculos realizados para regime permanente consideram os efeitos de acoplamento indutivo, ou magnético, entre a(s) linha(s) de transmissão e a(s) instalação(ões) interferida(s). Não há que se falar em acoplamento condutivo, uma vez que, em condições normais de operação, não há corrente de retorno fluindo pelo solo. Da mesma forma, os efeitos capacitivos (eletrostáticos) são desconsiderados, visto que as instalações interferidas são subterrâneas.

11.1.2. Os efeitos decorrentes de outras linhas de transmissão interferentes são considerados no resultado final, por meio da superposição dos resultados das simulações com os potenciais CA medidos em campo, conforme dados fornecidos pela EMPRESA

**RELATÓRIO TÉCNICO**

Nº RE-44.330.LMT.116

CLIENTE:
SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINAFOLHA:
29 DE 34PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:
REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURALREV. 5
CÓD. / CLIENTE:ÁREA:
REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III

Nº CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

INTERFERIDA. Entretanto, a abrangência das ações de mitigação é restrita aos impactos produzidos pelos casos conforme abaixo:

- **CASO 1 CELESC - LT 69KV FORQUILHINHA / SIDEROPOLIS**
- **CASO 2 CELESC - LT 69KV CRICIUMA / SIDEROPOLIS**
- **CASO 3 CELESC - LT 69KV CRICIUMA FLORESTA / SIDEROPOLIS ESUL**
- **CASO 4 COOPERCOCAL - LT 69 KV SIDEROPOLIS RB**

11.1.3. A transposição das linhas de transmissão é considerada no modelo de acoplamento, isto é, são desprezíveis os efeitos de indução de correntes nos condutores neutros / para-raios e seus impactos sobre a(s) instalação(ões) interferida(s).

11.1.4. Os cálculos apresentados consideram os respectivos valores de corrente de carregamento conforme descrito na Tabela e são válidos apenas para tal situação.

11.1.5. A resistividade elétrica do solo é considerada distribuída ao longo da faixa de servidão da instalação interferida, com levantamentos em intervalos regulares de 500 m e nos pés das torres, como indicado nas folhas de levantamentos contidas no anexo deste relatório. Em cada ponto o solo é estratificado em camadas, sendo considerados os efeitos da camada profunda do solo no modelo de acoplamento indutivo.

11.1.6. A presença de elementos que, por sua natureza e/ou finalidade, tenham efeitos mitigadores das tensões AC induzidas, tais como dispositivos supressores de surtos, leitos de anodos, malhas de aterramento, desacopladores CC etc., conforme relacionado nos itens 9.4 e seguintes, é considerada nos cálculos. Nesses pontos, os dutos são conectados ao terminal terra através de uma resistência assumida igual a 5 Ω , no modelo de simulação.

11.2 Distribuição de tensões induzidas

11.2.1. A Figura 6 do **Anexo A.1, 2, 3, 4** apresenta as tensões induzidas no duto interferido em regime permanente.

11.2.2. Os gráficos mostram que, na ausência de medidas de controle suplementares (mas considerando os dispositivos já existentes, conforme premissa 11.1.6), não são esperadas violações ao limite de tensão de longa duração preceituado pela norma ABNT NBR 16563-1 (15 V), com o valor máximo sumarizado a seguir:

Gasoduto de 8”e Caso 1 – Celesc LT 69KV Forquilha / Sideropolis:

$E_{t,máx} = 0,89 \text{ V}$

Gasoduto de 8”e Caso 2 – Celesc LT 69KV Criciuma / Sideropolis $E_{t,máx} = 0,95 \text{ V}$

Gasoduto de 8”e Caso 3 – Celesc LT 69KV Criciuma Floresta / Sideropolis ESUL

$E_{t,máx} = 0,72 \text{ V}$

Gasoduto de 8”e Caso 4 – Coopercocal LT 69KV Sideropolis RB / Coopercocal

$E_{t,máx} = 71,84 \text{ V}$

**RELATÓRIO TÉCNICO**

Nº RE-44.330.LMT.116

CLIENTE:
SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINAFOLHA:
30 DE 34PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:
REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURALREV. 5
CÓD. / CLIENTE:ÁREA:
REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III

Nº CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERENCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

Gasoduto de 8”e Caso 4 – Coopercoocal LT 69KV Sideropolis RB / Coopercoocal caso mitigado Et,máx = 14,02 V**11.3 Conclusões do estudo em regime permanente**

- 11.3.1. Os valores de tensão induzidos nos dutos metálicos em regime permanente (condição normal de operação das LTs) **são superiores no caso 4** ao limite tolerável de 15 V, **cabendo** adoção de ações mitigadoras.
- 11.3.2. A simulação com desacopladores baixou a tensão AC induzida após a instalação de 4 desacopladores, ERP-01, ERP-02 na etapa 3 do projeto e ETC-10 e VB-06 na etapa 4 do projeto -02 diminuindo o os valores para dentro dos valores aceitáveis.
- 11.3.3. Para esse cenário de mitigação, foram colocas tantos desacopladores quanto necessário para a mitigação de tensão AC induzida em relação ao primeiro estudo que ficou com valores acima do permitido.
- 11.3.4. Simulamos a instalação de até 4 desacopladores que foi o número que apresentou melhor resultado, baixando essa tensão induzida a valores aceitáveis.
- 11.3.5. Os locais onde foram simulados e verificado um bom resultado foram nos equipamentos ERP-01, ERP-02 na etapa 3 do projeto e ETC-10 e VB-06 na etapa 4 do projeto.

12 RECOMENDAÇÕES PARA MITIGAÇÃO DE RISCOS EM REGIME PERMANENTE

- 12.1.1 Para neutralização da tensão induzida em regime permanente na instalação interferida, recomenda-se a adoção da seguinte ações de mitigação: (a) instalação de dispositivos desacopladores CC ao longo da extensão de tubulação onde ocorre a violação ao critério de segurança, com malha de aterramento dimensionada para resistência não superior a 5 Ω , preferencialmente nos pontos de afloramento onde foram feitas as simulações.
- 12.1.2 Os pontos das simulações foram ERP-01, VB-06 da Etapa III e ERP-02 e ETC-10 da Etapa IV.
- 12.1.3 De acordo com o gráfico de tensão AC induzida, o valor ficou muito próximo do limite preceituado por norma, dessa forma após implantado a mitigação, sugerimos uma varredura nos pontos de afloramento para verificar possíveis tensões AC residuais.
- 12.1.4 Como medida adicional de segurança, para serviços de instalação e manutenção na tubulação na zona contida no afastamento de até 10 metros em relação ao eixo da LT, deverão ser previstas malhas provisórias de aterramento equipotencial, interligadas às colunas de duto expostas e abrangendo a totalidade da área ocupada pelos profissionais envolvidos em trabalhos na tubulação, sem prejuízo dos demais requisitos de segurança aplicáveis.

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

12.1.5 Deverá ser aplicadas medidas em alteração do aterramento das torres de alta tensão aplicando o limite de distanciamento do duto ao aterramento em 5 metros.

12.1.5.1 Tabela de localização das proximidades do duto com as Torres de alta tensão.



Figura 6 - modificação do aterramento da torre

Localização da estaca	Coordenada	Distância da Torre ao duto
609	X = 655934.768 Y = 6834461.113	3.04 m
619	X = 656126.362 Y = 6834462.290	4.6 m
623	X = 656185.033 Y = 6834522.366	2.73 m
630	X = 656280.934 Y = 6834640.577	3.08 m

Tabela 8 – localização das torres próximas ao duto

13 RECOMENDAÇÕES DE CARÁTER GERAL

13.1 Medidas relativas à segurança durante a construção e manutenção dos dutos

13.1.1 Durante trabalhos de construção, sempre que for necessário o contato com trechos de duto que estejam a menos de 1 km das estruturas das LTs, recomenda-se o uso de botas e luvas isolantes de Classe 0. As luvas e botas isolantes podem ser dispensadas após o aterramento temporário do duto ou ao se fazer uso da malha de equalização de potencial.

13.1.2 Durante futuros reparos e serviços de manutenção em dutos nas proximidades de estruturas de LTs (a menos de 500 m), recomenda-se o aterramento provisório do duto, em conformidade com os requisitos específicos de SMS da empresa operadora de dutos e, em caso de necessidade de contato prolongado, a utilização de uma malha de equalização de potencial.

**RELATÓRIO TÉCNICO**

Nº

RE-44.330.LMT.116

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

32 DE 34

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

5

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III

Nº CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

13.1.3 Recomenda-se a suspensão das obras de construção e/ou serviços de manutenção dos dutos na ocorrência de condições atmosféricas adversas.

13.1.4 Recomenda-se que os tubos sejam estocados longe das LTs, a uma distância mínima 30 m, quando estiverem na fase de construção. Em não sendo possível, tramos de dutos devem ser dispostos perpendicularmente às linhas de transmissão, ou devidamente aterrados, o duto ou coluna a ser instalada.

13.1.5 Os trabalhadores devem ser instruídos para não se posicionarem próximo das estruturas (e seus estais), observando uma distância mínima de 2 m, assim como as distâncias mínimas de segurança estabelecidas na tabela seguinte:

Tabela 9 - Distâncias de segurança em função da tensão da LT

Natureza da Região	88 kV	138 kV	230 kV	345 kV	440 kV	500 kV
Distância cabo-solo em locais acessíveis apenas a pedestres	6,0 m	6,3 m	6,8 m	7,5 m	8,0 m	8,4 m
Distância cabo-solo em rodovias, ruas e avenidas	8,0 m	8,3 m	8,8 m	9,5 m	10,0 m	10,4 m
Distância a veículos rodoviários e ferroviários	3,0 m	3,3 m	3,8 m	4,5 m	5,0 m	5,4 m
Distância a estruturas transportadoras	3,0 m	3,3 m	3,8 m	4,5 m	5,0 m	5,4 m

13.1.6 Recomenda-se que sejam observados os limites de distância elétrica entre cabos condutores e máquinas, caçambas, lanças ou quaisquer outros elementos metálicos que venham a operar ou transitar sob a(s) linha(s) de transmissão, durante a fase de instalação ou serviços de manutenção dos dutos. A operação de lanças e tudo mais que possa resultar em aproximação aos cabos a distâncias inferiores àquelas indicadas acima deve ser limitada, sem prejuízo de outras normas de segurança vigentes. Recomenda-se, inclusive, que a concessionária de energia (operadora da LT) seja acionada para verificar se a distância cabo-solo da LT, no local de trabalho envolvendo os dutos, permitirá a utilização dos equipamentos que se pretende utilizar na construção ou manutenção do duto.

13.1.7 Recomenda-se que não se trabalhe no limite da distância de segurança, pois movimentos bruscos dos equipamentos podem reduzir a distância a valores inferiores ao limite aceitável.

13.2 Uso de equipamentos de proteção individual – EPIs

13.2.1 Todos os operadores e profissionais responsáveis por quaisquer atividades ao longo dos dutos devem, obrigatoriamente, utilizar os equipamentos de proteção individual (EPIs) adequados.

13.2.2 Recomenda-se que os operadores de válvulas e profissionais responsáveis pelas leituras dos equipamentos de Proteção Catódica utilizem luvas isolantes adequadas para Classe 0 de tensão.

	RELATÓRIO TÉCNICO		N° RE-44.330.LMT.116	
	CLIENTE: SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA		FOLHA: 33 DE 34	
	PROGRAMA / EMPREENDIMENTO: REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL		REV. 5	CÓD. / CLIENTE:
	ÁREA: REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III		N° CONTRATO:	

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

13.3 Sinalização de travessias de linhas de transmissão sobre dutos

- 13.3.1 Segundo norma ABNT NBR 7276/2005, para a linha de transmissão em cruzamento com a faixa de dutos, faz-se necessária instalação de esferas de sinalização com diâmetro de 500 mm, na cor laranja ou vermelha, no cabo superior da linha, segundo padrão presente na referida norma.

13.4 Detecção e mitigação de interferências com o sistema de Proteção Catódica

- 13.4.1 Devem ser realizadas medições de potencial estrutura-eletrólito em todos os pés de torres de transmissão adjacentes aos pontos de cruzamento com os dutos envolvidos, bem como em todos os pés de torres situadas em trechos de paralelismo com os dutos construídos, considerando-se, para esse efeito, afastamentos laterais de até 500 m.
- 13.4.2 Todas as medições de potencial estrutura/solo devem ser realizadas com referência a uma semi-célula de cobre / sulfato de cobre (Cu / CuSO₄), devendo esta ser conectada ao negativo do voltímetro e posicionada sobre o solo.
- 13.4.3 Se verificadas alterações significativas em relação aos valores apresentados no relatório de medições de campo, i.e. mudança de categoria de atividade corrosiva, fica caracterizada interferência oriunda do sistema de Proteção Catódica, sendo responsabilidade da **EMPRESA INTERFERENTE** promover as medidas mitigadoras aplicáveis, tais como: instalação de retificadores suplementares, dispositivos de drenagem de correntes de fuga, anodos galvânicos, células de desacoplamento DC e AC, assim como intervenções nos sistemas de aterramento da(s) linha(s) de transmissão de energia elétrica e/ou instalação de cabos de blindagem. Essas ações devem ser definidas em conjunto com a área de Integridade de Ativos da **EMPRESA INTERFERIDA** e a(s) concessionária(s) proprietária(s) da(s) linha(s) de transmissão.

**RELATÓRIO TÉCNICO**

N°

RE-44.330.LMT.116

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

34 DE 34

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

5

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA III

N° CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LTs 69 KV DA COOPERCOCAL E CELESC

ANEXO A**DOCUMENTOS COMPLEMENTARES****ÍNDICE DE DOCUMENTOS**

Nº.	TÍTULO	FLs.
1	Relatório sintético ROW-1033K3S6	11
2	Relatório sintético ROW-1034W0G2	11
3	Relatório sintético ROW-1035W5F3	11
4	Relatório sintético ROW-1020X5K9	11
5	Dados da concessionária Coopercofal	37
6	Dados da concessionária Celesc	12
7	Projeto mitigação	01
8	ART – Anotação de Responsabilidade Técnica	01

AutoROWReport

Relatório de interferências eletromagnéticas

Caso: ROW-1033K3S6

Objetivo e abrangência dos estudos

O objetivo deste relatório é apresentar os resultados e correspondentes análises de interferências eletromagnéticas envolvendo as instalações/estruturas descritas a seguir.

