Especificação Técnica n° 0042

Cod.: GRI-EDBR-CNS-GRI-0042 / CNS-NDBR-DBR-26-1621-EDBR

Versão nº 01 Data: 12/11/2026

Assunto: Critério para Projeto e Construção de Linhas Subterrâneas de Alta Tensão

Áreas de aplicação
Perímetro: Brasil
Função Apoio: -
Função Serviço: -
Linha de Negócio: Enel Grids

USO INTERNO

Feedback Documentos Técnicos do SGI
(Link)

CONTEÚDO

1. OBJETIVOS DO DOCUMENTO E ÁREA DE APLICAÇÃO 2
2. GESTÃO DA VERSÃO DO DOCUMENTO 2
3. UNIDADES RESPONSÁVEIS PELO DOCUMENTO 2
4. REFERÊNCIAS 3
5. POSIÇÃO DO PROCESSO COM RELAÇÃO À ESTRUTURA ORGANIZACIONAL 5
6. SIGLAS E PALAVRAS-CHAVE 5
7. DESCRIÇÃO DO PROCESSO 9
7.1 Premissas gerais e condições de serviço 9
7.2 Requisitos para elaboração do projeto 11
7.3 Definição do traçado e obras civis 12
7.4 Cabo de Alta Tensão e acessórios 16
7.5 Sistemas de Aterramento 25
7.6 Proteção, controle e telecomunicações 31
7.7 Transições aéreo subterrâneas 31
7.8 Métodos construtivos para instalação dos cabos 36
7.9 Inspeção, ensaios e comissionamento 49
7.10 Cadastro, identificação e documentação final 50
7.11 Gestão ambiental 50
8. ANEXOS 51
9. VISTOS 51

RESPONSÁVEL POR NETWORK DEVELOPMENT BRAZIL
Charles De Capdeville

DOCUMENTO INVÁLIDO SE IMPRESSO OU GRAVADO

Especificação Técnica n° 0042
Cod.: GRI-EDBR-CNS-GRI-0042 / CNS-NDBR-DBR-26-1621-EDBR
Versão nº 01 Data: 12/11/2026

Assunto: Critério para Projeto e Construção de Linhas Subterrâneas de Alta Tensão

Áreas de aplicação
Perímetro: Brasil
Função Apoio: -
Função Serviço: -
Linha de Negócio: Enel Grids

1. OBJETIVOS DO DOCUMENTO E ÁREA DE APLICAÇÃO

Este documento estabelece os procedimentos, critérios e requisitos técnicos mínimos para a elaboração de projetos e a execução de obras de redes subterrâneas de alta tensão, com classe de tensão de até 145 kV, definindo os requisitos técnicos e construtivos aplicáveis às Linhas Subterrâneas de Alta Tensão (LTS), incluindo os empreendimentos desenvolvidos pela Enel e as instalações projetadas e construídas por consumidores ou terceiros, as quais deverão atender integralmente aos padrões, requisitos e diretrizes técnicas estabelecidos pela Distribuidora. As soluções estabelecidas neste documento deverão observar os requisitos de segurança, confiabilidade, proteção, operação, manutenção, desempenho e vida útil das instalações.

Este documento é aplicável em todas as empresas da Enel Brasil referentes à linha de negócios de Grids.

O presente documento aplica-se ao Grupo Enel no que diz respeito à sua atuação, de acordo com a aplicabilidade, as leis, regulamentos, acordos coletivos e normas de governança aplicáveis, incluindo a Lei Geral de Proteção de Dados, que em qualquer situação, prevalecem sobre as disposições contidas neste documento.

A Lei Geral de Proteção de Dados, Lei n° 13.709/2018 (LGPD) e GDPR (Regulamento U.E. 2016/679 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de abril de 2016), regulamentam o tratamento de dados pessoais. A LGPD define que tratamento é toda operação realizada com dados pessoais, como as que se referem a coleta, produção, recepção, classificação, utilização, acesso, reprodução, transmissão, distribuição, processamento, arquivamento, armazenamento, eliminação, avaliação ou controle da informação, modificação, comunicação, transferência, difusão ou extração, bem como que Dados Pessoais são todas as informações relacionadas a uma pessoa natural (pessoa física), que possa torna-la identificada ou identificável (tais como: nome, CPF, endereço, nome de familiares, perfil de consumo, geolocalização, número de Unidade Consumidora, etc., os quais de forma isolada, ou associada com dois ou mais, possam identificar direta, ou indiretamente, um titular de dados pessoais).

Os Tratamentos de Dados Pessoais realizados durante as atividades descritas neste documento, deverão estar devidamente mapeados no sistema de registro de tratamento de dados pessoais do Grupo Enel e deverão ocorrer em consonância com as regras de Proteção De Dados Pessoais, GDS e Segurança da Informação do Grupo Enel, estabelecidas nas respectivas Políticas e Procedimentos internos.

2. GESTÃO DA VERSÃO DO DOCUMENTO

Versão	Data	Descrição das mudanças
1	12/11/2026	Emissão da especificação técnica

3. UNIDADES RESPONSÁVEIS PELO DOCUMENTO

Responsável pela elaboração do documento:

- Enel Grids Brazil / Network Development Brazil / Engineering Sup & Global St. Adoption Brazil.

Responsável pela autorização do documento:

- Enel Grids Brazil / Network Development Brazil;
- Enel Grids Brazil / Network Development Brazil / Engineering Sup & Global St. Adoption Brazil;
- Enel Grids Brazil / Health, Safety, Environment and Quality Brazil / Quality Brazil.

4. REFERÊNCIAS

- Código de Ética Enel;
- Política de Direitos Humanos Enel;
- Programa Global de Compliance Enel;
- Plano de Tolerância Zero com a Corrupção Enel;
- ISO 9001 - Sistema de Gestão da Qualidade;
- ISO 14001 - Sistema de Gestão Ambiental;
- ISO 37001 - Sistema de Gestão Antissuborno;
- ISO 45001 - Sistema de Gestão de Segurança e Saúde Ocupacional;
- ISO 50001- Sistema de Gestão de Energia;
- ISO 55001 – Sistema de Gestão de Ativos;
- Política do Sistema de Gestão Integrado;
- Manual do Sistema de Gestão Integrado nº 25 – Enel Distribuição;
- Policy nº 1042 – Gerenciamento de Incidentes de Segurança de Dados Pessoais;
- Procedimento Organizacional nº 1626 – Aplicação da Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais no âmbito das Empresas do Grupo Enel;
- Procedimento Organizacional nº 2282 - Projetos de Rede;
- ISO 27001 - Sistema de Gestão de Segurança da Informação;
- Integrated Policy for Quality, Health and Safety, Environment, anti-Bribery and Information security;
- Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152: Norme in materia ambientale;
- IEC 61936-1: Power installations exceeding 1 kV AC and 1,5 kV DC, Part 1: AC;
- IEC 62271-209 High-voltage switchgear and control gear - Part 209: Cable connections for gas-insulated metal-enclosed switchgear for rated voltages above 52 kV;
- IEC 60909 Short-circuit currents in three-phase a.c. systems - Part 0: Calculation of currents;
- IEC 60853 Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables;

- IEC 60287-1 Electric cables - Calculation of the current rating;
- IEC 60826 Design criteria of overhead transmission lines;
- IEC 60071 Insulation co-ordination;
- IEC 61914 Cable cleats for electrical installations;
- IEC 60840 Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 30kV (um=36kV) up to 150kV (um=170kV) test method and requirements;
- IEC 62067 Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages above 150kV (um=170kV) up to 500kV (um=550kV) test method and requirement;
- IEC 60871 Shunt capacitors for a.c. power systems having a rated voltage above 1000 V;
- EN 50182 Conductors for overhead lines - Round wire concentric lay stranded conductors;
- GSCH004 Global Standard - Technical specification of HV composite insulators;
- GRI-GRI-MAT-E&C-0052 GSCH005 HV Surge arresters for substations;
- GSC003 Bare conductor for overhead lines;
- GSC005*1 Ground wire and optical ground wire (OPGW);
- GRI-GRI-MAT-E&C-0001 GSCH007 High Temperature Bare Conductor;
- GSCF002 “Dielectric optical cable for pipe installation”;
- GSCS001 LATTICE STEEL TOWERS FOR HIGH VOLTAGE LINES;
- GSCS002* Tubular poles for HV lines;
- EDE NNJ003 “Norma de cables ópticos subterráneos”;
- GSCH010 “HV underground cable”;
- GSCH011 “HV cable accessories - Joint”;
- GSCH012 Outdoor termination for HV cable;
- GSCH014 Link boxes for high voltages cables systems;
- UNE 133100-2 Infraestructuras para redes de telecomunicaciones;
- E-LT-05 South America – “Herraje para líneas aéreas de alta tensión”;
- Organizational Procedure n. 1708 - Management of technical/operative documents and Glossary;
- Guideline GRI-GRI-GUI-E&C-0005 HV, MV and LV network development technical criteria - ex GUI-E&C-ND-2022-0083-GIN - ex Policy 28;
- MAT-PMCB-EeA-2023-2320-EDBR (PM-Br 199.55.0) –Sistema para Sensoriamento Térmico Distribuído (DTS) e Sistema para Sensoriamento Acústico Distribuído (DAS);

- IEC 60949 - Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects;
- EN 61386-24 - Conduit systems for cable management - Particular requirements for conduit systems buried underground;
- ABNT IEC/TR 60815 - Nível de contaminação;
- GRI-EDBR-CNC-GRI-0016 / CNC-NDBR-DBR-19-0407-EDBR - Fornecimento de Energia Elétrica em Alta Tensão – 138-69 Kv;
- Technical Brochure No. 250 - General Guidelines for Integration of a New Underground Cable System in the Network. Paris: CIGRÉ, 2004;
- NR 18 - Condições de segurança e saúde no trabalho na indústria da construção.

