

**RELATÓRIO TÉCNICO**

N°

RE-44.330.LMT.118

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

2 DE 28

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

Ø

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA 3

N° CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

SUMÁRIO

1	OBJETIVO	6
2	ESCOPO DE ABRANGÊNCIA E LIMITE DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA	6
3	VALIDADE DO ESTUDO	6
4	DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA	6
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	16
9.4	Relação de juntas isolantes	17
9.5	Relação de retificadores	17
9.6	Parâmetros da LT 69 KV CRICIUMA / SIDERÓPOLIS	17
9.6.1	Características gerais da LT	17
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.118

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

3 DE 28

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

Ø

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA 3

N° CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

10 ANÁLISE DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS EM REGIME TRANSITÓRIO	22
10.1 Premissas de cálculo	22
10.2 Estudo da aproximação entre o Gasoduto 8” e o vão entre as torres 5 e 6	23
10.2.1 Geometria da aproximação	23
10.2.2 Distribuição de correntes de falta na LT	23
10.3 Conclusões do estudo em regime transitório	24
10.4 Recomendações e mitigações de interferências em regime de curto-circuito	24
11 ANÁLISE DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICAS EM REGIME PERMANENTE	24
11.1 Premissas de cálculo	24
11.2 Distribuição de tensões induzidas	25
11.3 Conclusões do estudo em regime permanente	25
12 RECOMENDAÇÕES DE CARÁTER GERAL	26
12.1 Medidas relativas à segurança durante a construção e manutenção dos dutos	26
12.2 Uso de equipamentos de proteção individual – EPIs	27
12.3 Sinalização de travessias de linhas de transmissão sobre dutos	27
12.4 Detecção e mitigação de interferências com o sistema de Proteção Catódica	27
ANEXO A	27

**RELATÓRIO TÉCNICO**

N°

RE-44.330.LMT.118

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

4 DE 28

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

Ø

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA 3

N° CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

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 Região D – Etapa 3.....	16
Tabela 5- Características técnicas da LT 69 KV CRICIUMA FLORESTA / SIDERÓPOLIS	18
Tabela 6 - Distâncias de segurança em função da tensão da LT	26

**RELATÓRIO TÉCNICO**

N°

RE-44.330.LMT.118

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

5 DE 28

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

Ø

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA 3

N° CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

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 da aproximação com o Gasoduto no cruzamento entre as torres 5 e 6, município de Siderópolis / SC	15
Figura 5 - Esquema de contrapesos típico	20
Figura 6 - Geometria da torre típica	21
Figura 7 - Distância entre Torres e Gasoduto	22

**RELATÓRIO TÉCNICO**

N°

RE-44.330.LMT.118

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

6 DE 28

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

Ø

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA 3

N° CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

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

LT 69 KV CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL C1 E C2

EMPRESA INTERFERENTE

CELESC

Caso 04: CRUZAMENTO 2 entre o Gasoduto REGIÃO D – SUL CATARINENSE – ETAPA 3 e a LT 69 KV Criciúma / Siderópolis ESUL c1 e c2 no vão entre as torres de nº. 5 e 6, no município de Siderópolis/ SC, com simulação de falta fase-terra na torre 5.

- 1.3. Apresenta-se no ANEXO A, como parte integrante e assumido como inteiramente transcrito no corpo deste documento, o relatório sintético ROW-1034W0G2, o qual contém os resultados numéricos obtidos nas simulações computacionais realizadas e que norteiam as conclusões e recomendações propostas neste texto.

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 **CONTRATANTE** 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

- 3.1. 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.

	RELATÓRIO TÉCNICO		N° RE-44.330.LMT.118	
	CLIENTE: SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA		FOLHA: 7 DE 28	
	PROGRAMA / EMPREENDIMENTO: REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL		REV. Ø	CÓD. / CLIENTE:
	ÁREA: REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA 3		N° CONTRATO:	
TÍTULO: ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6				
[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: <i>Transmission Line Grounding</i>. [11] EPRI/A.G.A Project RP742-1/PR-132-80 – J. Dabkowski, A. Taflove: <i>Mutual Design Considerations for Overhead AC Transmission Lines and Gas Transmission Pipelines Vol. 1 – Engineering Analysis</i>. [12] EPRI/A.G.A Project RP742-1/PR-132-80 – J. Dabkowski, A. Taflove: <i>Mutual Design Considerations for Overhead AC Transmission Lines and Gas Transmission Pipelines Vol. 2 – Prediction and Mitigation Procedures</i>. [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>.				
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.118

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

8 DE 28

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

Ø

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA 3

N° CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

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.