- **Instalação interferida (alvo):** GASODUTO NOVA VENEZA - SIDEROPOLIS - COCAL.
- **Empresa interferida:** SCGÁS.
- **Instalação interferente (fonte):** LI 69kV Forquilha - Siderópolis ESUL C1.
- **Empresa interferente:** CEÇESC.
- **Descrição do caso:** CELESC CASO 1.

Considerações gerais

1. As interferências são avaliadas em dois cenários distintos: 1) ocorrência de falta à terra monofásica na estrutura interferente, para análise de tensões induzidas de curta duração (transitórias) por acoplamentos indutivo e condutivo; e 2) instalação interferente em condições normais de operação (regime permanente), para avaliação das tensões de longa duração induzidas por acoplamento indutivo.
2. Os efeitos decorrentes dos mecanismos de acoplamento capacitivo estão implícitos nos cálculos, embora seus impactos nas tubulações interferidas sejam pouco significativos, por se tratarem de instalações subterrâneas.
3. Todos os modelos de simulação construídos no software são baseados nas efetivas coordenadas das linhas de transmissão e instalações interferidas, e incluem todo o percurso descrito na documentação do projeto. Portanto, os resultados apresentados representam todos os efeitos de acoplamento em cruzamentos, paralelismos e obliquidades, independente do tipo de aproximação ou afastamento entre as estruturas estudadas.
4. Para efeito de modelagem dos parâmetros elétricos das linhas de transmissão, considera-se a presença simultânea de todos os circuitos, pertencentes a todas as concessionárias envolvidas, que possuem encaminhamento em paralelo numa mesma faixa de servidão.
5. Para estudos transitórios, a falta monofásica é simulada na fase mais próxima ao encaminhamento do duto. Nas análises envolvendo subestações, a falta é aplicada ao seu barramento, no ponto imediatamente após a saída do transformador.
6. Os cálculos realizados para regime de falta consideram, simultaneamente, os efeitos de acoplamento indutivo e condutivo entre a(s) linha(s) de transmissão e a tubulação. Os perfis de tensão apresentados nos gráficos correspondem à sobreposição dos efeitos indutivo e condutivo, sendo este último a parcela mais significativa nas análises em

regime transitório. Em regime permanente, não há que se falar em acoplamento condutivo, uma vez que, em condições normais de operação, não há corrente de retorno fluindo pelo solo.

7. Os cálculos apresentados consideram os respectivos arranjos dos condutores de aterramento conforme expressamente indicado nos desenhos de projeto, e são válidos apenas para as situações retratadas.
8. É responsabilidade da CONTRATADA designada para as obras de construção validar em campo a configuração dos cabos de aterramento das estruturas envolvidas e, se constatada alguma divergência, comunicar a CONTRATANTE, para que sejam promovidas as ações necessárias.
9. A presença de elementos que, por sua natureza e/ou finalidade, tenham efeitos mitigadores das tensões CA induzidas, tais como dispositivos supressores de surtos, leitos de anodos, malhas de aterramento etc., onde existentes, foi considerada nos modelos de simulação.
10. As estimativas de corrosão por corrente alternada consideram a influência das tensões induzidas em regime permanente sobre um defeito de revestimento circular com área de superfície igual a 1 cm² em solo uniforme.

Análise de resistividade do solo

A Tabela 1 contém os valores das medições das grandezas aparentes do solo, executadas no local do estudo.

Tab. 1. Valores medidos em campo pelo método de Wenner

Espaçamento [m]	Resistência aparente [Ω]
1	9,80
2	2,18
4	1,40
8	1,14
16	0,69
32	0,42

Os valores dos parâmetros do solo estratificado em camadas são discriminados na Tabela 2.

Tab. 2. Resultados do modelo de solo estratificado em camadas horizontais

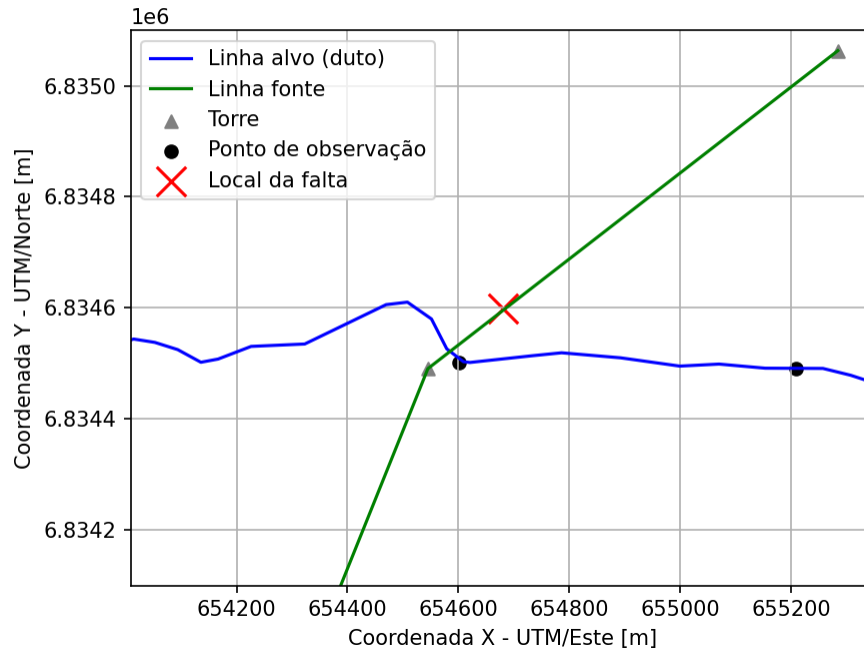
Camada	Resistividade [Ω -m]	Espessura [m]	Coef. reflexão	Contraste
Ar	∞	∞	0	1
1	32,14	4,45	-1	0
2	101,50	∞	0,52	3,16

Estudo de interferências em regime de falta

Geometria da aproximação

A Figura 1 representa o domínio de estudo e a geometria da aproximação retratada no caso avaliado, tal como modelada no software de simulação a partir das plantas cadastrais e/ou desenhos as-built georreferenciados.

Fig. 1. Vista da aproximação entre as estruturas interferente e interferida



Premissas do estudo de caso

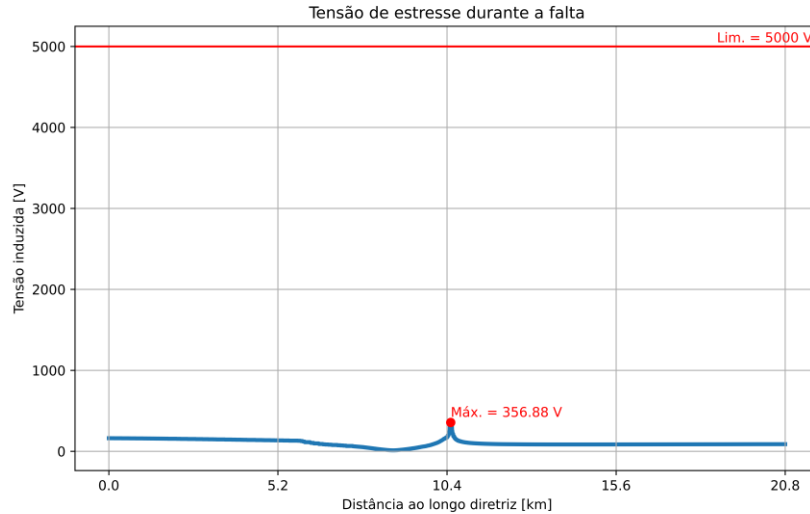
As principais premissas adotadas para realização das simulações computacionais do caso avaliado são descritas abaixo.

- **Simulação:** Acoplamento em regime transitório (falta).
- **Geometria:** Cruzamento.
- **Torre típica:** Conforme projeto.
- **Ponto de aplicação da falta:** Torre conforme figura.
- **Epicentro:** (X = 654.680,55; Y = 6.834.599,54).
- **Tempo de atuação da proteção:** 50 ms.
- **Espessura da camada de recobrimento:** 10 cm.
- **Especificação do material de recobrimento:** Brita granítica nº 4 recoberto com cimento alizado.
- **Resistividade do material de recobrimento:** 10000 Ω -m.

Tensões de estresse, toque e passo

Os gráficos a seguir apresentam as distribuições de tensões induzidas na instalação interferida, incluindo valores nos afloramentos e limites de segurança, para o caso de falta retratado.

Fig. 2. Gráfico de tensão induzida na tubulação durante a falta e limite suportável para o revestimento isolante



Tab. 3. Sumário tensão de estresse imposta à instalação interferida

Valor máximo [V]	Limite [V]	Critério
356,88	5000	Atende

As Figs. 3 e 4 contém, respectivamente, os gráficos de tensão de toque e passo ao longo da instalação interferida, bem como os correspondentes limites de segurança considerando o solo natural, isto é, desprovido de camada de recobrimento para mitigação.

Fig. 3. Gráfico de tensão de toque durante a falta e limite suportável **com solo natural**

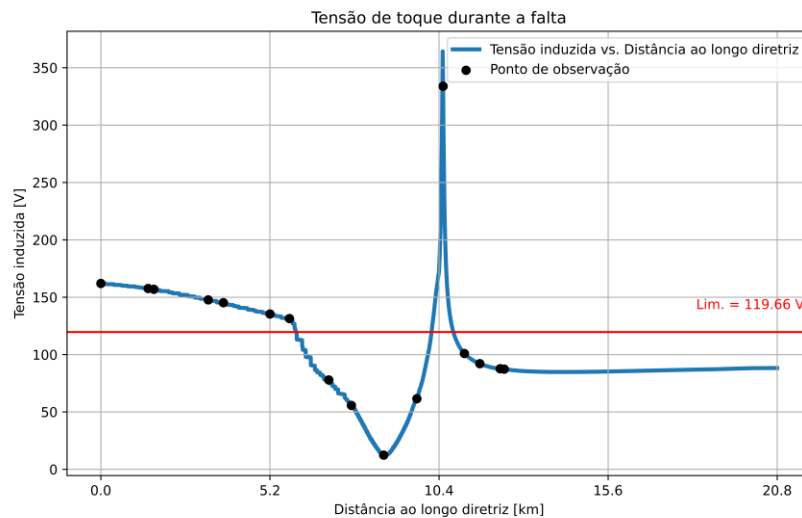
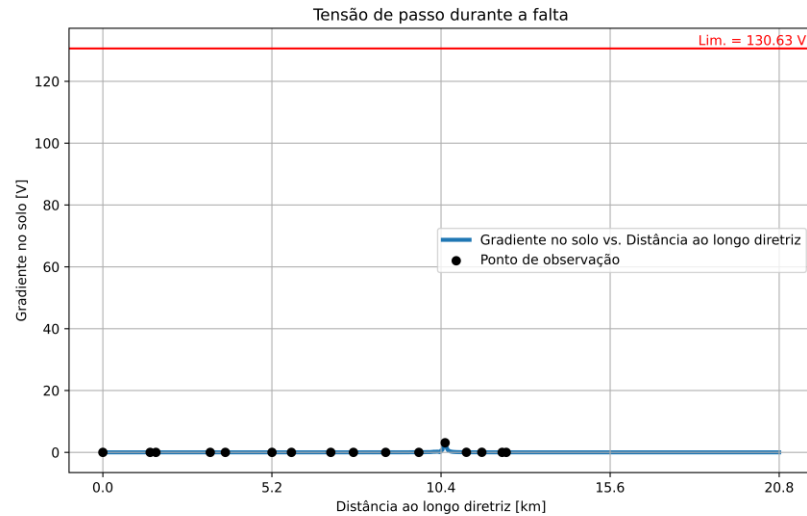


Fig. 4. Gráfico de tensão de passo durante a falta e limite suportável **com solo natural**



A Tabela 4 sintetiza os resultados verificados nos pontos de observação (afloramentos) e equipamentos conectados à instalação interferida. São indicados os valores que excedem os limites de segurança admissíveis para tensões de toque e passo, considerando o solo em seu estado natural, isto é, desprovido de camada de recobrimento.

Tab. 4. Tensões de toque e passo nos pontos de observação **considerando solo natural**

Identificação	Valor Et [V]	Limite Et [V]	Critério Et	Valor Ep [V]	Limite Ep [V]	Critério Ep
ETC 09 / PTJI 01	161,98	121,59	Não atende	< 1 mV	138,37	Atende
VB-01	157,58	121,59	Não atende	< 1 mV	138,37	Atende
PTCP-01	156,92	121,59	Não atende	< 1 mV	138,37	Atende
VB-02	147,71	121,59	Não atende	< 1 mV	138,37	Atende
PTCP-02	145,22	121,59	Não atende	< 1 mV	138,37	Atende
VB-03	135,41	121,59	Não atende	< 1 mV	138,37	Atende
PTCP-03	131,42	121,59	Não atende	< 1 mV	138,37	Atende
VB-04	77,90	121,59	Atende	< 1 mV	138,37	Atende
PTCP-04	55,72	121,59	Atende	0,01	138,37	Atende
VB-05	12,37	121,59	Atende	0,01	138,37	Atende
PTCP-05	61,59	121,59	Atende	0,01	138,37	Atende
ERP-01 –	333,91	121,59	Não atende	3,11	138,37	Atende

PTMI-03 - PTJI 02						
PTMI-02	100,98	121,59	Atende	0,03	138,37	Atende
VB-06	92,07	121,59	Atende	0,01	138,37	Atende
PTCP-06	87,67	121,59	Atende	0,01	138,37	Atende
PTMI-01	87,31	121,59	Atende	< 1 mV	138,37	Atende
ECP-10 / PTJI 03	87,31	121,59	Atende	< 1 mV	138,37	Atende

A Tabela 5 reproduz os mesmos resultados de tensão de toque e passo nos pontos de observação, porém considerando o solo recoberto com uma camada de material de mitigação, conforme especificado anteriormente. Nessas condições, os limites de segurança toleráveis são aumentados, conforme a tabela evidencia.