5. POSIÇÃO DO PROCESSO COM RELAÇÃO À ESTRUTURA ORGANIZACIONAL

Value Chain: Engineering

Macro Process: Network Engineering

Process: Network Design

6. SIGLAS E PALAVRAS-CHAVE

Siglas e Palavras-Chave	Descrição
87L	Função de Proteção Diferencial de Linha
ART	Anotação de Responsabilidade Técnica
AT - Alta Tensão	Tensão entre fases cujo valor eficaz é igual ou superior a 69 kV e inferior a 230 kV, ou instalações em tensão igual ou superior a 230 kV quando especificamente definidas pela ANEEL.
Aterramento	Ligação elétrica intencional com a terra, em caráter permanente ou temporário.
CBS	Areia aglutinada com cimento
Conexão TAP	Esquema de conexão por derivação em linha aérea existente e linha subterrânea existente
COS	Centro de Operações do Sistema
Dado Pessoal	Dado Pessoal é qualquer informação relacionada a pessoa natural identificada ou identificável, tais como nome, número de identificação, dados de localização, um identificador online ou a um ou mais dos elementos característicos de sua identidade física, fisiológica,

Siglas e Palavras-Chave	Descrição
	genética, mental, econômica, cultural ou social (veja também Categorias especiais de dados pessoais).
Dados Pessoais Sensíveis (incluindo biométricos e referentes à Saúde)	No contexto de proteção de dados, merece especial atenção a categoria de dado pessoal sobre origem racial ou étnica, convicção religiosa, opinião política, filiação a sindicato ou a organização de caráter religioso, filosófico ou político, dado referente à saúde ou à vida sexual, dado genético ou biométrico, quando vinculado a uma pessoa natural. Esses dados são definidos pela LGPD como Dados Pessoais Sensíveis. • Dados genéticos: dados pessoais relativos às características genéticas, hereditárias ou adquiridas de uma pessoa física que fornecem informações unívocas sobre a fisiologia ou sobre a saúde de tal pessoa física, e que resultam designadamente da análise de uma amostra biológica da pessoa física em questão; • Dados biométricos: dados pessoais resultantes de um tratamento técnico específico relativo às características físicas, fisiológicas ou comportamentais de uma pessoa física que permitam ou confirmem a identificação única dessa pessoa, tais como foto, vídeo, imagens da face ou dados de impressão digital; • Dados relativos à saúde: dados pessoais relacionados com a saúde física ou mental de uma pessoa física, incluindo a prestação de serviços de saúde, que revelem informações sobre o seu estado de saúde.
DTS	Distributed Temperature Sensing
DYN	Tipo de Conexão do Transformador (Delta Estrela)
ETR	Estação de Transição
FAT	Inspeção em fábrica
General Data Protection Regulation or GDPR.	Regulamento (UE) 2016/679 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 27 de abril de 2016, relativo à proteção das pessoas naturais, no que diz respeito ao tratamento de dados pessoais e à livre circulação desses dados; e que revoga a Diretiva 95/46 / CE.
GIS	Gas Insulated Switchgear
HDD	Horizontal Directional Drilling / Perfuração Direcional Horizontal
Jack & Bore	Método não destrutivo de execução de travessias subterrâneas por perfuração horizontal e avanço controlado de tubulação
LDAT	Linha de Distribuição de Alta Tensão.
Lei Geral de Proteção de Dados ou LGPD.	Lei Brasileira nº 13.709/18 promulgada em 14 de agosto de 2018, posteriormente alterada pela Lei 13.853/19, que dispõe sobre o tratamento de dados pessoais, inclusive nos meios digitais, por pessoa

Siglas e Palavras-Chave	Descrição
	natural ou por pessoa jurídica de direito público ou privado, com o objetivo de proteger os direitos fundamentais de liberdade e de privacidade e o livre desenvolvimento da personalidade da pessoa natural.
LILO	Line In – Line Out. Esquema de conexão que implica na inserção de uma planta de rede nas proximidades de uma linha existente, de modo a gerar apenas duas seções de linha conectadas às subestações distintas. Esse esquema permite, em geral, realimentar a Unidade Consumidora, proporcionando maior continuidade de serviço.
LTS	Linha Subterrânea de Alta Tensão
OPGW	Optical Ground Wire
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
Ramal de Entrada	Conjunto de condutores e acessórios instalados pelo consumidor entre o ponto de conexão e a medição ou proteção de suas instalações de utilização.
Ramal de Entrada Aéreo	É o conjunto de condutores e acessórios cujo encaminhamento se faz, em nível de 6m acima da superfície do solo, com os respectivos materiais necessários à sua fixação e interligação elétrica do ponto de conexão à medição.
Ramal de Entrada Misto	É aquele constituído de uma parte aérea e outra subterrânea. Seu projeto e construção devem obedecer às prescrições pertinentes dos ramais de entrada aéreos e subterrâneos.
Ramal de Entrada Subterrâneo	É o conjunto de condutores e acessórios cujo encaminhamento se faz, em parte ou no todo, em nível abaixo da superfície do solo, com os respectivos materiais necessários à sua fixação e interligação elétrica do ponto de conexão à medição.
SF_6	Hexafluoreto de enxofre
Sistema de Distribuição de Alta Tensão (SDAT)	Conjunto de linhas e subestações que conectam as barras de rede básica ou de centrais geradoras às subestações de distribuição em tensões típicas iguais ou superiores a 69kV e inferiores a 230kV, ou instalações em tensão igual ou superior a 230kV quando especificamente definidas pela ANEEL.
Sistema de Distribuição de Média Tensão (SDMT)	Conjunto de linhas de distribuição e de equipamentos associados em tensões típicas superiores a 1kV e inferiores a 69kV, na maioria das vezes com função primordial de atendimento a unidades consumidoras, podendo conter geração distribuída.
SMF - Sistema de Medição para Faturamento	Sistema composto pelos medidores principal e retaguarda, pelos transformadores de instrumentos – TI (transformadores de potencial – TP e de corrente – TC), pelos canais de comunicação e pelos sistemas de coleta de dados de medição para faturamento.

Siglas e Palavras-Chave	Descrição
Subestação	Parte do sistema de potência que compreende os dispositivos de manobra, controle, proteção, transformação e demais equipamentos, condutores e acessórios, abrangendo as obras civis e estruturas de montagem.
Subestação Abrigada	As subestações abrigadas são as subestações construídas sob edificação, com os equipamentos não sujeitos às intempéries.
Subestação ao Tempo	As subestações ao tempo são ao ar livre e os seus equipamentos ficam sujeitos às intempéries.
Subestação Compartilhada	Subestação de propriedade de dois ou mais agentes de distribuição utilizada para conexão destes no sistema de distribuição.
Subestação de Distribuição (SED)	Subestação que conecta o Sistema de Distribuição de Alta Tensão – SDAT ao Sistema de Distribuição de Média Tensão - SDMT, contendo transformadores de força.
Subestação Secionadora	Subestação da Distribuidora construída através do seccionamento de uma linha de distribuição de alta tensão de 138 e 69kV destinada exclusivamente ao atendimento de um consumidor derivado diretamente do seu barramento.
SVL	Sheath Voltage Limiter / Limitador de Tensão de Bainha
TC	Transformador de Corrente
TI's	Transformadores para instrumentos
TIC	Transformador para instrumentos combinado
Titular dos Dados Pessoais	Pessoa natural a quem se referem os dados pessoais que são objeto de tratamento. Ele / ela entendido como uma pessoa natural identificada ou identificável.
TP	Transformador de Potencial
Tratamento	Toda operação realizada com dados pessoais, como as que se referem a coleta, produção, recepção, classificação, utilização, acesso, reprodução, transmissão, distribuição, processamento, arquivamento, armazenamento, eliminação, avaliação ou controle da informação, modificação, comunicação, transferência, difusão ou extração.
XLPE	Polietileno Reticulado

7. DESCRIÇÃO DO PROCESSO

7.1 Premissas gerais e condições de serviço

7.1.1 Características Gerais

As Linhas Subterrâneas de Alta Tensão (LTS) devem ser projetadas de forma integrada, considerando os requisitos elétricos, térmicos, mecânicos, civis e operacionais, bem como os critérios de confiabilidade, contingência, segurança, condições ambientais, interferências, operação, manutenção e expansão da rede.