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.

**RELATÓRIO TÉCNICO**

Nº RE-44.330.LMT.118

CLIENTE:
SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINAFOLHA:
9 DE 28PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:
REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURALREV. Ø
CÓD. / CLIENTE:ÁREA:
REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA 3

Nº CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

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 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:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

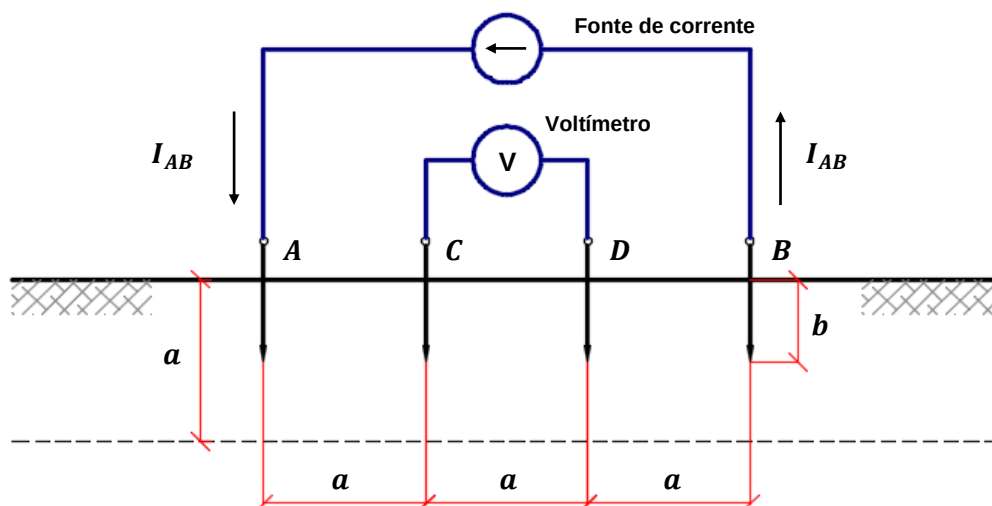


Figura 1 - Ilustração do arranjo de Wenner (quatro pinos)

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.

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

**RELATÓRIO TÉCNICO**

N°

RE-44.330.LMT.118

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

11 DE 28

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

Ø

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA 3

N° CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

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.
- 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.

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

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 (f_{em}) 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:

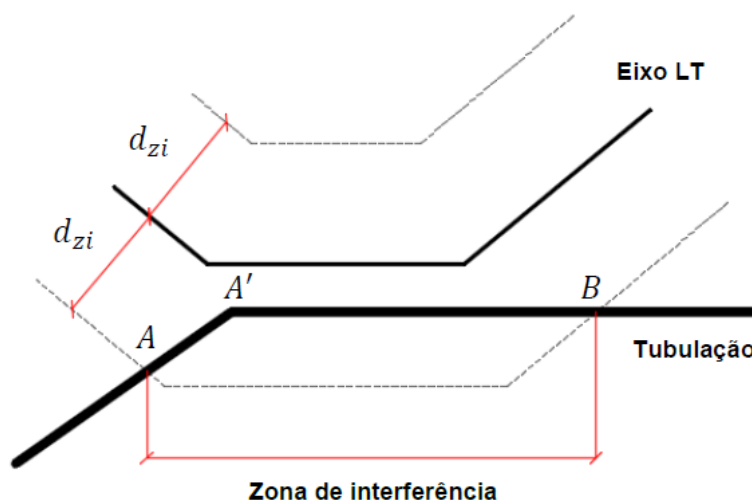


Figura 2 - Zona de interferência eletromagnética

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

[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 LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