Tab. 5. Tensões de toque e passo nos pontos de observação **considerando mitigação com recobrimento do solo**

Identificação	Valor Et [V]	Limite Et [V]	Critério Et	Valor Ep [V]	Limite Ep [V]	Critério Ep
ETC 09 / PTJI 01	161,98	1.160,84	Atende	< 1 mV	4.573,77	Atende
VB-01	157,58	1.160,84	Atende	< 1 mV	4.573,77	Atende
PTCP-01	156,92	1.160,84	Atende	< 1 mV	4.573,77	Atende
VB-02	147,71	1.160,84	Atende	< 1 mV	4.573,77	Atende
PTCP-02	145,22	1.160,84	Atende	< 1 mV	4.573,77	Atende
VB-03	135,41	1.160,84	Atende	< 1 mV	4.573,77	Atende
PTCP-03	131,42	1.160,84	Atende	< 1 mV	4.573,77	Atende
VB-04	77,90	1.160,84	Atende	< 1 mV	4.573,77	Atende
PTCP-04	55,72	1.160,84	Atende	0,01	4.573,77	Atende
VB-05	12,37	1.160,84	Atende	0,01	4.573,77	Atende
PTCP-05	61,59	1.160,84	Atende	0,01	4.573,77	Atende
ERP-01 - PTMI-03 - PTJI 02	333,91	1.160,84	Atende	3,11	4.573,77	Atende
PTMI-02	100,98	1.160,84	Atende	0,03	4.573,77	Atende
VB-06	92,07	1.160,84	Atende	0,01	4.573,77	Atende
PTCP-06	87,67	1.160,84	Atende	0,01	4.573,77	Atende
PTMI-01	87,31	1.160,84	Atende	< 1 mV	4.573,77	Atende
ECP-10 / PTJI 03	87,31	1.160,84	Atende	< 1 mV	4.573,77	Atende

Conclusões do estudo do cenário de falta

A partir das simulações computacionais realizadas e dos resultados obtidos para o cenário de falta retratado, conclui-se que:

- **Estresse imposto ao revestimento isolante:** O valor máximo provável da tensão de estresse imposta ao revestimento isolante da instalação interferida é **inferior** ao limite de segurança preceituado de 5000 V, condição que dispensa a necessidade de medidas de controle.
- **Tensão de toque nos afloramentos:** Os valores prováveis de tensão de toque verificados nos pontos de afloramento da instalação interferida indicam a ocorrência de **violações aos limites de segurança suportáveis**, devendo-se implementar ações complementares de mitigação do risco de eletrocussão, conforme recomendações descritas adiante.
- **Tensão de passo nos afloramentos:** Os valores prováveis de tensão de passo verificados nos pontos de afloramento da instalação interferida são **inferiores aos limites suportáveis**, o que dispensa a adoção de medidas de mitigação.

Recomendações para mitigação de riscos em cenário de falta

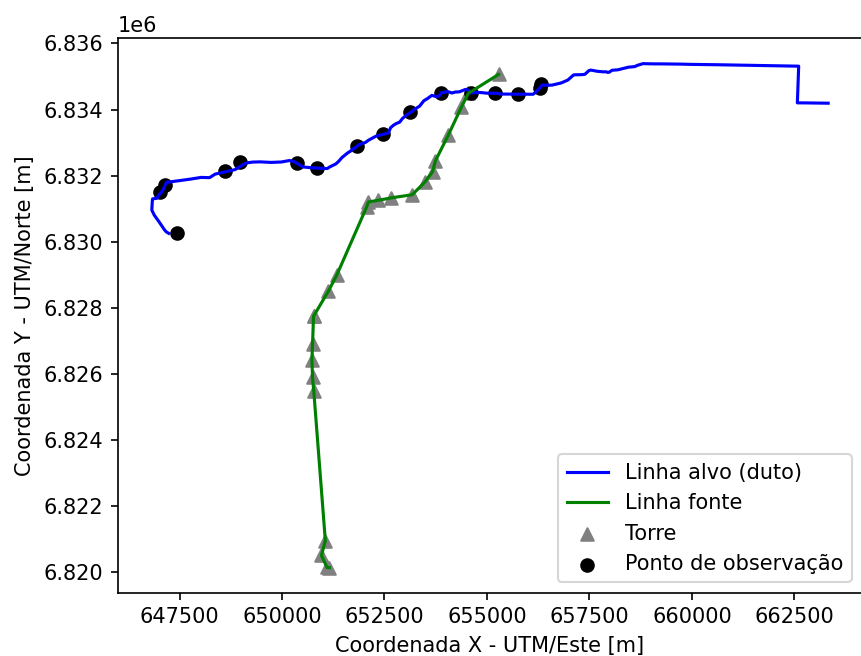
- Não há recomendação específica aplicável para neutralização da tensão de estresse imposta ao revestimento isolante da instalação interferida.
- Para mitigação dos valores de tensão de toque superiores aos limites toleráveis, recomenda-se a aplicação de uma camada de material isolante sobre a superfície do solo nos pontos de afloramento indicados, solução demonstrada eficiente para neutralização dos riscos detectados, conforme resultados apresentados neste relatório.
- Não há recomendação específica aplicável para mitigação de riscos de danos aos equipamentos conectados à tubulação interferida (juntas isolantes e/ou retificadores).

Estudo de interferências em regime permanente

Visão geral dos sistemas interferente e interferido

A Figura 5 representa o domínio de estudo global para acoplamento magnético em regime permanente, tal como modelada no software de simulação a partir das plantas cadastrais e/ou desenhos as-built georreferenciados.

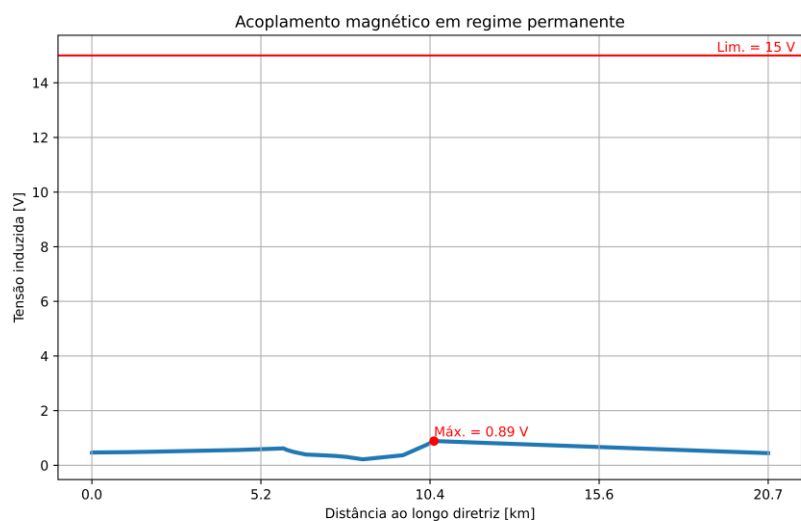
Fig. 5. Visão geral dos sistemas interferente e interferido



Tensões de longa duração induzidas por acoplamento magnético

O gráfico contido na Figura 6 apresenta a distribuição de tensões induzidas na instalação ao interferida em regime permanente, para o caso de acoplamento magnético com a LT estudada.

Fig. 6. Gráfico de tensão induzida na tubulação em regime permanente

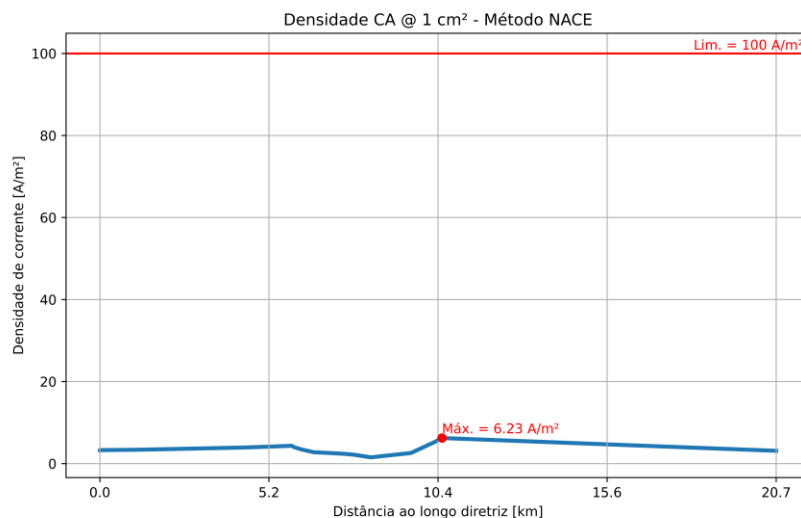


Tab. 6. Sumário tensão induzida em regime permanente

Valor máximo [V]	Limite [V]	Critério
0,89	15	Atende

O gráfico da Figura 7 apresenta os valores de densidade de corrente de fuga através de uma falha de revestimento circular (teórica) com área de superfície igual a 1 cm^2 , conforme NACE TG-327.

Fig. 7. Gráfico de densidade de corrente alternada em regime permanente



Tab. 7. Sumário densidade de corrente e probabilidade de corrosão por CA

Valor máximo [A/m ²]	Limite [A/m ²]	Critério
6,23	100	Atende

Conclusões do estudo em regime permanente

A partir das simulações computacionais realizadas e dos resultados obtidos para o cenário de operação normal da instalação interferente, conclui-se que:

- **Tensões induzidas de longa duração:** O valor máximo provável da tensão de longa duração induzida na tubulação interferida é **inferior** ao limite de segurança preceituado de 15 V, condição que dispensa a necessidade de medidas de controle.
- **Corrosão por CA:** O valor máximo provável da densidade de corrente de fuga através de uma superfície de 1 cm^2 é **inferior** ao limite de segurança preceituado de 100 A/m^2 , condição que caracteriza probabilidade desprezível de ocorrência de corrosão por CA.

Recomendações para mitigação de riscos em regime permanente

- Não há recomendação específica aplicável para neutralização dos efeitos das tensões induzidas em regime permanente na instalação interferida.
- Como medida adicional de segurança, para serviços de instalação e manutenção na tubulação na zona contida no afastamento de até 10 metros em relação ao eixo da LT, deverão ser previstas malhas provisórias de aterramento equipotencial, interligadas às colunas de duto expostas e abrangendo a totalidade da área ocupada pelos profissionais

envolvidos em trabalhos na tubulação, sem prejuízo dos demais requisitos de segurança aplicáveis.

AutoROWReport

Relatório de interferências eletromagnéticas

Caso: ROW-1034W0G2

Objetivo e abrangência dos estudos

O objetivo deste relatório é apresentar os resultados e correspondentes análises de interferências eletromagnéticas envolvendo as instalações/estruturas descritas a seguir.

- **Instalação interferida (alvo):** NOVA VENEZA X SIDEROPOLIS X COCAL.
- **Empresa interferida:** SCGAS.
- **Instalação interferente (fonte):** LT 69 KV SIDEROPOLIS X CRICIUMA.
- **Empresa interferente:** CELESC.
- **Descrição do caso:** CELESC CASO 2 SE SIDEROPOLIS X CRICIUMA.

Considerações gerais

1. As interferências são avaliadas em dois cenários distintos: 1) ocorrência de falta à terra monofásica na estrutura interferente, para análise de tensões induzidas de curta duração (transitórias) por acoplamentos indutivo e condutivo; e 2) instalação interferente em condições normais de operação (regime permanente), para avaliação das tensões de longa duração induzidas por acoplamento indutivo.
2. Os efeitos decorrentes dos mecanismos de acoplamento capacitivo estão implícitos nos cálculos, embora seus impactos nas tubulações interferidas sejam pouco significativos, por se tratarem de instalações subterrâneas.
3. Todos os modelos de simulação construídos no software são baseados nas efetivas coordenadas das linhas de transmissão e instalações interferidas, e incluem todo o percurso descrito na documentação do projeto. Portanto, os resultados apresentados representam todos os efeitos de acoplamento em cruzamentos, paralelismos e obliquidades, independente do tipo de aproximação ou afastamento entre as estruturas estudadas.
4. Para efeito de modelagem dos parâmetros elétricos das linhas de transmissão, considera-se a presença simultânea de todos os circuitos, pertencentes a todas as concessionárias envolvidas, que possuem encaminhamento em paralelo numa mesma faixa de servidão.
5. Para estudos transitórios, a falta monofásica é simulada na fase mais próxima ao encaminhamento do duto. Nas análises envolvendo subestações, a falta é aplicada ao seu barramento, no ponto imediatamente após a saída do transformador.
6. Os cálculos realizados para regime de falta consideram, simultaneamente, os efeitos de acoplamento indutivo e condutivo entre a(s) linha(s) de transmissão e a tubulação. Os perfis de tensão apresentados nos gráficos correspondem à sobreposição dos efeitos indutivo e condutivo, sendo este último a parcela mais significativa nas análises em

regime transitório. Em regime permanente, não há que se falar em acoplamento condutivo, uma vez que, em condições normais de operação, não há corrente de retorno fluindo pelo solo.

7. Os cálculos apresentados consideram os respectivos arranjos dos condutores de aterramento conforme expressamente indicado nos desenhos de projeto, e são válidos apenas para as situações retratadas.
8. É responsabilidade da CONTRATADA designada para as obras de construção validar em campo a configuração dos cabos de aterramento das estruturas envolvidas e, se constatada alguma divergência, comunicar a CONTRATANTE, para que sejam promovidas as ações necessárias.
9. A presença de elementos que, por sua natureza e/ou finalidade, tenham efeitos mitigadores das tensões CA induzidas, tais como dispositivos supressores de surtos, leitos de anodos, malhas de aterramento etc., onde existentes, foi considerada nos modelos de simulação.
10. As estimativas de corrosão por corrente alternada consideram a influência das tensões induzidas em regime permanente sobre um defeito de revestimento circular com área de superfície igual a 1 cm² em solo uniforme.