A definição da solução deverá considerar conjuntamente o traçado, método de instalação, cabos e acessórios, bancos de dutos, câmaras de emenda e passagem, aterramento das blindagens, link boxes, limitadores de tensão de bainha (SVL), transições aéreo-subterrâneas, proteção, telecomunicações, fibra óptica, monitoramento, lançamento, ensaios e comissionamento.

Os dimensionamentos deverão representar as condições efetivas de instalação e operação da LTS, incluindo regimes normal e de contingência, ampacidade, curto-circuito, coordenação de isolamento, disposição dos cabos e condições térmicas do meio. A infraestrutura civil poderá prever capacidade para manutenção e expansão futura, incluindo dutos reserva.

As LTS deverão atender exclusivamente à configuração e finalidade estabelecidas nos estudos que fundamentaram sua implantação, **não sendo permitida** a execução de derivações (TAP) ao longo do trecho subterrâneo para atendimento de novas cargas ou instalações não contempladas no projeto aprovado. A existência de dutos reserva ou de capacidade elétrica ou térmica remanescente não caracteriza disponibilidade automática para novas conexões.

A diretriz fundamenta-se na complexidade de construção e manutenção das derivações subterrâneas e nos requisitos de proteção seletiva, localização e isolamento de defeitos, segurança e continuidade do fornecimento. Novas conexões e reconfigurações utilizarão soluções sem TAP no trecho subterrâneo.

Nas LTS dedicadas, os circuitos e equipamentos deverão corresponder à configuração tecnicamente necessária ao atendimento da instalação ou subestação, sem infraestrutura deliberada para futuras derivações ou atendimento de terceiros. Elementos destinados à expansão serão identificados separadamente no projeto.

A capacidade térmica remanescente dos menores componentes normalizados tecnicamente admissíveis é uma característica da instalação e não configura, isoladamente, ampliação física para outras cargas. Os critérios de seção do cabo e de ETR são detalhados nos itens 7.4 e 7.7.3.

A topologia da LTS e as interfaces entre trechos aéreos e subterrâneos deverão ser tecnicamente justificadas, considerando operação, proteção, telecomunicações, manutenção e recomposição do sistema. Os projetos, estudos, memoriais, alterações de campo, ensaios e documentação As Built deverão assegurar a rastreabilidade da instalação ao longo de seu ciclo de vida.

7.1.2 Condições de Serviço

Todos os materiais e equipamentos elétricos abrangidos por esta especificação deverão ser adequados às condições de serviço e às características estabelecidas nas Tabela 1 e Tabela 2, devendo atender, adicionalmente, às normas técnicas ABNT e IEC aplicáveis, em suas versões vigentes, incluindo os requisitos pertinentes de projeto, fabricação, desempenho, inspeção, aceitação e ensaios.

Tabela 1 - Condições operacionais e ambientais

Característica	Enel Distribuição Ceará	Enel Distribuição Rio	Enel Distribuição São Paulo
Altitude máxima (m)	1.000	1.000	1.000
Temperatura mínima (°C)	+15	-10	-10
Temperatura máxima média (°C)	+25	+25	+25
Temperatura máxima (°C)	+40	+40	+40
Umidade relativa média (%)	>80	>80	>80
Pressão máxima do vento (N/m²)	700	700	700
Nível de contaminação (ABNT IEC/TR 60815)	e (muito pesada)	e (muito pesada)	d (pesada)
Nível de Salinidade (mg/cm² dia)	> 0,3502	> 0,3502	-
Radiação solar máxima (Wb/m″)	1.000	1.000	1.000

Tabela 2 - Características Elétricas de Fornecimento

Característica	Enel Distribuição Ceará	Enel Distribuição Rio	Enel Distribuição São Paulo
Número de fases AT e MT	3	3	3
Frequência (Hz)	60	60	60
Tensão Nominal do Sistema/Tensão máxima de operação (kV)			
AT1	-	138/145	138/145
AT2	69/72,5	69/72,5	88/92,4
MT1	-	34,5/36	34,5/36
MT2	13,8/15	13,8;11,95/15	13,8/15
MT3	-	-	20/24
Nível de curto-circuito simétrico (kA)			
AT1	-	40	40
AT2	31,5	31,5	40
MT1	-	16	8
MT2	25	25	25
MT3	-	-	16
Nível Isolamento Um/Uf/Ui V (NBI)			
AT1	-	145/275/650	145/275/650
AT2	72,5/140/325	72,5/140/325	92,4/185/450
MT1	-	36/70/170	36/70/170
MT2	17,5/38/95	17,5/38/95	15/34/110
MT3	-	-	24/50/125
Características Gerais			
Conexão do transformador AT/MT e MT/MT	Dyn1	Dyn1	Dyn1 / Dd0

Característica	Enel Distribuição Ceará	Enel Distribuição Rio	Enel Distribuição São Paulo
Conexão do transformador AT/AT	-	Ynad1	Dyn1 / Yyn0 + d Dd0 / Yd1
Tensão BT CA (Vca)	380/220	220/127	220/127
Tensão auxiliar CC (Vcc)	125 (+10%-20%)	125 (+10%-20%)	125 (+10%-20%)

Nota - nos dados referentes a Nível de isolamento, deve-se adotar a legenda a seguir:

- Um: Tensão máxima do equipamento (kVef);
- Uf: Tensão Suportável de frequência industrial (kVef);
- Ui: Tensão Suportável de impulso atmosférico (kVcrista).

7.2 Requisitos para elaboração do projeto

O projeto executivo de Linha Subterrânea de Alta Tensão deverá conter, no mínimo:

a) memorial descritivo e memória de cálculo;

b) planta de localização e traçado georreferenciado;

c) perfil longitudinal da linha;

d) levantamento cadastral das interferências subterrâneas;

e) levantamento de georadar das interferências subterrâneas, conforme risco, urbanização e qualidade do cadastro existente;

f) planta e seções típicas dos bancos de dutos;

g) identificação da ocupação de cada duto;

h) indicação dos dutos de reserva (caso este seja previsto no projeto);

i) projeto das câmaras de emenda;

j) posicionamento e tipo das emendas;

k) projeto de sinalização viária;

l) projeto dos sistemas de aterramento das blindagens;

m) projeto das caixas de cross-bonding/link boxes;

n) estudo de instalação e puxamento dos cabos;

o) cálculo de esforços de tração e pressão lateral nas curvas;

p) estudo de ampacidade;

q) resistividade térmica do solo e materiais de reaterro;

r) cálculo de curto-circuito do condutor e blindagem;

s) sistema de proteção contra sobretensões;

t) sistema de fibra óptica, DTS e telecomunicações;

u) travessias especiais, HDD, Jack & Bore e demais métodos não destrutivos;

v) projeto de drenagem das câmaras;

w) projeto estrutural das câmaras;

x) plano de lançamento dos cabos;

y) plano de emendas;

z) plano de testes e comissionamento;

aa) ART dos responsáveis técnicos.

bb) Memória de dimensionamento demonstrando a menor seção de cabo tecnicamente admissível, as condições de instalação, ampacidade, curto-circuito, contingência e demais premissas de projeto;

cc) Diagrama unifilar dos circuitos e pontos de conexão, evidenciando a configuração sem TAP nos trechos subterrâneos e, quando aplicável, o caráter dedicado da instalação;

dd) Identificação da finalidade dos dutos de reserva, distinguindo manutenção ou substituição de cabos de novos circuitos ou expansão futura;

ee) Quando aplicável, memorial e desenhos da ETR, incluindo arranjo eletromecânico, proteção, seccionamento, aterramento, telecomunicações, interfaces e critérios de operação e manutenção;

Os documentos deverão possuir identificação, revisão e responsável técnico, assegurando sua rastreabilidade durante todas as etapas do empreendimento.

Qualquer alteração que modifique as premissas, características elétricas, civis, eletromecânicas ou operacionais do projeto aprovado deverão ser formalmente registrada e submetida à análise das áreas técnicas competentes antes de sua execução.

Alterações realizadas durante a obra deverão ser incorporadas à documentação do empreendimento, mantendo-se registro da condição originalmente aprovada, da alteração realizada, de sua justificativa técnica e da respectiva aprovação.

Alterações que possam afetar ampacidade, esforços de lançamento, coordenação de isolamento, aterramento das blindagens, proteção, telecomunicações, localização de emendas, acessibilidade, segurança ou confiabilidade deverão ter os estudos correspondentes revisados. A configuração efetivamente executada deverá ser consolidada na documentação As Built.

7.2.1 Aplicação e Comprovação dos Requisitos Técnicos

Os projetos deverão demonstrar o atendimento aos critérios de configuração, dimensionamento, proteção, ETR e documentação estabelecidos nos itens anteriores. Alternativas construtivas dependerão de justificativa técnica e aprovação das áreas competentes, preservada a diretriz de ausência de TAP subterrâneo.