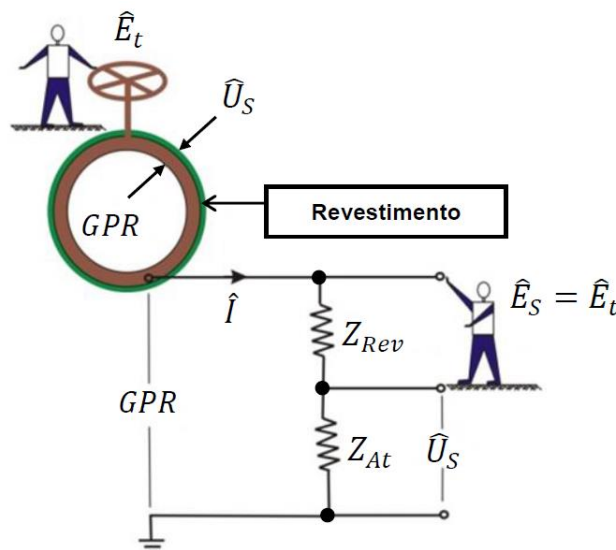


Figura 3 - Ilustração conceitual das tensões de stress e toque

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.118

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

14 DE 28

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

Ø

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA 3

N° CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

$$E_{t,máx} = (R_B + R_{2Fp}) \times I_B \quad [V] \quad (3)$$

$$E_{p,máx} = (R_B + R_{2Fs}) \times I_B \quad [V] \quad (4)$$

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 3.000 a 10.000 $\Omega.m$ para brita granítica nº. 5 ou asfalto; e h_s é a espessura da camada de recobrimento do solo.

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.

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDEROPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

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 pela concessionária **CELESC** e denominada: LT 69 KV CRICIUMA – SIDEROPOLIS ESUL C1 E C2
- 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:

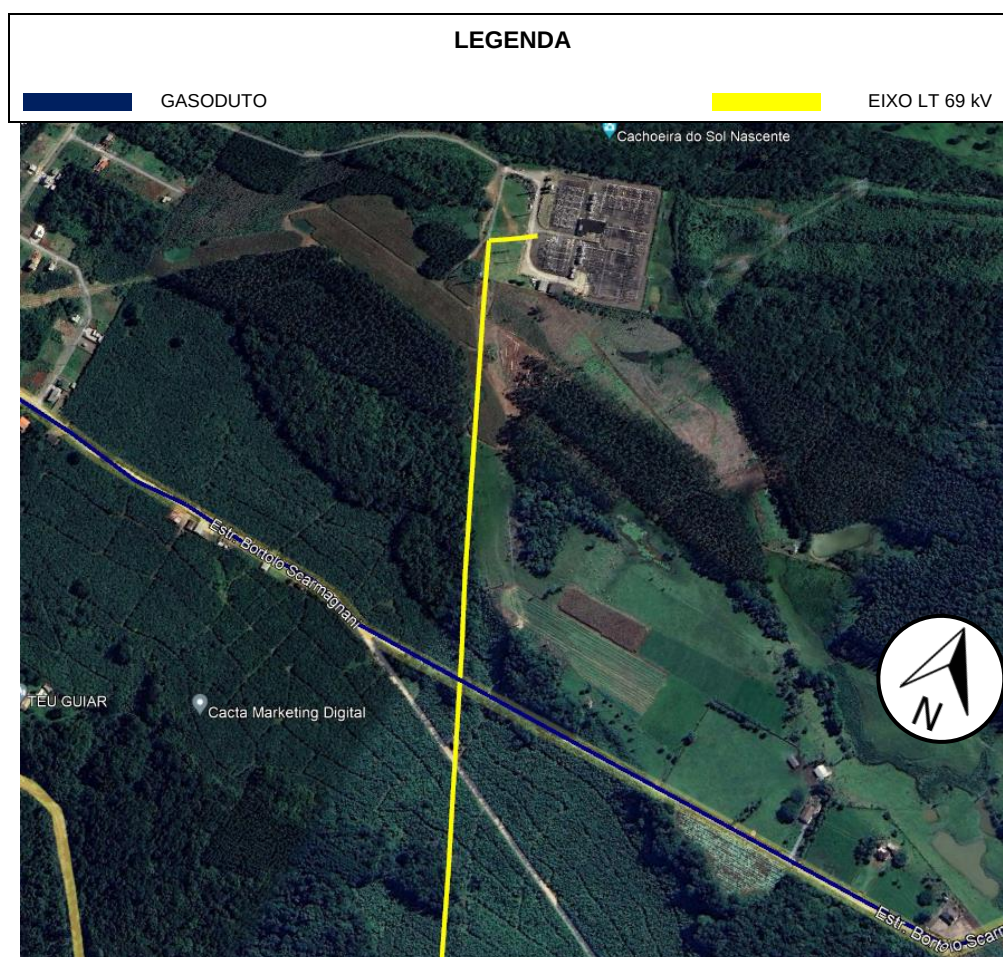


Figura 4 - Visão geral da aproximação com o Gasoduto no cruzamento entre as torres 5 e 6, município de Sideropolis / SC

- 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:

**RELATÓRIO TÉCNICO**

Nº RE-44.330.LMT.118

CLIENTE:
SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINAFOLHA:
16 DE 28PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:
REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURALREV. Ø
CÓD. / CLIENTE:ÁREA:
REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA 3

Nº CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

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

Nº.	Identificação LT / Vão	Duto	X	Y	Tipo
1	LT 69 KV CRICIUMA / SIDERÓPOLIS / 5 - 6	REGIÃO D – ETAPA 3	655450.75	6834584.31	Cruzamento

9.1.5. Registre-se que a despeito de a tabela anterior, bem como o item 1.2, indicarem explicitamente o cruzamento envolvendo o vão 5-6, 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
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.	Descrição	Endereço	Km	X	Y	Instalação
TRECHO 03						
1	PTMI-1	ROD. JOSÉ SPILLERE	0+000	6474387,8 6	68302758, 50	Moirão 2000 x 200 x 200

**RELATÓRIO TÉCNICO**

Nº RE-44.330.LMT.118

CLIENTE:
SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINAFOLHA:
17 DE 28PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:
REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURALREV. Ø
CÓD. / CLIENTE:ÁREA:
REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA 3

Nº CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

2	VB-01	RDO. ANGELO MORO	1+760	648599,91	6832125,2	-
3	PTCP-1	RDO. ANGELO MORO	2+000	6471380,3 0	68317009, 24	Moirão 2000 x 150 x 150
4	VB-02	RDO. ANGELO MORO	3+580	650357,67	6832389,1	-
5	PTCP-2	RDO. ANGELO MORO	4+000	6489748,5 9	68322701, 23	Moirão 2000 x 150 x 150
6	VB-03	RDO. ANGELO MORO	5+546	651839,56	6832901,1 5	-
7	PTCP-3	RDO. ANGELO MORO	6+000	6508544,8 1	68322186, 29	Moirão 2000 x 150 x 150
8	VB-04	RDO. ANGELO MORO	7+260	653132,09	6833914,1	-
9	PTCP-4	RDO. ANGELO MORO	8+000	6524741,2 0	68332553, 06	Moirão 2000 x 150 x 150
10	VB-05	RDO. MUNI. ALDEMAR PASQUALI SAVARIS	08+980	653132,09	6833914,1	-
11	PTCP-5	RDO. MUNI. ALDEMAR PASQUALI SAVARIS	10+000	6538754,3 2	68344959, 09	Moirão 2000 x 150 x 150
12	PTMI-2	RDO. MUNI. ALDEMAR PASQUALI SAVARIS	12+750	6563511,9 6	68347401, 95	Moirão 2000 x 200 x 200
13	VB-06	RDO. MUNI. ALDEMAR PASQUALI SAVARIS	11+460	655208,34	6834490,5	-
14	PTCP-6	RDO. MUNI. ALDEMAR PASQUALI SAVARIS	12+000	655753,02	68344633, 39	Moirão 2000 x 150 x 150
15	ERP	RDO. MUNI. ALDEMAR PASQUALI SAVARIS	12+740	656311,03	6834766,6	-