Análise de resistividade do solo

A Tabela 1 contém os valores das medições das grandezas aparentes do solo, executadas no local do estudo.

Tab. 1. Valores medidos em campo pelo método de Wenner

Espaçamento [m]	Resistência aparente [Ω]
1	11,94
2	6,98
4	3,98
8	1,32
16	0,71
32	0,25

Os valores dos parâmetros do solo estratificado em camadas são discriminados na Tabela 2.

Tab. 2. Resultados do modelo de solo estratificado em camadas horizontais

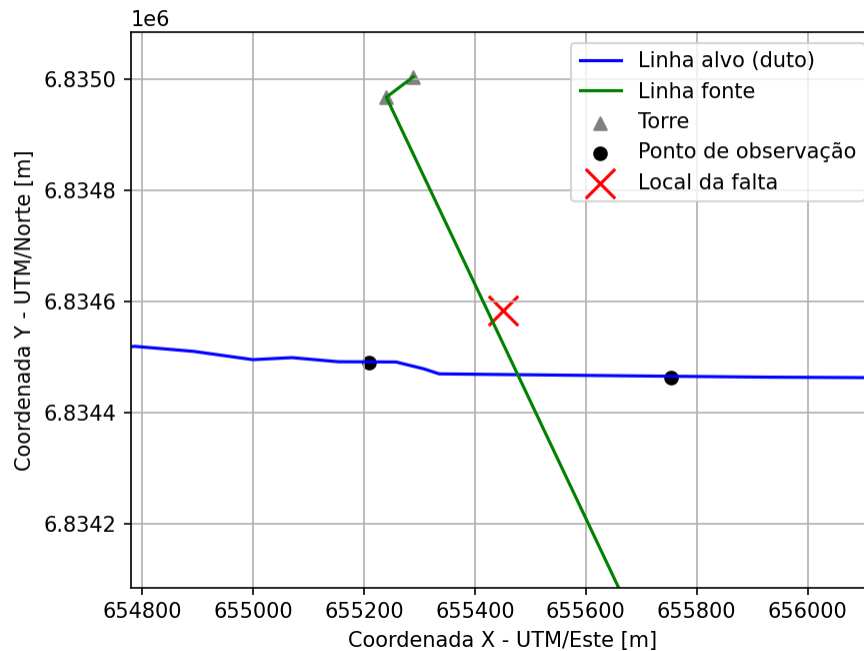
Camada	Resistividade [Ω -m]	Espessura [m]	Coef. reflexão	Contraste
Ar	∞	∞	0	1
1	84,62	7,04	-1	0
2	49,85	∞	-0,26	0,59

Estudo de interferências em regime de falta

Geometria da aproximação

A Figura 1 representa o domínio de estudo e a geometria da aproximação retratada no caso avaliado, tal como modelada no software de simulação a partir das plantas cadastrais e/ou desenhos as-built georreferenciados.

Fig. 1. Vista da aproximação entre as estruturas interferente e interferida



Premissas do estudo de caso

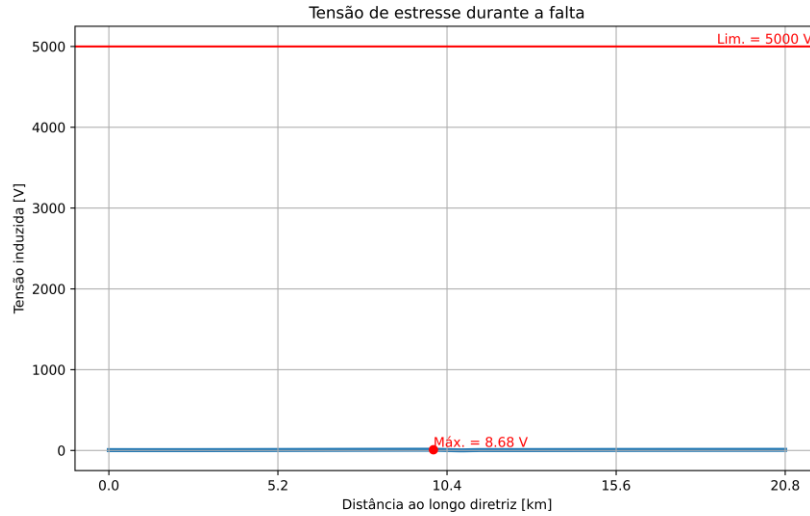
As principais premissas adotadas para realização das simulações computacionais do caso avaliado são descritas abaixo.

- **Simulação:** Acoplamento em regime transitório (falta).
- **Geometria:** Cruzamento.
- **Torre típica:** Conforme projeto.
- **Ponto de aplicação da falta:** Torre conforme figura.
- **Epicentro:** (X = 655.450,75; Y = 6.834.584,31).
- **Tempo de atuação da proteção:** 50 ms.
- **Espessura da camada de recobrimento:** 10 cm.
- **Especificação do material de recobrimento:** Brita granítica nº 4 recoberta com cimento alizado.
- **Resistividade do material de recobrimento:** 10000 Ω -m.

Tensões de estresse, toque e passo

Os gráficos a seguir apresentam as distribuições de tensões induzidas na instalação interferida, incluindo valores nos afloramentos e limites de segurança, para o caso de falta retratado.

Fig. 2. Gráfico de tensão induzida na tubulação durante a falta e limite suportável para o revestimento isolante



Tab. 3. Sumário tensão de estresse imposta à instalação interferida

Valor máximo [V]	Limite [V]	Critério
8,68	5000	Atende

As Figs. 3 e 4 contém, respectivamente, os gráficos de tensão de toque e passo ao longo da instalação interferida, bem como os correspondentes limites de segurança considerando o solo natural, isto é, desprovido de camada de recobrimento para mitigação.

Fig. 3. Gráfico de tensão de toque durante a falta e limite suportável **com solo natural**

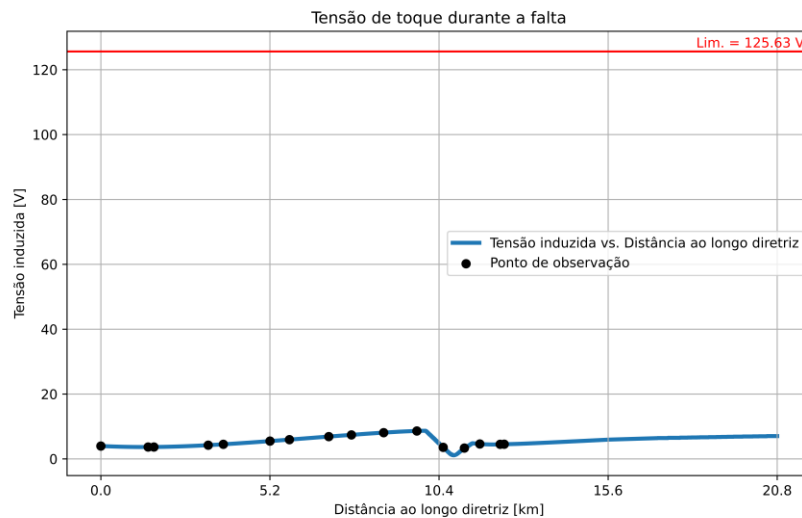
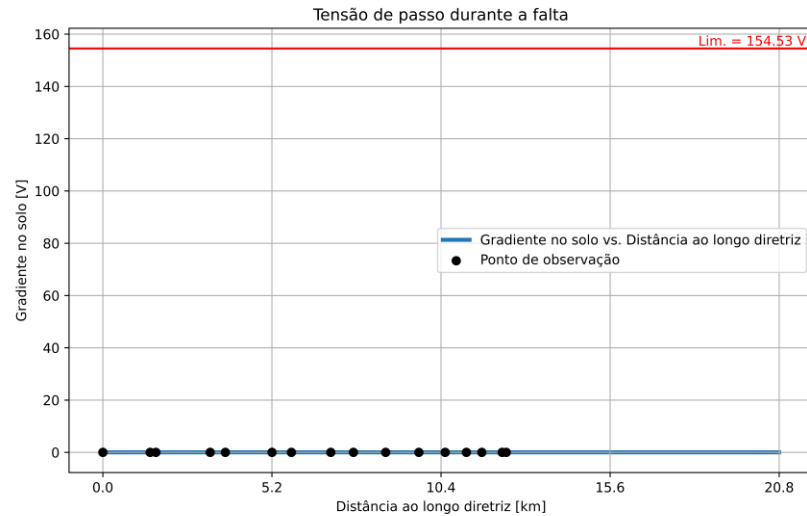


Fig. 4. Gráfico de tensão de passo durante a falta e limite suportável **com solo natural**



A Tabela 4 sintetiza os resultados verificados nos pontos de observação (afloramentos) e equipamentos conectados à instalação interferida. São indicados os valores que excedem os limites de segurança admissíveis para tensões de toque e passo, considerando o solo em seu estado natural, isto é, desprovido de camada de recobrimento.

Tab. 4. Tensões de toque e passo nos pontos de observação **considerando solo natural**

Identificação	Valor Et [V]	Limite Et [V]	Critério Et	Valor Ep [V]	Limite Ep [V]	Critério Ep
ETC 09 / PTJI 01	3,97	130,72	Atende	< 1 mV	174,89	Atende
VB-01	3,66	130,72	Atende	< 1 mV	174,89	Atende
PTCP-01	3,67	130,72	Atende	< 1 mV	174,89	Atende
VB-02	4,23	130,72	Atende	< 1 mV	174,89	Atende
PTCP-02	4,50	130,72	Atende	< 1 mV	174,89	Atende
VB-03	5,49	130,72	Atende	< 1 mV	174,89	Atende
PTCP-03	5,95	130,72	Atende	< 1 mV	174,89	Atende
VB-04	6,89	130,72	Atende	< 1 mV	174,89	Atende
PTCP-04	7,41	130,72	Atende	< 1 mV	174,89	Atende
VB-05	8,10	130,72	Atende	< 1 mV	174,89	Atende
PTCP-05	8,62	130,72	Atende	< 1 mV	174,89	Atende
ERP-01 – PTMI-03 - PTJI 02	3,58	130,72	Atende	< 1 mV	174,89	Atende
PTMI-02	3,35	130,72	Atende	< 1 mV	174,89	Atende

VB-06	4,62	130,72	Atende	< 1 mV	174,89	Atende
PTCP-06	4,50	130,72	Atende	< 1 mV	174,89	Atende
PTMI-01	4,54	130,72	Atende	< 1 mV	174,89	Atende
ECP-10 / PTJI 03	4,58	130,72	Atende	< 1 mV	174,89	Atende

A Tabela 5 reproduz os mesmos resultados de tensão de toque e passo nos pontos de observação, porém considerando o solo recoberto com uma camada de material de mitigação, conforme especificado anteriormente. Nessas condições, os limites de segurança toleráveis são aumentados, conforme a tabela evidencia.

Tab. 5. Tensões de toque e passo nos pontos de observação **considerando mitigação com recobrimento do solo**

Identificação	Valor Et [V]	Limite Et [V]	Critério Et	Valor Ep [V]	Limite Ep [V]	Critério Ep
ETC 09 / PTJI 01	3,97	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
VB-01	3,66	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
PTCP-01	3,67	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
VB-02	4,23	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
PTCP-02	4,50	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
VB-03	5,49	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
PTCP-03	5,95	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
VB-04	6,89	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
PTCP-04	7,41	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
VB-05	8,10	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
PTCP-05	8,62	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
ERP-01 – PTMI-03 - PTJI 02	3,58	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
PTMI-02	3,35	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
VB-06	4,62	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
PTCP-06	4,50	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
PTMI-01	4,54	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
ECP-10 / PTJI 03	4,58	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende

Conclusões do estudo do cenário de falta

A partir das simulações computacionais realizadas e dos resultados obtidos para o cenário de falta retratado, conclui-se que:

- **Estresse imposto ao revestimento isolante:** O valor máximo provável da tensão de estresse imposta ao revestimento isolante da instalação interferida é **inferior** ao limite de segurança preceituado de 5000 V, condição que dispensa a necessidade de medidas de controle.
- **Tensão de toque nos afloramentos:** Os valores prováveis de tensão de toque verificados nos pontos de afloramento da instalação interferida são **inferiores aos limites suportáveis**, o que dispensa a adoção de medidas de mitigação.
- **Tensão de passo nos afloramentos:** Os valores prováveis de tensão de passo verificados nos pontos de afloramento da instalação interferida são **inferiores aos limites suportáveis**, o que dispensa a adoção de medidas de mitigação.

Recomendações para mitigação de riscos em cenário de falta

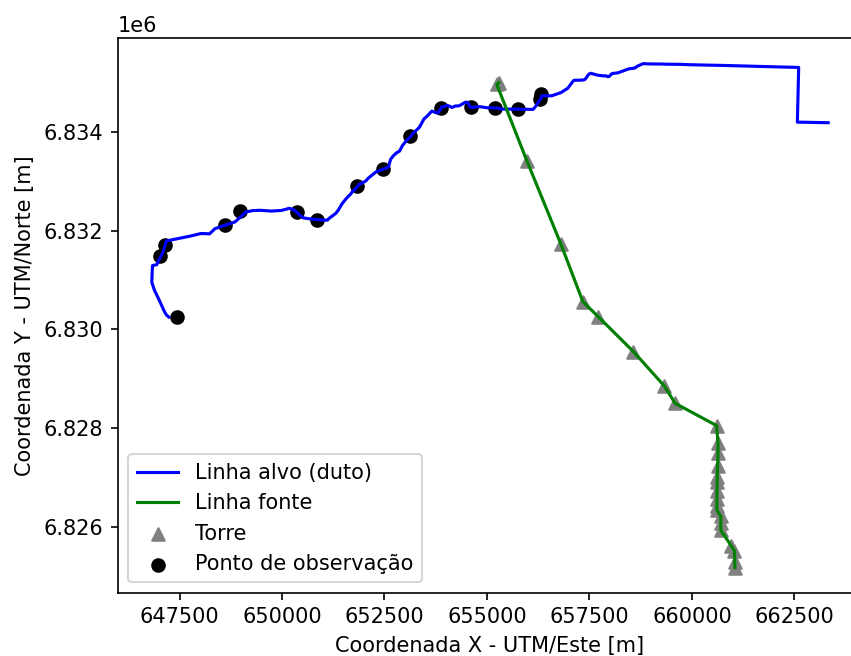
- Não há recomendação específica aplicável para neutralização da tensão de estresse imposta ao revestimento isolante da instalação interferida.
- Não há recomendação específica aplicável para neutralização de tensões de toque e/ou passo nos pontos de afloramento da instalação interferida.
- Não há recomendação específica aplicável para mitigação de riscos de danos aos equipamentos conectados à tubulação interferida (juntas isolantes e/ou retificadores).