7.3 Definição do traçado e obras civis

7.3.1 Projeto e Construção – Cabos subterrâneos

Em termos gerais, os projetos de linhas de alta tensão apresentam diferentes características topológicas e ambientais, sendo necessário a engenharia detalhar o local estabelecendo com precisão os diferentes aspectos e considerações da linha a ser implementada. A composição e características do percurso e parâmetros deverão ser determinados de acordo com as considerações do projeto, tomando como guia básico os aspectos indicados neste documento.

7.3.2 Rotas

Antes de escolher o traçado de uma linha subterrânea, é primordial obter todas as informações de interferências atuais e projetos futuros subterrâneos na área, como redes telefônicas ou outras redes de comunicação, água, esgotos, gás, iluminação pública e redes elétricas de MT ou BT. Além disso, os órgãos afetados devem ser consultados e questionados sobre possíveis restrições ou regras relacionadas ao cruzamento ou paralelo à linha de alta tensão. O comprimento dos carretéis de cabo a serem utilizados também deve ser levado em consideração na definição do traçado, uma vez que isso condiciona a localização das caixas de emenda. Evite, sempre que possível, traçados que exijam grandes profundidades de instalação, pois isso reduz a capacidade de condução de corrente (ampacidade) do cabo.

Deverão ser utilizados equipamentos de detecção para investigar a presença de redes de utilidades subterrâneas, especialmente em áreas urbanas e sempre que considerado necessário.

Antes da definição final da rota deverá ser elaborado Cadastro de Interferências Subterrâneas, contendo no mínimo:

a) concessionária/proprietário;

b) tipo da interferência;

c) posição;

d) profundidade;

e) diâmetro/dimensões;

f) distanciamento da LTS;

g) condição de cruzamento ou paralelismo;

h) método previsto de proteção;

i) responsabilidade por eventual remanejamento.

Em conformidade com as regulamentações locais, devem ser realizadas avaliações da composição do solo, estudos geotécnicos e de estabilidade geológica, bem como análises da resistividade térmica do solo e da presença de águas subterrâneas, juntamente com avaliações de impacto ambiental e social, uma vez que esses fatores podem afetar a instalação e a manutenção dos cabos de alta tensão.

Em casos excepcionais, poderão ser utilizadas valas exploratórias para avaliar a composição do solo e a estabilidade geológica da área, bem como para identificar e mapear redes de utilidades existentes (gás, água, eletricidade, esgoto, dutos de telecomunicações, etc.). Caso contrário, dar-se-á preferência a avaliações localizadas ao longo do traçado do projeto.

O traçado será escolhido de acordo com os seguintes critérios:

a) Serão respeitadas as condições e regras particulares dos Órgãos afetados pelo layout;

b) Deverá ser favorecida a utilização da canalização por setores de bens de uso público nacional. Somente em casos excepcionais será admitida a instalação em áreas de propriedade privada;

c) Quando a linha atravessar áreas urbanas, o traçado deverá, preferencialmente, passar por baixo da via, próximo à calçada ou no canteiro central. Caso as regulamentações locais e/ou as licenças municipais favoreçam a instalação na calçada, esta será a opção preferencial.

d) A vala e a canalização deverão ser projetadas em conformidade com as normas, regulamentos e a legislação locais;

e) Em casos excepcionais, nos quais a solução racional — do ponto de vista técnico e/ou econômico — envolva a instalação da linha em área privada, além das condições gerais, deverão ser tratadas, caso a caso, as condições técnicas e jurídicas específicas. O objetivo é garantir o acesso permanente às instalações para operação e manutenção, bem como viabilizar o atendimento a futuros clientes. Em qualquer situação, para trechos em áreas de propriedade privada, a solução construtiva será definida em comum acordo entre a distribuidora, o proprietário e os órgãos competentes;

f) O percurso será o mais reto possível e as curvas terão o maior raio de curvatura possível para evitar possíveis danos ao cabo, sendo, obrigatoriamente, superior ao raio mínimo de curvatura especificado na ficha técnica do fabricante. As curvas para ultrapassar obstáculos (curvas duplas ou curvas em S) e continuar no mesmo sentido, devem ter pelo menos o seguinte comprimento:

g) É necessário projeto de escavações e projeto escoramento conforme NR18 solicita para valas acima de 1,25m.

$$L(m) = \sqrt{(4RD - D^2)}$$

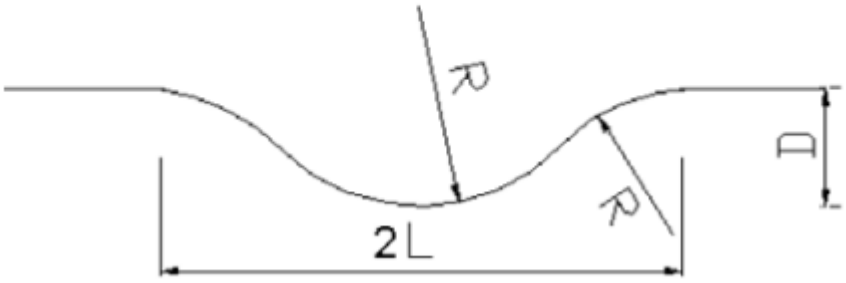


Figura 1 - Razão da curva

Onde:

- R é o raio da curva (maior que o mínimo permitido dos tubos e cabos utilizados, em metros).
- D é o deslocamento horizontal ou vertical que precisa ser alcançado, em metros.

h) A partir desta equação podemos obter a distância (L) na qual devemos iniciar a curva do caminho para superar um obstáculo;

i) Para mudanças de direção em dutos, deverá ser considerado um raio de curvatura mínimo de 50 vezes o diâmetro do duto, salvo indicação ao contrário. Esse valor é recomendado, de modo geral, para a instalação do cabo no interior dos dutos. Caso a mudança de direção seja muito abrupta ou o raio de curvatura necessário seja muito amplo, a empresa pode considerar o uso de uma câmara intermediária;

j) Quando os cabos estiverem em dutos, deve-se realizar um cálculo para validar os dutos a serem construídos, verificando se os cabos planejados podem ser instalados neles (ou seja, se o diâmetro do duto é suficiente para acomodar os cabos e permitir a instalação com a tensão de tração adequada). O procedimento subsequente visa garantir que, para o trajeto considerado, os esforços gerados durante o lançamento dos cabos estejam dentro dos limites admissíveis, assegurando que os dutos cumpram sua finalidade e que os cabos não sofram deterioração;

k) Comprimento do cabo: Por razões elétricas, um trajeto com comprimento total inferior a 1200 metros será executado em uma ou duas seções;

l) Devem-se considerar os locais onde as emendas serão posicionadas, se necessário, para evitar que fiquem em locais inadequados (travessias de vias ou outros pontos de difícil acesso);

m) Se a linha de alta tensão (AT) for muito extensa, pode ser necessária a avaliação de compensação reativa em derivação (*shunt*), conforme a norma IEC 60871;

n) A extensão de cada seção deve ser definida levando em conta o tamanho e o peso dos cabos, as restrições de transporte, o manuseio no local e a maximização do comprimento dos carretéis de cabo. Além disso, a redução do número de emendas resulta em custos menores e diminui a probabilidade de falhas em cabos subterrâneos, as quais frequentemente ocorrem nas emendas e terminações.

7.3.3 Requisitos de obra civil

As valas deverão possuir dimensões compatíveis com o arranjo dos circuitos, permitir instalação segura dos cabos e garantir atendimento aos critérios térmicos de projeto. Toda interferência identificada deverá ser cadastrada, protegida e sinalizada. Deverão ser previstos escoramento, drenagem, controle de recalque, recomposição de pavimento, sinalização temporária e gerenciamento de tráfego.

Adicionalmente, o projeto deverá contemplar os critérios e requisitos técnicos para implantação de banco de dutos por Método Não Destrutivo (MND), incluindo, no mínimo, definição do método construtivo, perfil e geometria da perfuração, profundidades mínimas de instalação, afastamentos de interferências, especificação dos materiais, critérios para travessias especiais, procedimentos de controle e inspeção, bem como os requisitos de aceitação e recebimento da infraestrutura implantada.

7.3.4 Material de reaterro térmico (BACKFILL)

O material de reaterro térmico deverá possuir resistividade térmica compatível com a ampacidade de projeto. O fornecedor deverá apresentar laudos laboratoriais, controle granulométrico, teor de umidade, densidade e plano de controle tecnológico. Ensaios de recebimento deverão ser executados durante a obra.

7.4 Cabo de Alta Tensão e acessórios

A seção do condutor deve considerar pelo menos os seguintes requisitos ou aspectos:

a) Potência de transmissão necessária em MVA;

b) Capacidade térmica em operação contínua;

c) Capacidade térmica de curto-circuito.

Além disso, a Diretriz GRI-GRI-GUI-E&C-0005 Critérios técnicos de desenvolvimento de redes de AT, MT e BT estabelece que os níveis máximos de utilização para os condutores de linhas subterrâneas são 100% no cenário N e N-1.

Os cabos utilizados nas linhas subterrâneas de AT deverão possuir isolamento XLPE e serão do tipo monopolar.