9.4 Relação de juntas isolantes

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

9.5 Relação de retificadores

9.5.1. Não se verificam retificadores instalados no domínio de estudo considerado.

9.6 Parâmetros da LT 69 KV CRICIUMA / SIDERÓPOLIS**9.6.1 Características gerais da LT**

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

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

Tabela 5- Características técnicas da LT 69 KV CRICIUMA FLORESTA / SIDERÓPOLIS

IDENTIFICAÇÃO LD 69 kV	LT 69 KV Criciúma / Siderópolis
TENSÃO DE OPERAÇÃO	69 kV
COMPRIMENTO	8.940 m
N.º DE ESTRUTURAS	47
SILHUETA TÍPICA	ADCE
ALTURA MÍN. RELAÇÃO AO SOLO	10 m
FAIXA DE SERVIDÃO	30,0 m
CABO FASE	01 x 397,5 CAA IBIS
CABO PARA-RAIOS	1 x Cabo de aço HS 5/16
RESISTÊNCIA A TERRAMENTO	5,00 Ω (TORRE ADJACENTE)
TIPO DE CIRCUITO	CIRCUITO SIMPLES
VÃO MÉDIO	190,28 m
A TERRAMENTO TÍPICO	Contrapesos 4 x 50 m
CORRENTE NOMINAL	500 A
CORRENTE MÁXIMA	500 A
TEMPO ATUAÇÃO PROTEÇÃO	500 ms (PIOR SITUAÇÃO)
IDENTIFICAÇÃO LD 69 kV	LINHA DE TRANSMISSÃO SIDERÓPOLIS RB - COOPERCOAL
TENSÃO DE OPERAÇÃO	69 kV
COMPRIMENTO	10.850 m
N.º DE ESTRUTURAS	92
SILHUETA TÍPICA	ADCE
ALTURA MÍN. RELAÇÃO AO SOLO	20 m
FAIXA DE SERVIDÃO	30,0 m
CABO FASE	01 x CAA 636 MCM ORCHID
CABO PARA-RAIOS	01 OPGW – 36 FO
RESISTÊNCIA A TERRAMENTO	5,00 Ω (TORRE ADJACENTE)
TIPO DE CIRCUITO	CIRCUITO SIMPLES
VÃO MÉDIO	118 m
A TERRAMENTO TÍPICO	CABO DE AÇO COBREDO HS 5/16"
CORRENTE NOMINAL	745 A
CORRENTE MÁXIMA	987 A
TEMPO ATUAÇÃO PROTEÇÃO	500 ms (PIOR SITUAÇÃO)

9.6.2 Características das subestações terminais

- 9.6.2.1. Metodologia para cálculos do fluxo de potência e curto-circuito das linhas de transmissão e subestações.
- 9.6.2.2. Para a simulação computacional conforme proposto no item 5 deste relatório, torna-se necessário os parâmetros de corrente de curto-circuito e dos sistemas

**RELATÓRIO TÉCNICO**

N°

RE-44.330.LMT.118

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

19 DE 28

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

Ø

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA 3

N° CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

elétricos envolvidos. Conforme o item 13 deste relatório, foram coletadas junto a concessionária COOPERCOCAL os dados de potência, bem como os parâmetros: silhueta das torres de transmissão, característica de cabos de LT, medição de resistência de aterramento.

9.6.2.3. Com estes dados foram obtidos os parâmetros que serão nas simulações, conforme abaixo:

9.6.2.4. Parâmetros da Linha de Transmissão (Cabos) da LD 69 kV - LINHA DE TRANSMISSÃO SIDERÓPOLIS RB – COOPERCOCAL

9.6.2.5. Dados informados na Tabela 5.

9.6.2.6. A figura seguinte resume os níveis de curto-circuito adotados para o estudo e resistências de aterramento nas subestações, conforme [3]:

SUBESTAÇÃO	TRIFÁSICO		MONOFÁSICO		R=
	MÓD.	∠	MÓD.	∠	
CRICIUMA FLORESTA	0 kA	0	0 kA	0	5 Ω
SIDERÓPOLIS	19,04 kA	0	16,86 kA	0	5 Ω