Estudo de interferências em regime permanente

Visão geral dos sistemas interferente e interferido

A Figura 5 representa o domínio de estudo global para acoplamento magnético em regime permanente, tal como modelada no software de simulação a partir das plantas cadastrais e/ou desenhos as-built georreferenciados.

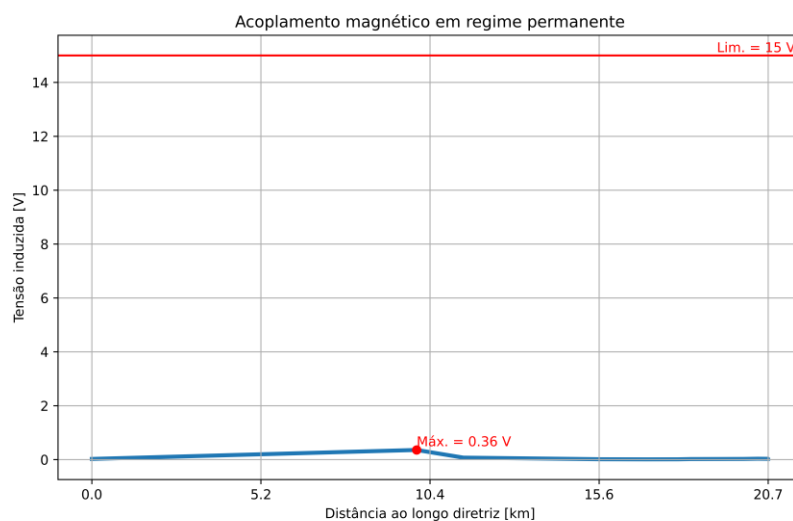
Fig. 5. Visão geral dos sistemas interferente e interferido



Tensões de longa duração induzidas por acoplamento magnético

O gráfico contido na Figura 6 apresenta a distribuição de tensões induzidas na instalação ao interferida em regime permanente, para o caso de acoplamento magnético com a LT estudada.

Fig. 6. Gráfico de tensão induzida na tubulação em regime permanente

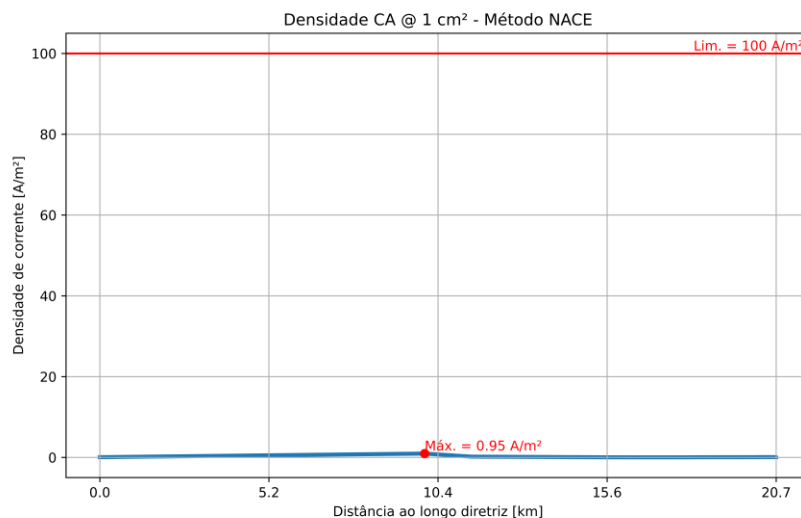


Tab. 6. Sumário tensão induzida em regime permanente

Valor máximo [V]	Limite [V]	Critério
0,36	15	Atende

O gráfico da Figura 7 apresenta os valores de densidade de corrente de fuga através de uma falha de revestimento circular (teórica) com área de superfície igual a 1 cm^2 , conforme NACE TG-327.

Fig. 7. Gráfico de densidade de corrente alternada em regime permanente



Tab. 7. Sumário densidade de corrente e probabilidade de corrosão por CA

Valor máximo [A/m^2]	Limite [A/m^2]	Critério
0,95	100	Atende

Conclusões do estudo em regime permanente

A partir das simulações computacionais realizadas e dos resultados obtidos para o cenário de operação normal da instalação interferente, conclui-se que:

- **Tensões induzidas de longa duração:** O valor máximo provável da tensão de longa duração induzida na tubulação interferida é **inferior** ao limite de segurança preceituado de 15 V, condição que dispensa a necessidade de medidas de controle.
- **Corrosão por CA:** O valor máximo provável da densidade de corrente de fuga através de uma superfície de 1 cm^2 é **inferior** ao limite de segurança preceituado de 100 A/m^2 , condição que caracteriza probabilidade desprezível de ocorrência de corrosão por CA.

Recomendações para mitigação de riscos em regime permanente

- Não há recomendação específica aplicável para neutralização dos efeitos das tensões induzidas em regime permanente na instalação interferida.
- Como medida adicional de segurança, para serviços de instalação e manutenção na tubulação na zona contida no afastamento de até 10 metros em relação ao eixo da LT, deverão ser previstas malhas provisórias de aterramento equipotencial, interligadas às colunas de duto expostas e abrangendo a totalidade da área ocupada pelos profissionais

envolvidos em trabalhos na tubulação, sem prejuízo dos demais requisitos de segurança aplicáveis.

AutoROWReport

Relatório de interferências eletromagnéticas

Caso: ROW-1035W5F3

Objetivo e abrangência dos estudos

O objetivo deste relatório é apresentar os resultados e correspondentes análises de interferências eletromagnéticas envolvendo as instalações/estruturas descritas a seguir.

- **Instalação interferida (alvo):** NOVA VENEZA X SIDEROPOLIS X COCAL.
- **Empresa interferida:** SCGAS.
- **Instalação interferente (fonte):** LI 69kV Criciúma Floresta - Sideróp ESUL.
- **Empresa interferente:** CELESC.
- **Descrição do caso:** CASO 3 CELESC 69KV CRISCIUMA FLORESTA - SIDEROPOLIS ESUL.

Considerações gerais

1. As interferências são avaliadas em dois cenários distintos: 1) ocorrência de falta à terra monofásica na estrutura interferente, para análise de tensões induzidas de curta duração (transitórias) por acoplamentos indutivo e condutivo; e 2) instalação interferente em condições normais de operação (regime permanente), para avaliação das tensões de longa duração induzidas por acoplamento indutivo.
2. Os efeitos decorrentes dos mecanismos de acoplamento capacitivo estão implícitos nos cálculos, embora seus impactos nas tubulações interferidas sejam pouco significativos, por se tratarem de instalações subterrâneas.
3. Todos os modelos de simulação construídos no software são baseados nas efetivas coordenadas das linhas de transmissão e instalações interferidas, e incluem todo o percurso descrito na documentação do projeto. Portanto, os resultados apresentados representam todos os efeitos de acoplamento em cruzamentos, paralelismos e obliquidades, independente do tipo de aproximação ou afastamento entre as estruturas estudadas.
4. Para efeito de modelagem dos parâmetros elétricos das linhas de transmissão, considera-se a presença simultânea de todos os circuitos, pertencentes a todas as concessionárias envolvidas, que possuem encaminhamento em paralelo numa mesma faixa de servidão.
5. Para estudos transitórios, a falta monofásica é simulada na fase mais próxima ao encaminhamento do duto. Nas análises envolvendo subestações, a falta é aplicada ao seu barramento, no ponto imediatamente após a saída do transformador.
6. Os cálculos realizados para regime de falta consideram, simultaneamente, os efeitos de acoplamento indutivo e condutivo entre a(s) linha(s) de transmissão e a tubulação. Os perfis de tensão apresentados nos gráficos correspondem à sobreposição dos efeitos indutivo e condutivo, sendo este último a parcela mais significativa nas análises em

regime transitório. Em regime permanente, não há que se falar em acoplamento condutivo, uma vez que, em condições normais de operação, não há corrente de retorno fluindo pelo solo.

7. Os cálculos apresentados consideram os respectivos arranjos dos condutores de aterramento conforme expressamente indicado nos desenhos de projeto, e são válidos apenas para as situações retratadas.
8. É responsabilidade da CONTRATADA designada para as obras de construção validar em campo a configuração dos cabos de aterramento das estruturas envolvidas e, se constatada alguma divergência, comunicar a CONTRATANTE, para que sejam promovidas as ações necessárias.
9. A presença de elementos que, por sua natureza e/ou finalidade, tenham efeitos mitigadores das tensões CA induzidas, tais como dispositivos supressores de surtos, leitos de anodos, malhas de aterramento etc., onde existentes, foi considerada nos modelos de simulação.
10. As estimativas de corrosão por corrente alternada consideram a influência das tensões induzidas em regime permanente sobre um defeito de revestimento circular com área de superfície igual a 1 cm² em solo uniforme.

Análise de resistividade do solo

A Tabela 1 contém os valores das medições das grandezas aparentes do solo, executadas no local do estudo.

Tab. 1. Valores medidos em campo pelo método de Wenner

Espaçamento [m]	Resistência aparente [Ω]
1	11,94
2	6,98
4	3,98
8	1,32
16	0,71
32	0,25

Os valores dos parâmetros do solo estratificado em camadas são discriminados na Tabela 2.

Tab. 2. Resultados do modelo de solo estratificado em camadas horizontais

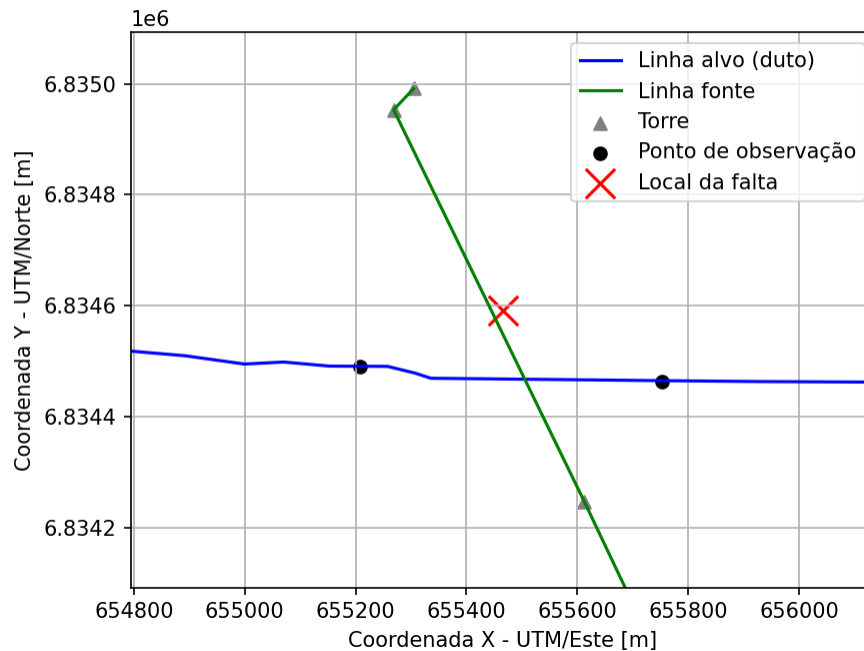
Camada	Resistividade [Ω -m]	Espessura [m]	Coef. reflexão	Contraste
Ar	∞	∞	0	1
1	84,62	7,04	-1	0
2	49,85	∞	-0,26	0,59

Estudo de interferências em regime de falta

Geometria da aproximação

A Figura 1 representa o domínio de estudo e a geometria da aproximação retratada no caso avaliado, tal como modelada no software de simulação a partir das plantas cadastrais e/ou desenhos as-built georreferenciados.

Fig. 1. Vista da aproximação entre as estruturas interferente e interferida



Premissas do estudo de caso

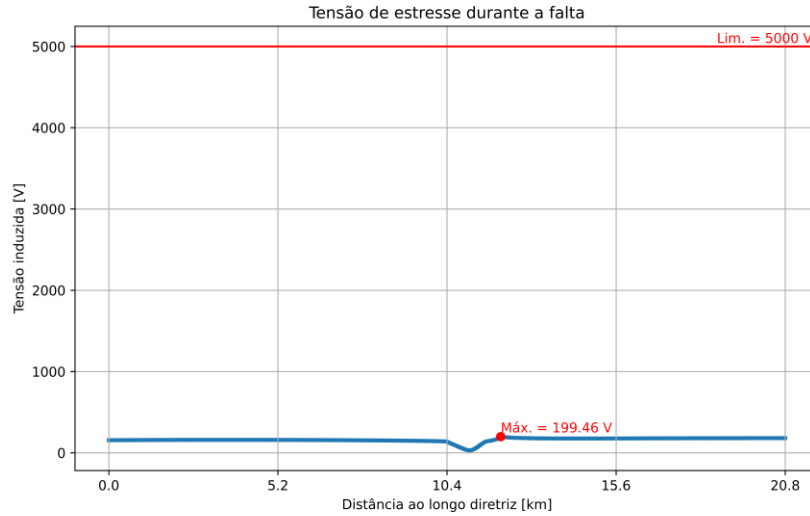
As principais premissas adotadas para realização das simulações computacionais do caso avaliado são descritas abaixo.