O material utilizado para o condutor e da blindagem utilizará Cobre (Cu) ou Alumínio (Al) conforme solicitação elétrica.

O nível de isolamento dos cabos e acessórios de alta tensão deverá estar de acordo com os valores padrão indicados na IEC 60071-1, exceto em casos especiais estritamente justificados pela empresa.

As seções transversais dos cabos a utilizar são as seguintes:

Tabela 3 – Tensão e Seção transversal dos cabos

Tensão em kV	145	145	145	145	72,5	145	145	72,5	145	145	145	145	145
Bitola em mm²	240	300	400	500	630	630	800	1000	1000	1200	1600	2000	2500

O cabo deverá ser dimensionado para os regimes normal e de contingência, considerando potência requerida, ampacidade nas condições efetivas de instalação, curto-circuito e requisitos mecânicos e operacionais. Adotar-se-á a menor seção padronizada tecnicamente admissível.

A seção de 240 mm² é a menor prevista na Tabela 3 e deverá ser aplicada quando atender aos requisitos técnicos. Seção superior exige justificativa específica no memorial de dimensionamento.

A capacidade térmica nominal superior à demanda requerida, quando inerente à menor seção tecnicamente admissível, não constitui, isoladamente, infraestrutura adicional para expansão da linha.

A especificação técnica GSCH010 pode ser tomada como referência para as características do cabo AT. Para monitorar a temperatura do cabo será necessário um cabo de fibra óptica adicional embutido na blindagem dos fios do cabo (Sistema DTS), o qual pode ser tomada como referência a especificação técnica MAT-PMCB-EeA-2023-2320-EDBR.

Nota: Materiais ou seções transversais diferentes das previstos na Tabela 3 dependerão de justificativa técnica e aprovação da Engenharia, com observância dos requisitos elétricos, mecânicos, de segurança e de desempenho.

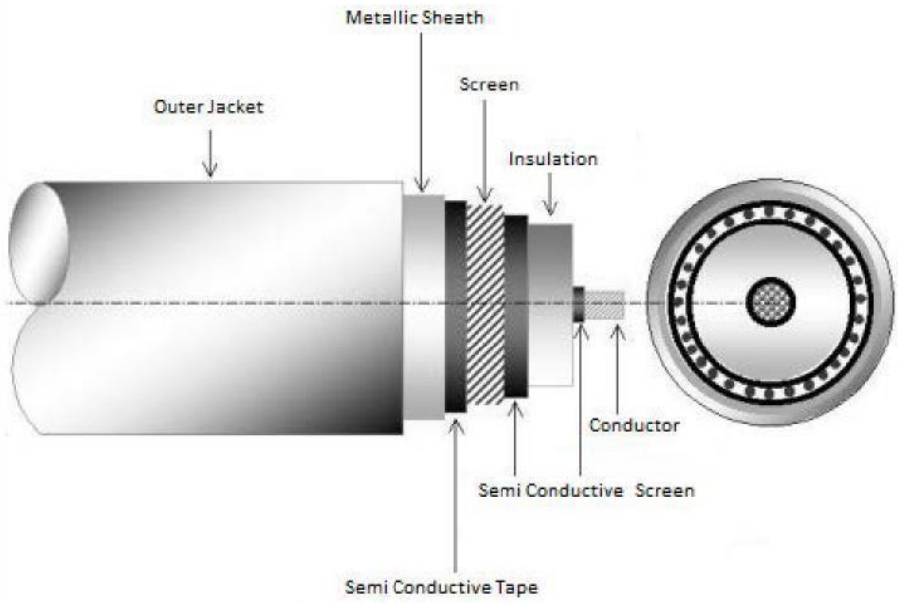


Figura 2 - Cabo subterrâneo de alta tensão - Componentes

Para a escolha do cabo, a capacidade deve ser analisada em pelo menos os seguintes modos de operação:

a) **Curto-circuito**: A corrente máxima permitida no modo curto-circuito deve ser calculada a partir da padrões IEC 60909 e IEC 60949.

No caso das blindagens dos cabos, os valores da Tabela 4 podem ser tomados como referência, verificando se as correntes máximas de curto-circuito admissíveis estão abaixo dos valores máximos de corrente de curto-circuito admissíveis e de acordo com a previsão de instalação. Caso contrário, quando for necessária uma corrente de curto-circuito superior à permitida pelas blindagens indicadas, a seção poderá ser aumentada adequadamente para atingir o valor necessário:

Tabela 4 - Seção da blindagem

Seção (mm²)
95 – 120 – 144 – 160 – 200 - 242

b) **Operação Contínua**: As classificações de operação contínua são calculadas de acordo com IEC 60287-1. As classificações de operação contínua para os cabos de AT deverão ser calculadas por cada empresa, considerando o tipo de instalação, temperatura, solo, entre outros fatores.

c) **Operação cíclica**: Os cálculos devem ser feitos conforme IEC 60853, sendo necessário que cada empresa determine sua operação e fator de carga. Consideração especial é dada aos sistemas em modo cíclico, pois em cabos de alta tensão a capacidade térmica interna não pode ser desprezada, o que implica uma análise da resposta transitória da temperatura no interior do material condutor.

7.4.1 Terminações

As terminações são instaladas nas extremidades dos cabos para garantir a ligação elétrica com os demais pontos da rede, mantendo o isolamento até o ponto de conexão.

As terminações não devem limitar a capacidade de corrente dos cabos, tanto em serviço normal como em sobrecarga, dentro das condições de operação admitidas mostradas abaixo:

Tabela 5 – Temperatura máxima permitida nos cabos em ºC

Insulating Component	Cable maximum temperature in (°C)		
	Continuous Operation	Security Overload (1 min)	Short circuit (max duration 5s)
XLPE	90	100	250

Da mesma forma, as terminações devem admitir pelo menos as mesmas correntes de curto-circuito que as definidas para o cabo no qual serão instaladas.

Para garantir a correta compatibilidade entre o cabo e as terminações, os diâmetros nominais e as tolerâncias de fabricação, tanto do condutor quanto da isolação, devem ser adaptados aos valores especificados para os cabos selecionados no projeto. O elemento consiste em partes mecânicas e elétricas de maneira semelhante as emendas.

Dependendo da topologia da linha subterrânea, é possível utilizar os seguintes tipos de terminações:

a) **Terminações externas**

São projetados para serem instalados na parte externa de subestações e suportes quando os cabos subterrâneos devem ser conectados a instalações externas, de acordo com GSCH012.

- Pré-moldado com isolador de material compósito

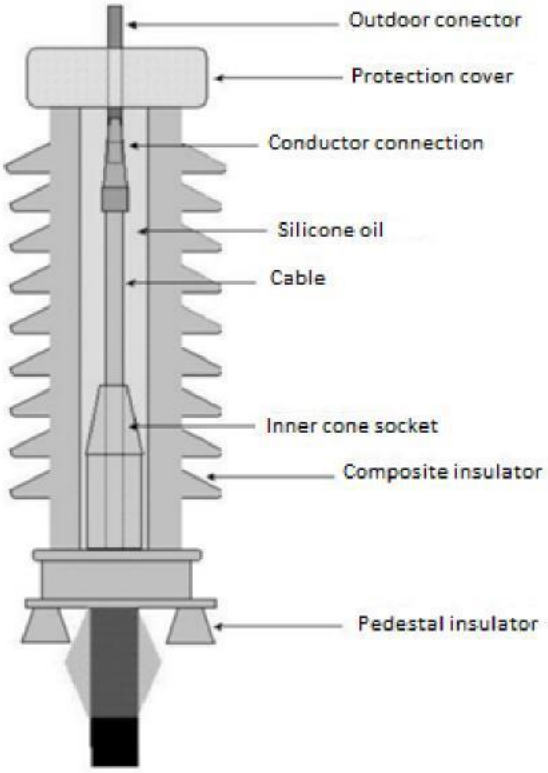


Figura 3 - Terminal Pré-moldado

A escolha depende, entre outros fatores, da distância de rastejamento necessária de acordo com o nível de poluição (Classe SPS) indicada na Tabela 1.

b) **Terminações GIS ou SF6**

Estes tipos de terminações são necessários para conexões no GIS (Switchgear Isolado a Gás), e devem ser projetados de forma que a interface entre o terminal e o GIS esteja de acordo com a Norma IEC 62271-209. Preferencialmente a terminação GIS deve ser adquirida juntamente com o projeto da blindada prevendo a compatibilidade entre os equipamentos.

As terminações são encapsuladas em resina, com defletor cônico pré-formado. A ligação da tela à base metálica do isolador normalmente é feita por soldagem.

A conexão do condutor será projetada para suportar tensões térmicas e eletromecânicas durante operação normal e em condições de curto-circuito. Os sistemas de vedação devem garantir que não haja poluição por penetração do gás SF6 no interior do terminal.

As terminações GIS serão de projeto “seco” e conector plug-in, não necessitando de preenchimento com óleo de silicone e não necessitando de qualquer monitoramento dos níveis de óleo durante seu serviço.