9.6.3 Resistividade elétrica do solo e resistências de aterramento

9.6.3.1. As medições de resistividade elétrica aparente são apresentadas no **ANEXO A** 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 10 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 INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

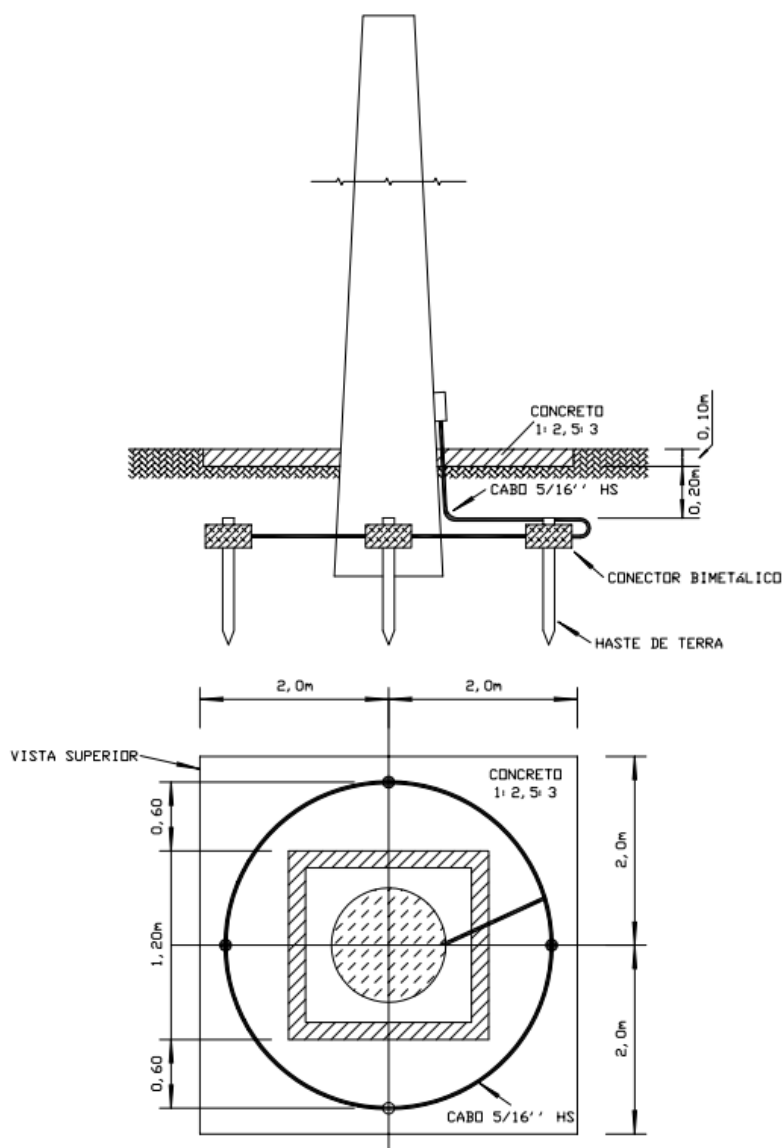


Figura 5 - Esquema de contrapesos típico