- **Simulação:** Acoplamento em regime transitório (falta).
- **Geometria:** Cruzamento.
- **Torre típica:** Conforme projeto.
- **Ponto de aplicação da falta:** Torre conforme figura.
- **Epicentro:** (X = 655.465,87; Y = 6.834.592,22).
- **Tempo de atuação da proteção:** 50 ms.
- **Espessura da camada de recobrimento:** 10 cm.
- **Especificação do material de recobrimento:** Brita granítica nº 4 recoberta com cimento alizado.
- **Resistividade do material de recobrimento:** 10000 Ω -m.

Tensões de estresse, toque e passo

Os gráficos a seguir apresentam as distribuições de tensões induzidas na instalação interferida, incluindo valores nos afloramentos e limites de segurança, para o caso de falta retratado.

Fig. 2. Gráfico de tensão induzida na tubulação durante a falta e limite suportável para o revestimento isolante



Tab. 3. Sumário tensão de estresse imposta à instalação interferida

Valor máximo [V]	Limite [V]	Critério
199,46	5000	Atende

As Figs. 3 e 4 contém, respectivamente, os gráficos de tensão de toque e passo ao longo da instalação interferida, bem como os correspondentes limites de segurança considerando o solo natural, isto é, desprovido de camada de recobrimento para mitigação.

Fig. 3. Gráfico de tensão de toque durante a falta e limite suportável **com solo natural**

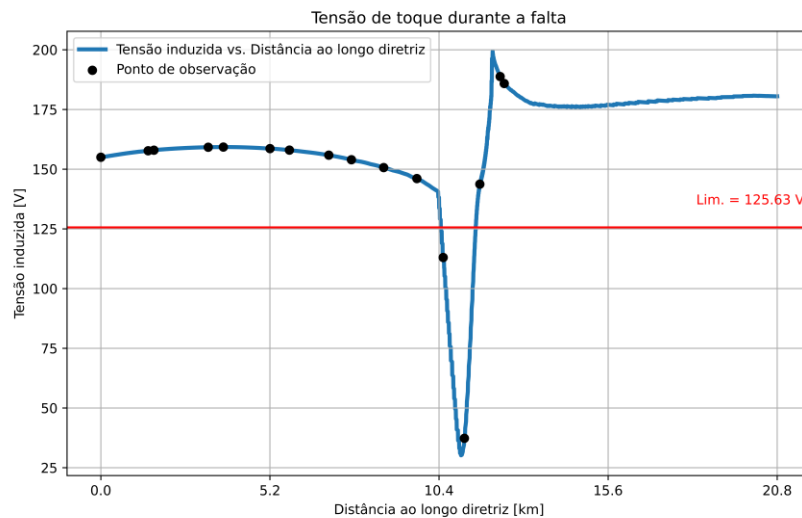
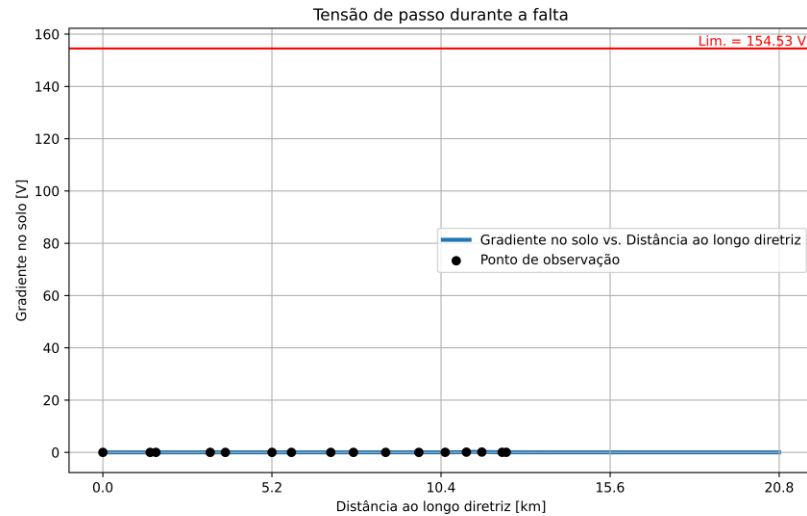


Fig. 4. Gráfico de tensão de passo durante a falta e limite suportável **com solo natural**



A Tabela 4 sintetiza os resultados verificados nos pontos de observação (afloramentos) e equipamentos conectados à instalação interferida. São indicados os valores que excedem os limites de segurança admissíveis para tensões de toque e passo, considerando o solo em seu estado natural, isto é, desprovido de camada de recobrimento.

Tab. 4. Tensões de toque e passo nos pontos de observação **considerando solo natural**

Identificação	Valor Et [V]	Limite Et [V]	Critério Et	Valor Ep [V]	Limite Ep [V]	Critério Ep
ETC 09 / PTJI 01	154,99	130,72	Não atende	0,01	174,89	Atende
VB-01	185,86	130,72	Não atende	0,03	174,89	Atende
PTCP-01	157,96	130,72	Não atende	< 1 mV	174,89	Atende
VB-02	159,25	130,72	Não atende	< 1 mV	174,89	Atende
PTCP-02	157,97	130,72	Não atende	< 1 mV	174,89	Atende
VB-03	153,94	130,72	Não atende	< 1 mV	174,89	Atende
PTCP-03	146,06	130,72	Não atende	< 1 mV	174,89	Atende
VB-04	143,72	130,72	Não atende	0,13	174,89	Atende
PTCP-04	113,01	130,72	Atende	0,02	174,89	Atende
VB-05	188,80	130,72	Não atende	0,04	174,89	Atende
PTCP-05	157,73	130,72	Não atende	< 1 mV	174,89	Atende

ERP-01 – PTMI-03 - PTJI 02	159,18	130,72	Não atende	< 1 mV	174,89	Atende
PTMI-02	158,61	130,72	Não atende	< 1 mV	174,89	Atende
VB-06	155,87	130,72	Não atende	< 1 mV	174,89	Atende
PTCP-06	150,68	130,72	Não atende	< 1 mV	174,89	Atende
PTMI-01	37,31	130,72	Atende	0,09	174,89	Atende
ECP-10 / PTJI 03	45,61	130,72	Atende	0,11	174,89	Atende

A Tabela 5 reproduz os mesmos resultados de tensão de toque e passo nos pontos de observação, porém considerando o solo recoberto com uma camada de material de mitigação, conforme especificado anteriormente. Nessas condições, os limites de segurança toleráveis são aumentados, conforme a tabela evidencia.

Tab. 5. Tensões de toque e passo nos pontos de observação **considerando mitigação com recobrimento do solo**

Identificação	Valor Et [V]	Limite Et [V]	Critério Et	Valor Ep [V]	Limite Ep [V]	Critério Ep
ETC 09 / PTJI 01	154,99	1.163,01	Atende	0,01	4.582,45	Atende
VB-01	185,86	1.163,01	Atende	0,03	4.582,45	Atende
PTCP-01	157,96	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
VB-02	159,25	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
PTCP-02	157,97	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
VB-03	153,94	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
PTCP-03	146,06	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
VB-04	143,72	1.163,01	Atende	0,13	4.582,45	Atende
PTCP-04	113,01	1.163,01	Atende	0,02	4.582,45	Atende
VB-05	188,80	1.163,01	Atende	0,04	4.582,45	Atende
PTCP-05	157,73	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
ERP-01 – PTMI-03 - PTJI 02	159,18	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
PTMI-02	158,61	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
VB-06	155,87	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
PTCP-06	150,68	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
PTMI-01	37,31	1.163,01	Atende	0,09	4.582,45	Atende
ECP-10 / PTJI 03	41,38	1.163,01	Atende	0,09	4.582,45	Atende

Conclusões do estudo do cenário de falta

A partir das simulações computacionais realizadas e dos resultados obtidos para o cenário de falta retratado, conclui-se que:

- **Estresse imposto ao revestimento isolante:** O valor máximo provável da tensão de estresse imposta ao revestimento isolante da instalação interferida é **inferior** ao limite de segurança preceituado de 5000 V, condição que dispensa a necessidade de medidas de controle.
- **Tensão de toque nos afloramentos:** Os valores prováveis de tensão de toque verificados nos pontos de afloramento da instalação interferida indicam a ocorrência de **violações aos limites de segurança suportáveis**, devendo-se implementar ações complementares de mitigação do risco de eletrocussão, conforme recomendações descritas adiante.
- **Tensão de passo nos afloramentos:** Os valores prováveis de tensão de passo verificados nos pontos de afloramento da instalação interferida são **inferiores aos limites suportáveis**, o que dispensa a adoção de medidas de mitigação.

Recomendações para mitigação de riscos em cenário de falta

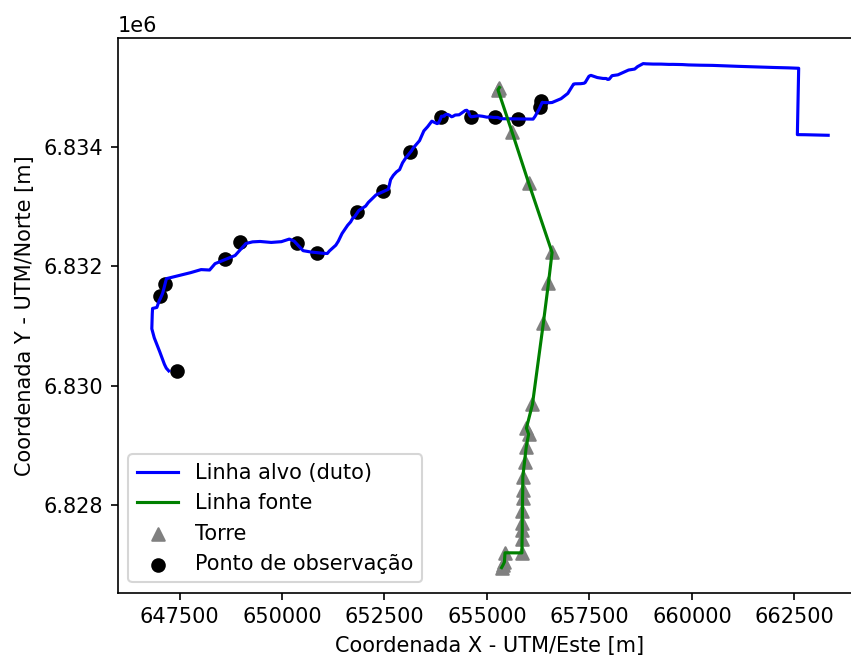
- Não há recomendação específica aplicável para neutralização da tensão de estresse imposta ao revestimento isolante da instalação interferida.
- Para mitigação dos valores de tensão de toque superiores aos limites toleráveis, recomenda-se a aplicação de uma camada de material isolante sobre a superfície do solo nos pontos de afloramento indicados, solução demonstrada eficiente para neutralização dos riscos detectados, conforme resultados apresentados neste relatório.
- Não há recomendação específica aplicável para mitigação de riscos de danos aos equipamentos conectados à tubulação interferida (juntas isolantes e/ou retificadores).

Estudo de interferências em regime permanente

Visão geral dos sistemas interferente e interferido

A Figura 5 representa o domínio de estudo global para acoplamento magnético em regime permanente, tal como modelada no software de simulação a partir das plantas cadastrais e/ou desenhos as-built georreferenciados.

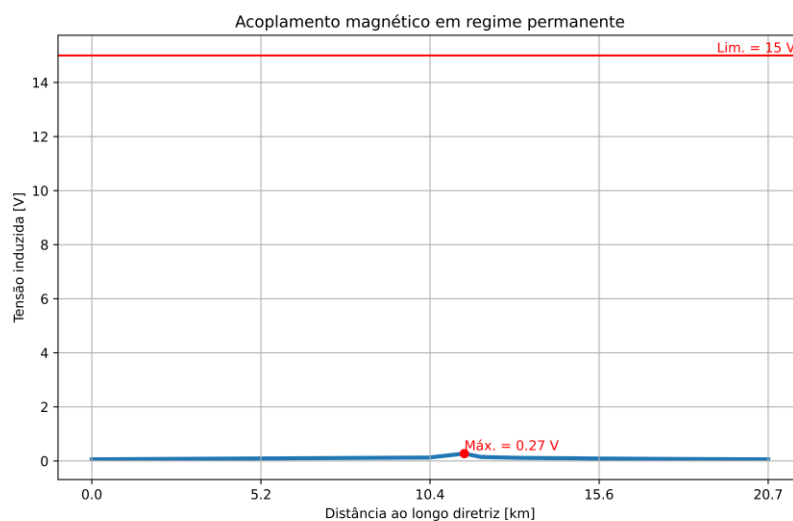
Fig. 5. Visão geral dos sistemas interferente e interferido



Tensões de longa duração induzidas por acoplamento magnético

O gráfico contido na Figura 6 apresenta a distribuição de tensões induzidas na instalação ao interferida em regime permanente, para o caso de acoplamento magnético com a LT estudada.

Fig. 6. Gráfico de tensão induzida na tubulação em regime permanente

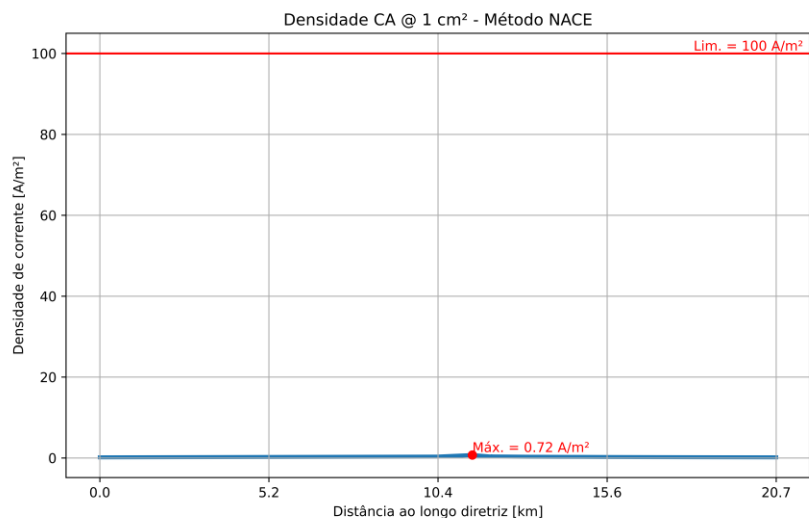


Tab. 6. Sumário tensão induzida em regime permanente

Valor máximo [V]	Limite [V]	Critério
0,27	15	Atende

O gráfico da Figura 7 apresenta os valores de densidade de corrente de fuga através de uma falha de revestimento circular (teórica) com área de superfície igual a 1 cm^2 , conforme NACE TG-327.