Nota: Em geral, no fornecimento da GIS devem ser incluídos os terminais “macho” e “femea”.

7.4.2 Emendas

Nos casos em que o comprimento da linha subterrânea exija a união de diferentes trechos de condutores subterrâneos, estes serão conectados através de emendas retas ou emendas seccionadas, realizadas em um corpo pré-moldado que é instalado nas duas extremidades do cabo para garantir a continuidade do isolamento.

As emendas não devem limitar a capacidade de carga dos cabos, tanto em serviço normal como em modo de sobrecarga. Para isso, serão escolhidos de acordo com a natureza, composição e seção dos cabos, sendo confeccionados com elementos que não deverão aumentar sua resistência elétrica.

Da mesma forma, as emendas devem admitir pelo menos as mesmas correntes de curto-circuito que as definidas para o cabo no qual serão instaladas.

Para garantir a correta compatibilidade entre o cabo e as emendas, os diâmetros nominais e tolerâncias de fabricação, condutor e isolamento, deverão ser adaptados aos valores especificados nas características do cabo de potência selecionado. As emendas são constituídas basicamente por duas partes, de acordo com a função que desempenham:

- Parte mecânica; composto pelos elementos de conexão entre o condutor e o cabo blindado.
- Parte elétrica: composta por elementos e materiais que atenuam o gradiente elétrico na região central parte da emenda e nas zonas de transição entre a junta e o cabo.

As emendas podem ser diretas, para ligações rígidas à terra, ou preparadas para cruzamento de blindagens em ligações especiais.

Com base nisso, serão utilizados os seguintes tipos de emendas dependendo dos níveis de tensão:

Tabela 6 - Emendas para nível de tensão

Types	Voltage	
	≤ 72,5 kV	> 72,5 kV
Pre-molded one piece	X	X
Pre-molded three pieces		X

A especificação técnica GSCH011 indica algumas características e valores destes tipos de emendas.

a) Peça única pré-moldada

A parte principal deste tipo de junta consiste em eletrodos internos de alta tensão, uma camada isolante e um revestimento semicondutor.

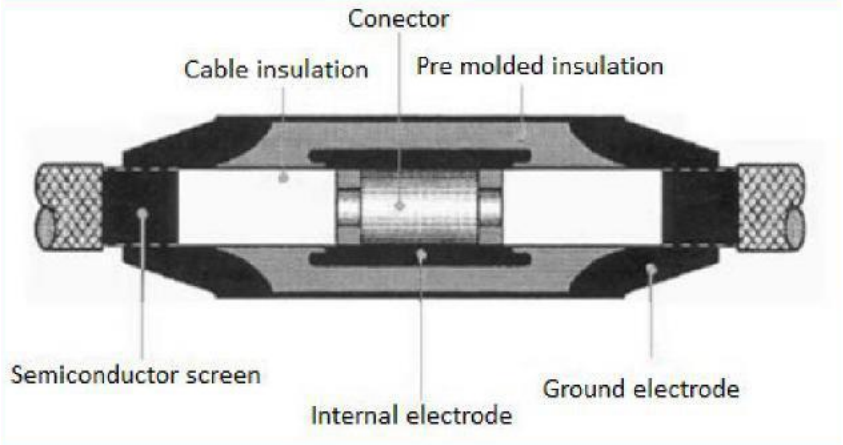


Figura 4 - Emenda pré-moldada

b) Três peças pré-moldadas

O isolamento principal das emendas pré-fabricadas é constituído por dois cones defletores pré-moldados, denominados adaptadores e uma resina epóxi ou similar como corpo principal da emenda.

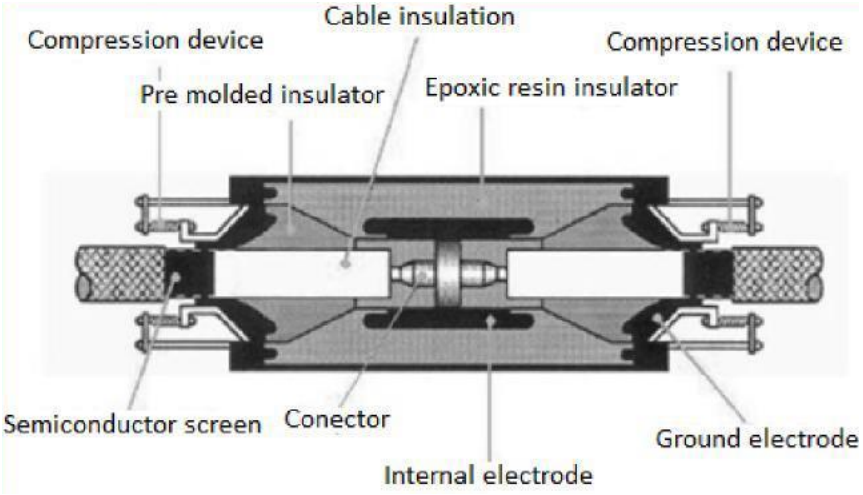


Figura 5 - Emenda pré-fabricada três peças

7.4.2.1 Localização das emendas

As emendas deverão ser instaladas em locais com acesso permanente para manutenção. Não é permitida instalação em travessias rodoviárias, ferroviárias, áreas sujeitas a alagamentos, pontes, viadutos ou locais com restrição operacional.

7.4.3 Classificação Funcional das Câmaras de AT

As câmaras e estruturas subterrâneas associadas à LTS deverão ser classificadas conforme sua função no sistema, podendo compreender, conforme aplicável: câmara de passagem; câmara de puxamento; câmara de mudança de direção; câmara de emenda; câmara associada a link box, SVL ou aterramento; câmara associada aos sistemas de telecomunicações e fibra óptica; e outras configurações tecnicamente justificadas.

A função da câmara deverá ser identificada nos desenhos de projeto e no cadastro do ativo. O dimensionamento deverá considerar sua finalidade, quantidade e disposição dos cabos, raios mínimos de curvatura, esforços de lançamento, espaço para montagem ou substituição de acessórios, acesso, drenagem, manutenção e segurança das equipes.

7.4.4 Caixas de Emendas

Para realizar as conexões entre os diferentes trechos de instalação, são previstas caixas onde serão instaladas as emendas entre os cabos. Os critérios para o projeto estrutural das câmaras devem ser considerados por cada distribuidora e devem incluir a força de empuxo de terra, as características hidrostáticas e sísmicas indicadas nas condições de operação da Tabela 1, bem como a verificação da capacidade dos pisos onde as caixas serão suportadas.

O comprimento e a largura da caixa serão os menores possíveis, desde que permitam as conexões e o espaço necessários para manutenção. Portanto, essas dimensões dependerão da tensão da linha, do número de circuitos da linha, do tipo de emenda, da ventilação e da drenagem necessárias. No caso de dois circuitos, a caixa de emenda poderá ter o dobro da largura ou do comprimento, dependendo das características da instalação. Deve sempre haver uma parede de separação entre os circuitos, que será definida para cada empresa.

A Tabela 7 apresenta as dimensões de referência para este tipo de caixa, que devem ser avaliadas e confirmadas por cada distribuidora na execução do seu projeto:

Tabela 7 - Dimensões de referência para 1 circuito

System Voltage	Maximum length "L" (m)	Maximum width "A" (m)	Length of the separation zones "S" (m) approx.
Un ≤ 72.5 kV	4	1.2	2.7
Un ≤ 145 kV	6	1.9	3.9
Un > 145 kV	7	2.2	4.6

Quando for necessário conectar as blindagens metálicas a uma caixa de transposição de blindagem, para uma conexão cross-bonded ou a uma caixa de aterramento por meio de limitador de tensão (SVL) com resistor não-linear, os cabos de interconexão coaxiais sairão através de uma abertura nas paredes da caixa de emenda, para serem conduzidos até a caixa correspondente. Essa caixa deve estar localizada o mais próximo possível da caixa de emenda.

A caixa será preenchida com areia de rio ou de mina, com granulometria entre 0,2 e 1 mm e resistividade de aproximadamente 1 K m/W, compactada durante a construção e com uma camada de 10 cm de concreto aplicada como proteção. Por fim, o pavimento será recolocado. Qualquer furo na caixa deverá ser devidamente vedado.