9.6.5 Geometria das torres

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

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

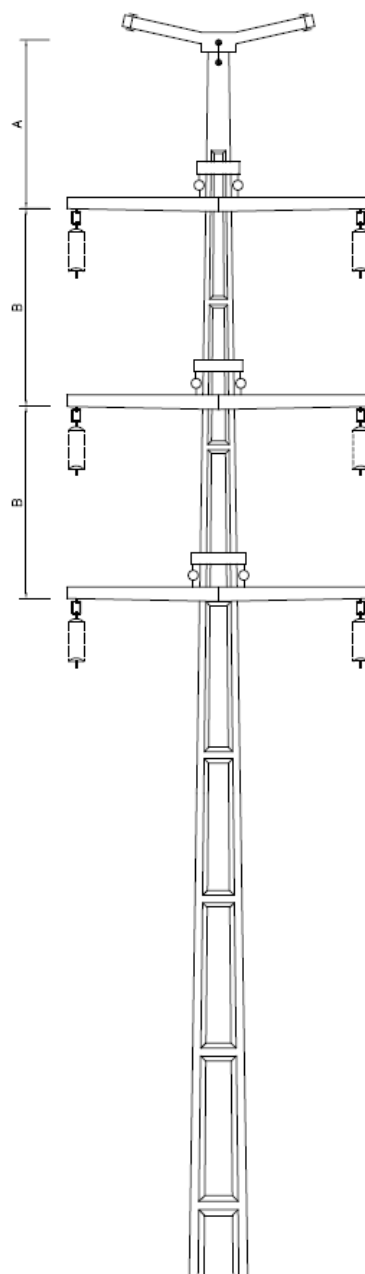


Figura 6 - Geometria da torre típica

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

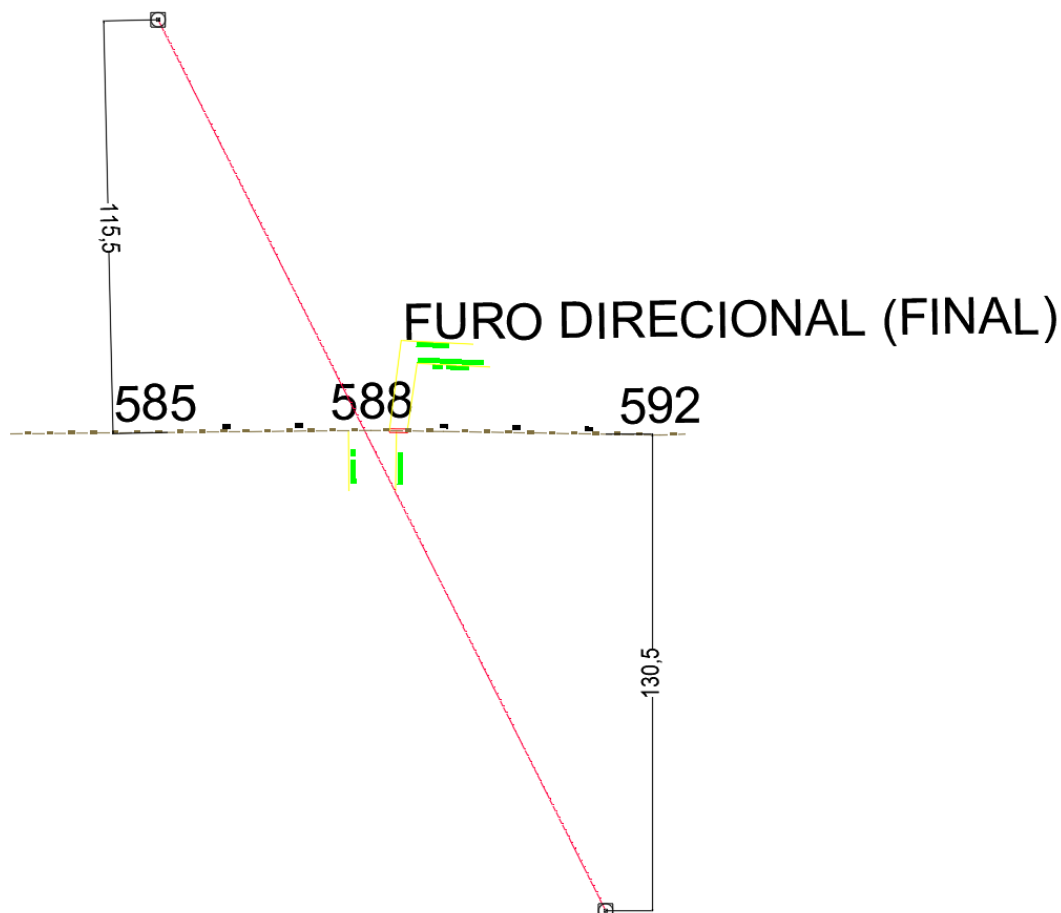


Figura 7 - Distância entre Torres e Gasoduto

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 12.