Fig. 7. Gráfico de densidade de corrente alternada em regime permanente



Tab. 7. Sumário densidade de corrente e probabilidade de corrosão por CA

Valor máximo [A/m^2]	Limite [A/m^2]	Critério
0,72	100	Atende

Conclusões do estudo em regime permanente

A partir das simulações computacionais realizadas e dos resultados obtidos para o cenário de operação normal da instalação interferente, conclui-se que:

- **Tensões induzidas de longa duração:** O valor máximo provável da tensão de longa duração induzida na tubulação interferida é **inferior** ao limite de segurança preceituado de 15 V, condição que dispensa a necessidade de medidas de controle.
- **Corrosão por CA:** O valor máximo provável da densidade de corrente de fuga através de uma superfície de 1 cm^2 é **inferior** ao limite de segurança preceituado de 100 A/m^2 , condição que caracteriza probabilidade desprezível de ocorrência de corrosão por CA.

Recomendações para mitigação de riscos em regime permanente

- Não há recomendação específica aplicável para neutralização dos efeitos das tensões induzidas em regime permanente na instalação interferida.
- Como medida adicional de segurança, para serviços de instalação e manutenção na tubulação na zona contida no afastamento de até 10 metros em relação ao eixo da LT, deverão ser previstas malhas provisórias de aterramento equipotencial, interligadas às colunas de duto expostas e abrangendo a totalidade da área ocupada pelos profissionais

envolvidos em trabalhos na tubulação, sem prejuízo dos demais requisitos de segurança aplicáveis.

AutoROWReport

Relatório de interferências eletromagnéticas

Caso: ROW-1020X5K9

Objetivo e abrangência dos estudos

O objetivo deste relatório é apresentar os resultados e correspondentes análises de interferências eletromagnéticas envolvendo as instalações/estruturas descritas a seguir.

- **Instalação interferida (alvo):** GASODUTO NOVA VENEZA - SIDEROPOLIS - COCAL.
- **Empresa interferida:** SCGÁS - COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA.
- **Instalação interferente (fonte):** LD-69 kV Siderópolis RB.
- **Empresa interferente:** Coopercocal.
- **Descrição do caso:** CASO 1 - PARALELISMO 1.

Considerações gerais

1. As interferências são avaliadas em dois cenários distintos: 1) ocorrência de falta à terra monofásica na estrutura interferente, para análise de tensões induzidas de curta duração (transitórias) por acoplamentos indutivo e condutivo; e 2) instalação interferente em condições normais de operação (regime permanente), para avaliação das tensões de longa duração induzidas por acoplamento indutivo.
2. Os efeitos decorrentes dos mecanismos de acoplamento capacitivo estão implícitos nos cálculos, embora seus impactos nas tubulações interferidas sejam pouco significativos, por se tratarem de instalações subterrâneas.
3. Todos os modelos de simulação construídos no software são baseados nas efetivas coordenadas das linhas de transmissão e instalações interferidas, e incluem todo o percurso descrito na documentação do projeto. Portanto, os resultados apresentados representam todos os efeitos de acoplamento em cruzamentos, paralelismos e obliquidades, independente do tipo de aproximação ou afastamento entre as estruturas estudadas.
4. Para efeito de modelagem dos parâmetros elétricos das linhas de transmissão, considera-se a presença simultânea de todos os circuitos, pertencentes a todas as concessionárias envolvidas, que possuem encaminhamento em paralelo numa mesma faixa de servidão.
5. Para estudos transitórios, a falta monofásica é simulada na fase mais próxima ao encaminhamento do duto. Nas análises envolvendo subestações, a falta é aplicada ao seu barramento, no ponto imediatamente após a saída do transformador.
6. Os cálculos realizados para regime de falta consideram, simultaneamente, os efeitos de acoplamento indutivo e condutivo entre a(s) linha(s) de transmissão e a tubulação. Os perfis de tensão apresentados nos gráficos correspondem à sobreposição dos efeitos indutivo e condutivo, sendo este último a parcela mais significativa nas análises em

regime transitório. Em regime permanente, não há que se falar em acoplamento condutivo, uma vez que, em condições normais de operação, não há corrente de retorno fluindo pelo solo.

7. Os cálculos apresentados consideram os respectivos arranjos dos condutores de aterramento conforme expressamente indicado nos desenhos de projeto, e são válidos apenas para as situações retratadas.
8. É responsabilidade da CONTRATADA designada para as obras de construção validar em campo a configuração dos cabos de aterramento das estruturas envolvidas e, se constatada alguma divergência, comunicar a CONTRATANTE, para que sejam promovidas as ações necessárias.
9. A presença de elementos que, por sua natureza e/ou finalidade, tenham efeitos mitigadores das tensões CA induzidas, tais como dispositivos supressores de surtos, leitos de anodos, malhas de aterramento etc., onde existentes, foi considerada nos modelos de simulação.
10. As estimativas de corrosão por corrente alternada consideram a influência das tensões induzidas em regime permanente sobre um defeito de revestimento circular com área de superfície igual a 1 cm² em solo uniforme.

Análise de resistividade do solo

A Tabela 1 contém os valores das medições das grandezas aparentes do solo, executadas no local do estudo.

Tab. 1. Valores medidos em campo pelo método de Wenner

Espaçamento [m]	Resistência aparente [Ω]
1	30,40
2	17,58
4	8,67
8	2,99
16	1,10
32	0,41

Os valores dos parâmetros do solo estratificado em camadas são discriminados na Tabela 2.

Tab. 2. Resultados do modelo de solo estratificado em camadas horizontais

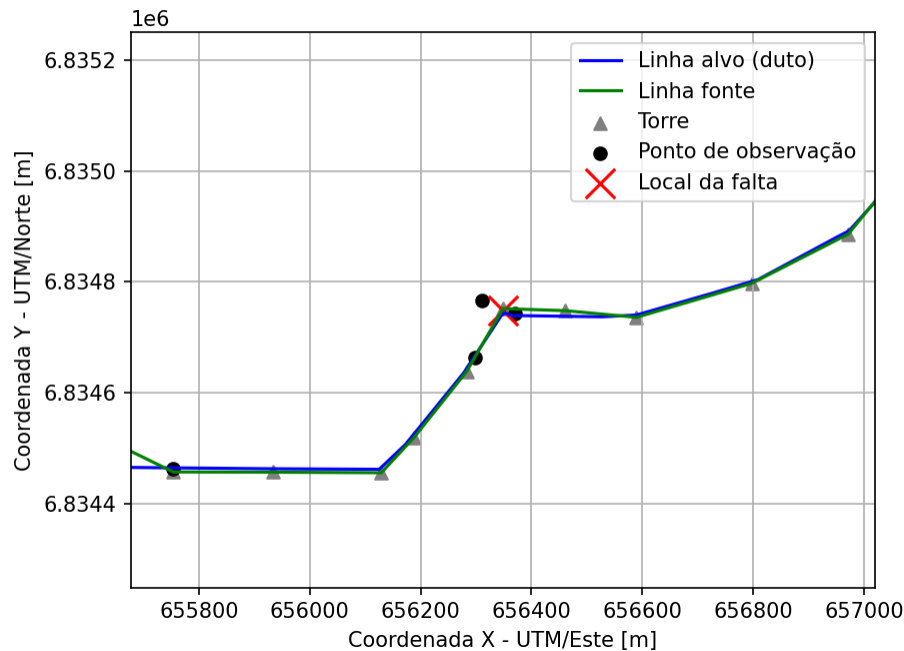
Camada	Resistividade [Ω -m]	Espessura [m]	Coef. reflexão	Contraste
Ar	∞	∞	0	1
1	212,26	6,03	-1	0
2	78,68	∞	-0,46	0,37

Estudo de interferências em regime de falta

Geometria da aproximação

A Figura 1 representa o domínio de estudo e a geometria da aproximação retratada no caso avaliado, tal como modelada no software de simulação a partir das plantas cadastrais e/ou desenhos as-built georreferenciados.

Fig. 1. Vista da aproximação entre as estruturas interferente e interferida



Premissas do estudo de caso

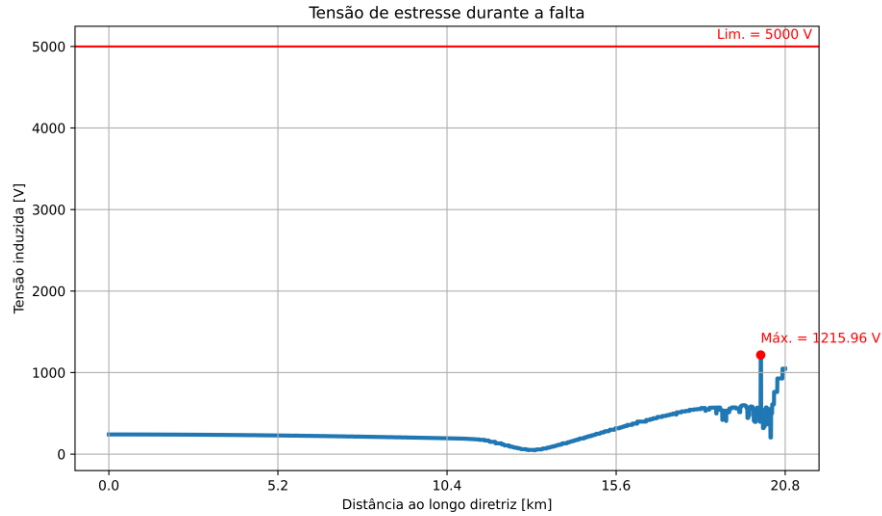
As principais premissas adotadas para realização das simulações computacionais do caso avaliado são descritas abaixo.

- **Simulação:** Acoplamento em regime transitório (falta).
- **Geometria:** Paralelismo.
- **Torre típica:** Conforme projeto.
- **Ponto de aplicação da falta:** Torre conforme figura.
- **Epicentro:** (X = 656.348,65; Y = 6.834.749,30).
- **Tempo de atuação da proteção:** 500 ms.
- **Espessura da camada de recobrimento:** 10 cm.
- **Especificação do material de recobrimento:** Brita granítica nº 4 recoberto com cimento alizado.
- **Resistividade do material de recobrimento:** 10000 Ω -m.

Tensões de estresse, toque e passo

Os gráficos a seguir apresentam as distribuições de tensões induzidas na instalação interferida, incluindo valores nos afloramentos e limites de segurança, para o caso de falta retratado.

Fig. 2. Gráfico de tensão induzida na tubulação durante a falta e limite suportável para o revestimento isolante



Tab. 3. Sumário tensão de estresse imposta à instalação interferida

Valor máximo [V]	Limite [V]	Critério
1.215,96	5000	Atende

As Figs. 3 e 4 contém, respectivamente, os gráficos de tensão de toque e passo ao longo da instalação interferida, bem como os correspondentes limites de segurança considerando o solo natural, isto é, desprovido de camada de recobrimento para mitigação.

Fig. 3. Gráfico de tensão de toque durante a falta e limite suportável **com solo natural**

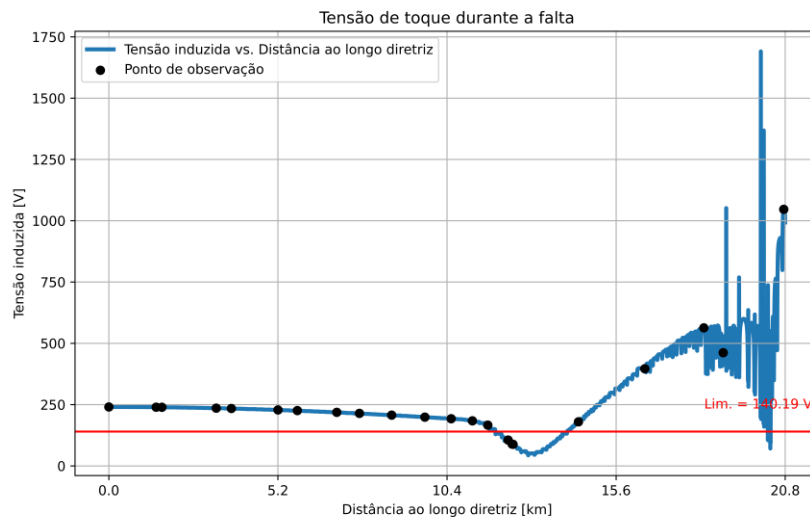
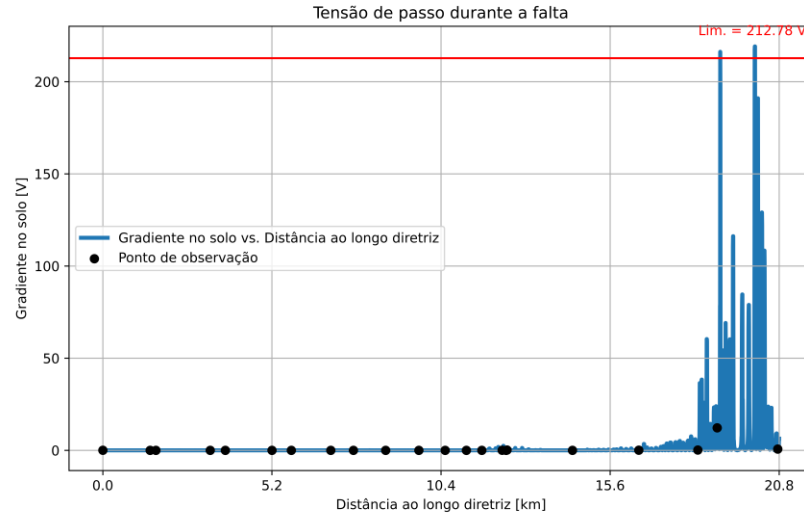


Fig. 4. Gráfico de tensão de passo durante a falta e limite suportável **com solo natural**



A Tabela 4 sintetiza os resultados verificados nos pontos de observação (afloramentos) e equipamentos conectados à instalação interferida. São indicados os valores que excedem os limites de segurança admissíveis para tensões de toque e passo, considerando o solo em seu estado natural, isto é, desprovido de camada de recobrimento.