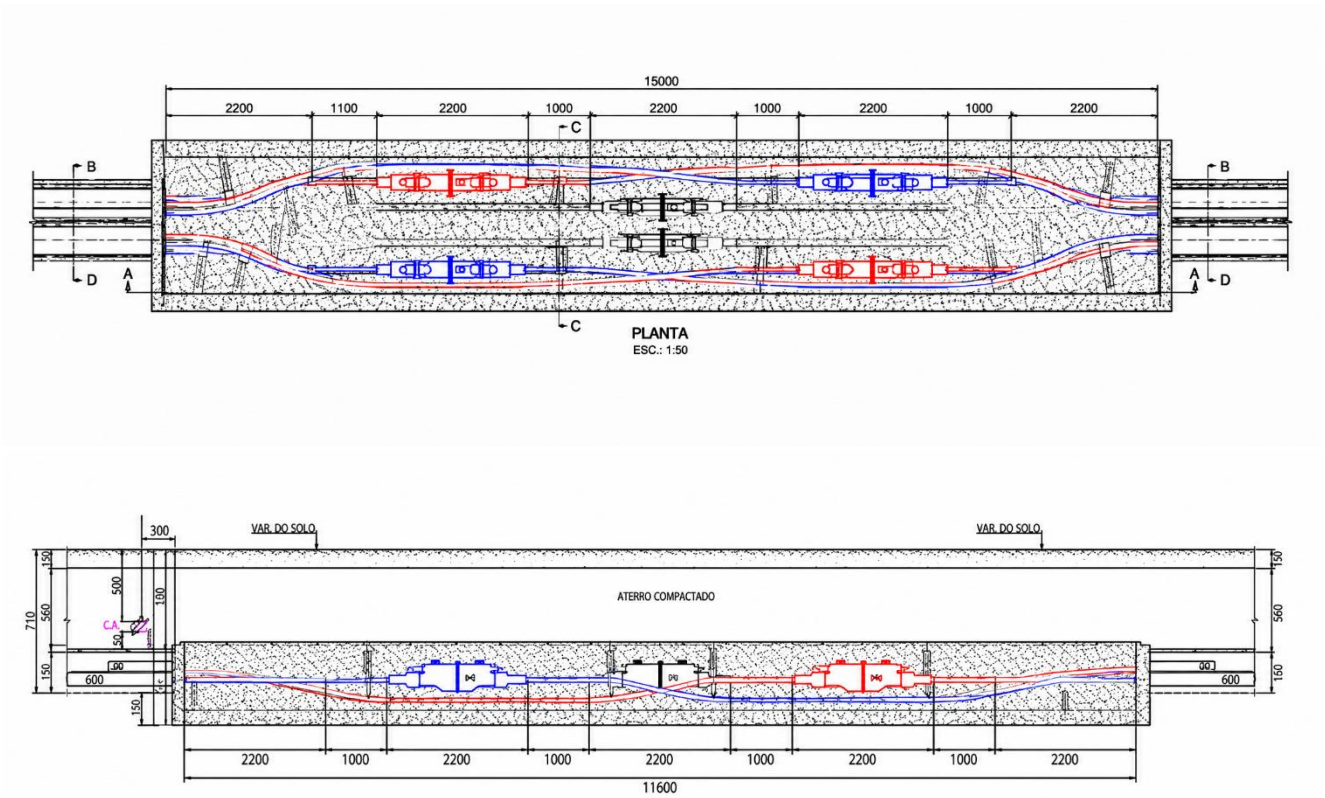


Figura 6 - esquema de referência para caixa de emenda (dimensão em milímetros)

Câmaras de concreto pré-moldado

a) Câmaras pré-moldadas e caixas de conexão de fibra óptica

As câmaras pré-moldadas devem ser projetadas de acordo com as normas locais de telecomunicações, conforme projeto ou podem ser pré-fabricadas classe B, de acordo com a norma UNE 133100-2:2021 (referência).

Se o projeto do sistema exigir, serão definidas as caixas de conexão para blindagens e fibras ópticas, que ficarão adjacentes à câmara de emenda inacessível do circuito de potência e também servirão como sinalização das emendas. Uma caixa de fibra óptica estará presente em pelo menos cada câmara de emenda inacessível.

b) Suporte para a instalação das câmaras pré-moldadas

As câmaras pré-moldadas serão posicionadas em mudanças significativas de direção para facilitar a instalação do cabo.

As paredes dessas câmaras pré-moldadas devem ser blindadas para que não produzam deslizamentos que possam danificar a instalação dos cabos, e terão laje de concreto com cerca de 10 cm de espessura. Após a instalação dos cabos, será dada continuidade aos dutos nas câmaras pré-moldadas, que serão cobertos com concreto para que fiquem no mesmo nível do restante da vala.

Por fim, a vala será preenchida com solo compactado e o pavimento será recolocado.

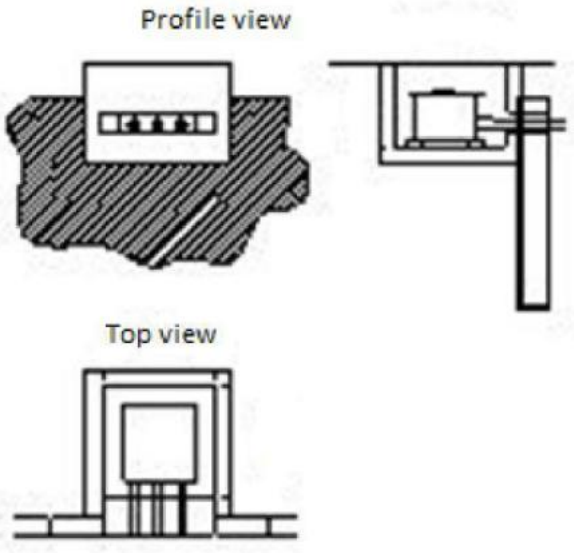


Figura 7 - Esquema de câmara pré-moldada

O projeto das câmaras deverá avaliar as condições locais de drenagem, nível do lençol freático, possibilidade de ingresso de águas pluviais, histórico de alagamentos e demais condições capazes de provocar inundação.

Quando necessário, deverão ser previstos sistemas de impermeabilização, drenagem ou esgotamento compatíveis com a solução construtiva e os requisitos ambientais aplicáveis. Todas as entradas de dutos, passagens de cabos e interfaces construtivas deverão possuir solução adequada de vedação.

A solução adotada não deverá provocar retenção de água junto aos acessórios, caixas de aterramento, link boxes ou demais componentes cuja instalação não seja especificada para operação submersa. Em áreas sujeitas a alagamentos, o projeto deverá apresentar análise de risco e as respectivas medidas mitigadoras.

7.4.5 Fibra Óptica

As comunicações a implementar em circuitos com cabo subterrâneo serão sempre baseadas em fibra óptica colocada em conjunto com os cabos. As linhas com cabo subterrâneo não suportam comunicações por meio de ondas portadoras devido à alta capacidade deste tipo de cabo.

As principais características mecânicas e elétricas do cabo são mostradas na Tabela 8. A norma EDE NNJ003 pode ser tomada como referência.

Tabela 8 - Principais características do cabo de fibra óptica para linhas subterrâneas

Número de fibras	48
Diâmetro externo do cabo (mm)	≤18
Resistência à tração final (daN)	≥1000
Massa (kg/km)	≤300
Razão da curva (mm)	≤300
Disposições dos dutos	4 dutos de 12 fibras
Humidade Relativa	Mínimo 65% à 55ºC
Margem de temperatura	-20ºC à +70ºC

Caso a linha com cabo subterrâneo corresponda a um enterramento parcial da linha aérea, e esta linha possua fibra óptica, a mesma deverá ser ligada à fibra óptica da instalação subterrânea dessa linha. As soldaduras entre as diferentes secções de fibra (aérea e subterrânea) devem estar em dispositivos reconhecíveis. Será considerado um excesso de cerca de 10 metros de cabo óptico. O cabo será enrolado na posição horizontal e fixado na primeira base, com as pontas seladas.

Se a linha aérea não possuir fibra óptica, e a transição para o subsolo implicar a perda de comunicações por onda portadora, serão ligadas as duas extremidades de cada linha (aérea + subterrânea), substituindo a comunicação por onda portadora se necessário, usando fibra óptica.

7.4.6 Monitoramento DTS e descargas parciais

O sistema DTS deverá possuir integração ao sistema supervisório, registro histórico e parametrização de alarmes. Para empreendimentos definidos pela Enel, deverá ser fornecido sistema para monitoramento de descargas parciais, incluindo software, treinamento e licenças.

7.5 Sistemas de Aterramento

Deve ser considerada a ligação à terra dos seguintes elementos:

1) Suportes de transição ar-subterrâneo

Será efetuado o aterramento do próprio suporte e dos elementos nele instalados. Esse sistema de aterramento será dimensionado de acordo com os requisitos de resistência mecânica e térmica, corrosão, segurança de pessoas e proteção contra descargas atmosféricas.

O aterramento do suporte de transição será sempre feito através de um anel fechado.

Como já indicado, a ligação à terra do para-raios não poderá ser feita através da própria estrutura do suporte, mas terá uma linha de aterramento própria.

O aterramento do para-raios para cada fase poderá ser combinado em uma única linha de aterramento que será unida ao cabo de saída da caixa de conexão das blindagens, conectando-se a partir daí ao sistema de aterramento do suporte.

A conexão das blindagens também será feita através de um cabo separado à caixa de conexão. Este cabo, também, terá seção igual ou superior à das blindagens às quais estão conectadas, conforme definido em 7.5.2.

O invólucro e sua porta de acesso deverão possuir um aterramento onde seja verificada a conformidade das tensões de passo e contato.