	RELATÓRIO TÉCNICO		N° RE-44.330.LMT.118	
	CLIENTE: SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA		FOLHA: 23 DE 28	
	PROGRAMA / EMPREENDIMENTO: REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL		REV. Ø	CÓD. / CLIENTE:
	ÁREA: REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA 3		N° CONTRATO:	
TÍTULO: ESTUDO DE INTERFERENCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6				
10.1.4. Os cálculos apresentados consideram os respectivos arranjos típicos dos cabos contrapeso conforme descrito na Erro! Fonte de referência não encontrada., 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 0 e subsequentes, é considerada nos cálculos. Nesses pontos, os dutos são conectados ao terminal terra através de uma resistência assumida igual a 10 Ω, no modelo de simulação. 10.2 Estudo da aproximação entre o Gasoduto 8” e o vão entre as torres 5 e 6 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 na torre 5, com predominância do acoplamento condutivo. 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. 10.2.2.3 As Figuras 3, 4, 6 e 7 do Anexo A.1 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”: $E_{t,máx} = 8,68 \text{ V}$ 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 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.				
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.118

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

24 DE 28

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

Ø

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA 3

N° CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

10.2.2.7 A Tabela 4 do **Anexo A.1** 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 **Não 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 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 **inferiores** aos limites de tensão de toque adotados, **não 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. As Figuras 8, 9 e a Tabela 5 do **Anexo A.1** 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 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** e **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

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

**RELATÓRIO TÉCNICO**

N°

RE-44.330.LMT.118

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

25 DE 28

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

Ø

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA 3

N° CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

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 INTERFERIDA**. Entretanto, a abrangência das ações de mitigação é restrita aos impactos produzidos pela **LT 69 KV CRICIUMA / SIDERÓPOLIS**.

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 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** 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 0 e seguintes, é considerada nos cálculos. Nesses pontos, os dutos são conectados ao terminal terra através de uma resistência assumida igual a 1 Ω , no modelo de simulação.

11.2 Distribuição de tensões induzidas

11.2.1. A Figura 6 do **Anexo A.1** 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”: $E_{t,máx} = 0,36V$

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 inferiores** ao limite tolerável de 15 V, **não cabendo** adoção de ações mitigadoras.

**RELATÓRIO TÉCNICO**

Nº

RE-44.330.LMT.118

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

26 DE 28

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

Ø

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA 3

Nº CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

12 RECOMENDAÇÕES DE CARÁTER GERAL**12.1 Medidas relativas à segurança durante a construção e manutenção dos dutos**

- 12.1.1. 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.
- 12.1.2. 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.
- 12.1.3. Recomenda-se a suspensão das obras de construção e/ou serviços de manutenção dos dutos na ocorrência de condições atmosféricas adversas.
- 12.1.4. 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.
- 12.1.5. 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 6 - 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

- 12.1.6. 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.

**RELATÓRIO TÉCNICO**

N°

RE-44.330.LMT.118

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

27 DE 28

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

Ø

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA 3

N° CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERÊNCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

12.1.7. 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.

12.2 Uso de equipamentos de proteção individual – EPIs

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

12.2.2. 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.

12.3 Sinalização de travessias de linhas de transmissão sobre dutos

12.3.1. 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.

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

12.4.1. 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.

12.4.2. 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.

12.4.3. 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.

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

**RELATÓRIO TÉCNICO**

N°

RE-44.330.LMT.118

CLIENTE:

SCGÁS – COMPANHIA DE GÁS DE SANTA CATARINA

FOLHA:

28 DE 28

PROGRAMA / EMPREENDIMENTO:

REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS NATURAL

REV.

Ø

CÓD. / CLIENTE:

ÁREA:

REGIÃO “D” - SUL CATARINENSE – ETAPA 3

N° CONTRATO:

TÍTULO:

ESTUDO DE INTERFERENCIAS ELETROMAGNÉTICA ENTRE O GASODUTO E LT 69 KV – CRICIUMA – SIDERÓPOLIS ESUL – C1 E C2 ENTRE O VÃO DAS TORRES 5 E 6

N°.	TÍTULO	FLs.
1	Relatório sintético ROW-1034W0G2	11
2	ART – Anotação de Responsabilidade Técnica	01
3	Dados da concessionária	12