Tab. 4. Tensões de toque e passo nos pontos de observação **considerando solo natural**

Identificação	Valor Et [V]	Limite Et [V]	Critério Et	Valor Ep [V]	Limite Ep [V]	Critério Ep
ETC 09 / PTJI 01	240,61	152,93	Não atende	0,03	263,74	Atende
VB-01	239,59	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
PTCP-01	239,36	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
VB-02	235,61	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
PTCP-02	234,38	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
VB-03	228,41	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
PTCP-03	225,87	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
VB-04	218,71	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
PTCP-04	214,41	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
VB-05	207,36	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
PTCP-05	199,18	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende

ERP-01 – PTMI-03 - PTJI 02	192,49	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
PTMI-02	184,03	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
VB-06	166,37	152,93	Não atende	0,02	263,74	Atende
PTCP-06	105,55	152,93	Atende	0,03	263,74	Atende
PTMI-01	88,87	152,93	Atende	0,02	263,74	Atende
ECP-10 / PTJI 03	88,31	152,93	Atende	0,18	263,74	Atende
ETAPA 4 - PTCP-01	180,15	152,93	Não atende	< 1 mV	263,74	Atende
ETAPA 4 - PTCP-02	396,45	152,93	Não atende	0,07	263,74	Atende
ETAPA 4 - PTCP-03	563,33	152,93	Não atende	0,18	263,74	Atende
ETAPA 4 - PTCP-04	461,73	152,93	Não atende	12,23	263,74	Atende
ETAPA 4 - PTCP-05	1.046,45	152,93	Não atende	0,68	263,74	Atende
ETAPA 4 - PTCP-06	1.046,45	152,93	Não atende	0,68	263,74	Atende
ETAPA 4 - RET-01	648,35	152,93	Não atende	0,04	263,74	Atende
ETAPA 4 - VB-01 / ERP-03 - PTJI-03	432,25	152,93	Não atende	0,28	263,74	Atende
ETAPA 4 - VB-02 - ERP-02 - PTJI-02	389,65	152,93	Não atende	0,34	263,74	Atende
ETAPA 4 - VB-03	586,33	152,93	Não atende	0,15	263,74	Atende

A Tabela 5 reproduz os mesmos resultados de tensão de toque e passo nos pontos de observação, porém considerando o solo recoberto com uma camada de material de mitigação, conforme especificado anteriormente. Nessas condições, os limites de segurança toleráveis são aumentados, conforme a tabela evidencia.

Tab. 5. Tensões de toque e passo nos pontos de observação **considerando mitigação com recobrimento do solo**

Identificação	Valor Et [V]	Limite Et [V]	Critério Et	Valor Ep [V]	Limite Ep [V]	Critério Ep
ETC 09 / PTJI 01	240,61	1.163,01	Atende	0,03	4.582,45	Atende
VB-01	239,59	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
PTCP-01	239,36	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
VB-02	235,61	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende

PTCP-02	234,38	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
VB-03	228,41	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
PTCP-03	225,87	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
VB-04	218,71	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
PTCP-04	214,41	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
VB-05	207,36	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
PTCP-05	199,18	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
ERP-01 – PTMI-03 - PTJI 02	192,49	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
PTMI-02	184,03	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
VB-06	166,37	1.163,01	Atende	0,02	4.582,45	Atende
PTCP-06	105,55	1.163,01	Atende	0,03	4.582,45	Atende
PTMI-01	88,87	1.163,01	Atende	0,02	4.582,45	Atende
ECP-10 / PTJI 03	88,31	1.163,01	Atende	0,18	4.582,45	Atende
ETAPA 4 - PTCP-01	180,15	1.163,01	Atende	< 1 mV	4.582,45	Atende
ETAPA 4 - PTCP-02	396,45	1.163,01	Atende	0,07	4.582,45	Atende
ETAPA 4 - PTCP-03	563,33	1.163,01	Atende	0,18	4.582,45	Atende
ETAPA 4 - PTCP-04	461,73	1.163,01	Atende	12,23	4.582,45	Atende
ETAPA 4 - PTCP-05	1.046,45	1.163,01	Atende	0,68	4.582,45	Atende
ETAPA 4 - PTCP-06	1.046,45	1.163,01	Atende	0,68	4.582,45	Atende
ETAPA 4 - RET-01	648,35	1.163,01	Atende	0,04	4.582,45	Atende
ETAPA 4 - VB-01 / ERP- 03 - PTJI-03	432,25	1.163,01	Atende	0,28	4.582,45	Atende
ETAPA 4 - VB-02 - ERP- 02 - PTJI-02	389,65	1.163,01	Atende	0,34	4.582,45	Atende
ETAPA 4 - VB-03	586,33	1.163,01	Atende	0,15	4.582,45	Atende

Tensões impostas aos equipamentos conectados à tubulação

Não há análise de suportabilidade aplicável a juntas isolantes e retificadores, visto que não foram verificados no domínio de estudo considerado nas simulações.

Conclusões do estudo do cenário de falta

A partir das simulações computacionais realizadas e dos resultados obtidos para o cenário de falta retratado, conclui-se que:

- **Estresse imposto ao revestimento isolante:** O valor máximo provável da tensão de estresse imposta ao revestimento isolante da instalação interferida é **inferior** ao limite de segurança preceituado de 5000 V, condição que dispensa a necessidade de medidas de controle.
- **Tensão de toque nos afloramentos:** Os valores prováveis de tensão de toque verificados nos pontos de afloramento da instalação interferida indicam a ocorrência de **violações aos limites de segurança suportáveis**, devendo-se implementar ações complementares de mitigação do risco de eletrocussão, conforme recomendações descritas adiante.
- **Tensão de passo nos afloramentos:** Os valores prováveis de tensão de passo verificados nos pontos de afloramento da instalação interferida são **inferiores aos limites suportáveis**, o que dispensa a adoção de medidas de mitigação.

Recomendações para mitigação de riscos em cenário de falta

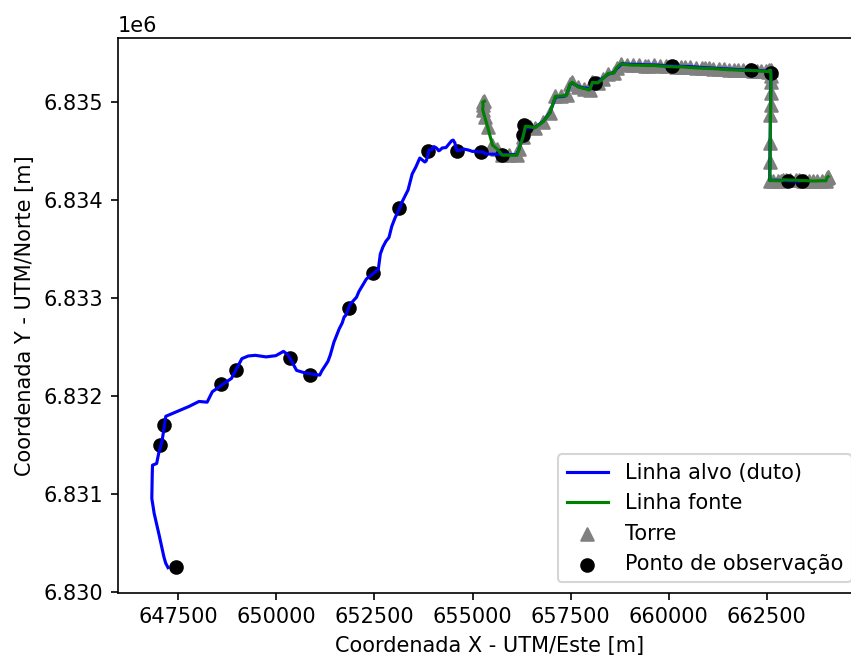
- Não há recomendação específica aplicável para neutralização da tensão de estresse imposta ao revestimento isolante da instalação interferida.
- Para mitigação dos valores de tensão de toque superiores aos limites toleráveis, recomenda-se a aplicação de uma camada de material isolante sobre a superfície do solo nos pontos de afloramento indicados, solução demonstrada eficiente para neutralização dos riscos detectados, conforme resultados apresentados neste relatório.
- Não há recomendação específica aplicável para mitigação de riscos de danos aos equipamentos conectados à tubulação interferida (juntas isolantes e/ou retificadores).

Estudo de interferências em regime permanente

Visão geral dos sistemas interferente e interferido

A Figura 5 representa o domínio de estudo global para acoplamento magnético em regime permanente, tal como modelada no software de simulação a partir das plantas cadastrais e/ou desenhos as-built georreferenciados.

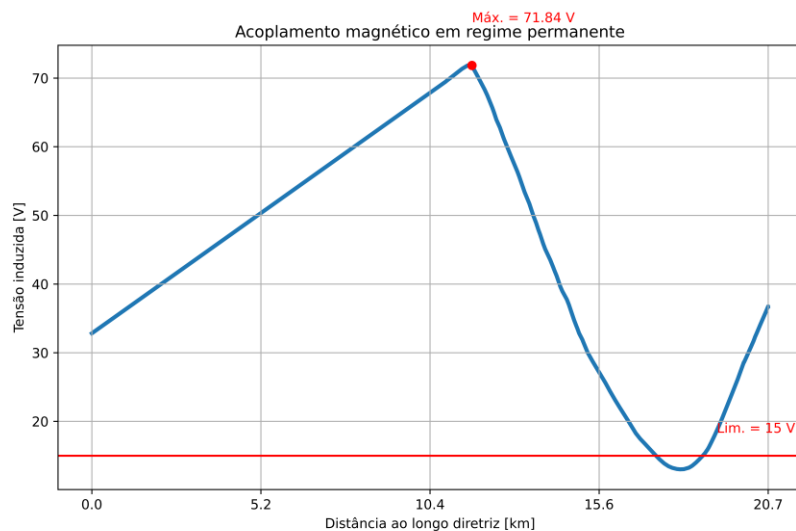
Fig. 5. Visão geral dos sistemas interferente e interferido



Tensões de longa duração induzidas por acoplamento magnético

O gráfico contido na Figura 6 apresenta a distribuição de tensões induzidas na instalação ao interferida em regime permanente, para o caso de acoplamento magnético com a LT estudada.

Fig. 6. Gráfico de tensão induzida na tubulação em regime permanente

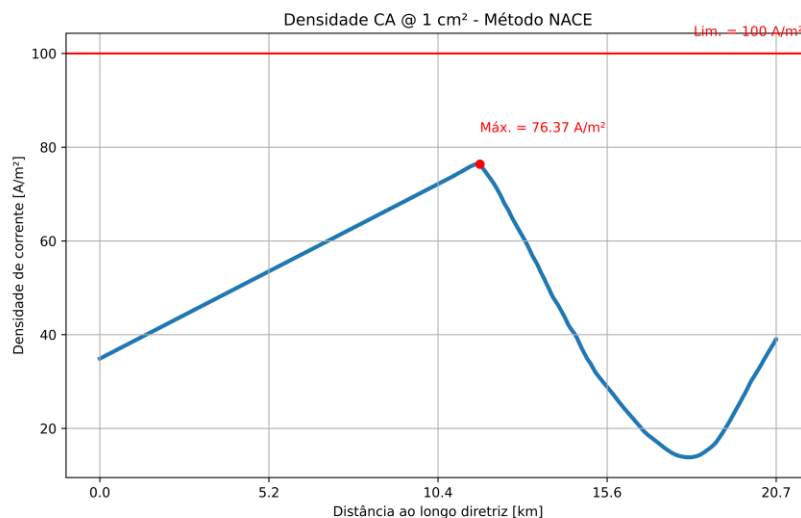


Tab. 6. Sumário tensão induzida em regime permanente

Valor máximo [V]	Limite [V]	Critério
71,84	15	Não atende

O gráfico da Figura 7 apresenta os valores de densidade de corrente de fuga através de uma falha de revestimento circular (teórica) com área de superfície igual a 1 cm², conforme NACE TG-327.

Fig. 7. Gráfico de densidade de corrente alternada em regime permanente



Tab. 7. Sumário densidade de corrente e probabilidade de corrosão por CA

Valor máximo [A/m ²]	Limite [A/m ²]	Critério
76,37	100	Atende

Conclusões do estudo em regime permanente

A partir das simulações computacionais realizadas e dos resultados obtidos para o cenário de operação normal da instalação interferente, conclui-se que:

- **Tensões induzidas de longa duração:** O valor máximo provável da tensão de longa duração induzida na tubulação interferida é **superior** ao limite de segurança preceituado de 15 V, condição que requer a adoção de medidas de controle, conforme recomendações descritas adiante.
- **Corrosão por CA:** O valor máximo provável da densidade de corrente de fuga através de uma superfície de 1 cm² é **inferior** ao limite de segurança preceituado de 100 A/m², condição que caracteriza probabilidade desprezível de ocorrência de corrosão por CA.

Recomendações para mitigação de riscos em regime permanente

- Para neutralização da tensão induzida em regime permanente na instalação interferida, recomenda-se a adoção da seguinte ações de mitigação: (a) instalação de dispositivos desacopladores CC ao longo da extensão de tubulação onde ocorre a violação ao critério de segurança, com malha de aterramento dimensionada para resistência não superior a 5 Ω, preferencialmente nos pontos de teste já existentes;

- Como medida adicional de segurança, para serviços de instalação e manutenção na tubulação na zona contida no afastamento de até 10 metros em relação ao eixo da LT, deverão ser previstas malhas provisórias de aterramento equipotencial, interligadas às colunas de duto expostas e abrangendo a totalidade da área ocupada pelos profissionais envolvidos em trabalhos na tubulação, sem prejuízo dos demais requisitos de segurança aplicáveis.