2) Dispositivos de segurança contra sobretensão (SVL) e para-raios

Os cabos devem ser protegidos contra sobretensões internas e externas perigosas. Dispositivos de segurança contra sobretensão ou para-raios serão instalados em todas as zonas de transição ar-subterrâneo. Para cada uma das sobretensões após a instalação dos dispositivos de segurança, será instalado um cabo de aterramento isolado independente, com um contador de descargas atmosféricas instalado nele. O condutor a ser instalado deverá atender à norma de cabos unipolares.

A conexão não pode ser feita através da própria estrutura do suporte, sendo este último dotado de conexão própria.

O aterramento dos para-raios de cada fase pode ser combinado em uma única linha de aterramento, que será conectada ao cabo de saída da caixa de blindagens de conexão, conectando-se a partir daí ao sistema de aterramento do suporte.

3) Blindagens metálicas dos condutores

A principal função do sistema de aterramento das blindagens dos condutores é a redução das tensões induzidas que surgem entre a blindagem dos cabos e o terra, em condições de operação contínua e curto circuito.

Basicamente, podem ser apresentados 2 tipos de conexões de blindagem:

- Conexão rígida ao terra (solidamente ligada).
- Conexões especiais ao terra:
- Blindagens conectadas ao terra em um único ponto (single point).
- Cruzamento de blindagens (cross bonded).
- Combinações de conexões especiais.

Conexões especiais devem ser consideradas em distâncias de linha > 700 metros.

A escolha do sistema de aterramento específico para as blindagens será feita e justificada caso a caso, considerando as características da instalação e os efeitos que as tensões induzidas podem causar na instalação. As principais funções do sistema de aterramento serão:

- Eliminar ou reduzir as correntes circulantes pelas blindagens, devido ao acoplamento indutivo com a corrente que passa pelos cabos, o que é uma forma de evitar perdas de potência ativa.
- Reduzir as tensões induzidas entre os cabos das blindagens e o terra, tanto em operação contínua quanto em transientes (durante curtos-circuitos). Sobretensões induzidas durante curtos-circuitos podem causar danos aos cabos, principalmente nas emendas, terminações e caixas de junção utilizadas para a transposição das blindagens, bem como a perfuração do revestimento isolante.

A tensão induzida máxima aceitável na blindagem é de 80 V.

7.5.1 Cabos de Aterramento

Aterramento dos elementos da instalação detalhados na próxima seção.

✓ **Cabos Unipolares**

Serão formados por um condutor com isolação XLPE, revestido com poliolefina ou PEAD e, preferencialmente, preto, se a regulamentação local permitir.

✓ **Cabos Concêntricos**

Estes cabos são utilizados para conectar as blindagens das emendas seccionadas às caixas de aterramento. As blindagens em ambos os lados da emenda serão conectadas às partes interna e externa do cabo concêntrico.

✓ **Condutor de Continuidade de Terra**

Quando o sistema de aterramento for "monoponto", será necessário um condutor de continuidade de terra para fornecer um caminho de baixa impedância para as correntes de sequência zero que podem ser produzidas quando correntes de curto-circuito circulam pela linha. Este cabo será isolado com XLPE.

7.5.2 Caixa de Aterramento

Serão instaladas caixas de aterramento para as conexões dos condutores de blindagem, conforme especificação técnica GSCH014.

Serão monofásicas ou trifásicas e contarão com um invólucro com capacidade para as conexões das blindagens, cabos de aterramento, com SVL, se necessário.

Serão acessíveis para permitir o comissionamento e os testes periódicos de manutenção. Para facilitar essas operações, não conterão nenhum tipo de enchimento.

Os invólucros serão de aço galvanizado ou aço inoxidável e serão capazes de conter os efeitos de falhas térmicas ou elétricas de qualquer um dos elementos nelas localizados, sem causar danos aos elementos externos. Além disso, devem ser sempre conectados à terra por meio de uma conexão independente.

Na técnica GSCH014 apresenta a solução construtiva, que pode ser adotada.

a) Terminais

Nestas caixas, são recebidas três blindagens para serem aterradas diretamente ou por meio de SVL, conforme os seguintes diagramas:

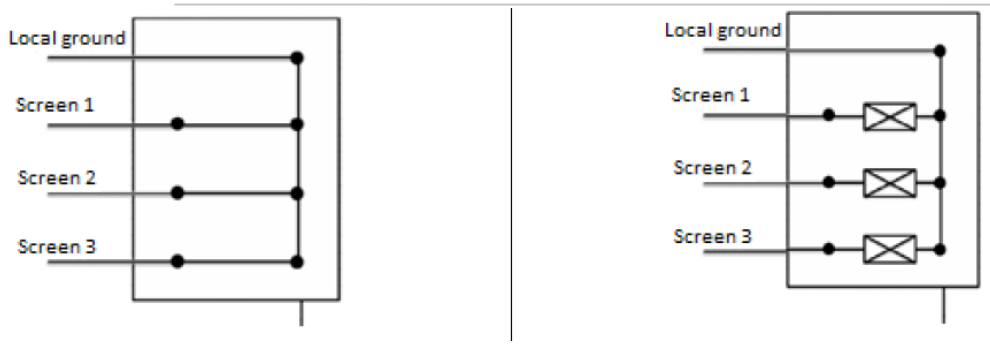


Figura 8 - Caixa de terminais de aterramento direto e caixa de terminais com SVL

Nestas caixas são recebidas seis (6) blindagens para serem conectadas conforme uma das seguintes configurações:

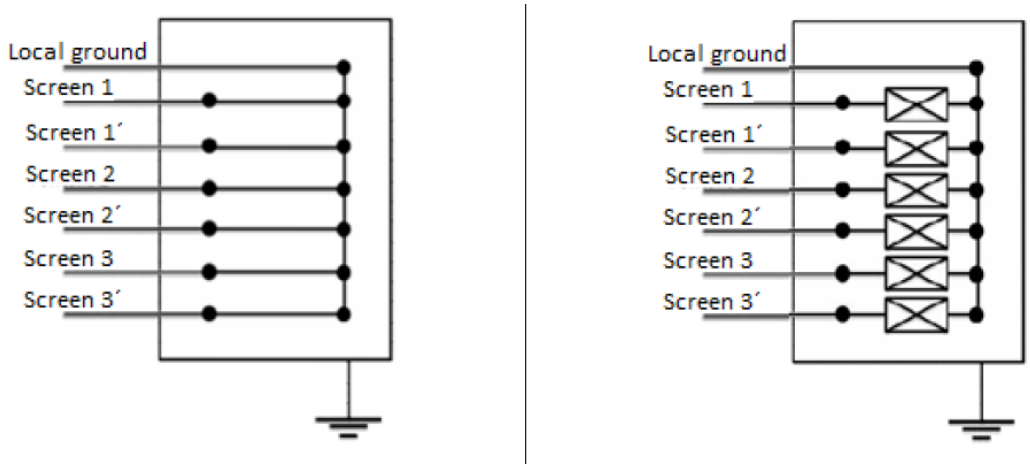


Figura 9 - Caixa de terminais de aterramento direto e caixa de terminais via SVL

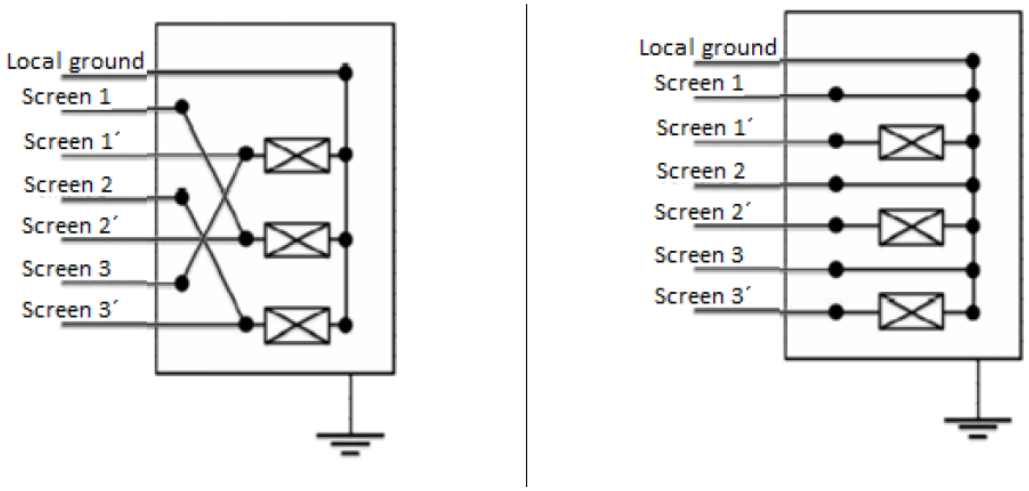


Figura 10 - Caixa de terminais mista (3 blindagens diretas e 3 blindagens SVL) e caixa de terminais para cruzamento de blindagens

b) Limitadores de Tensão de Bainha (SVL)

SVLs são dispositivos com características fortemente não lineares de tensão-corrente, projetados para limitar as diferenças de potencial transitórias que, em caso de surtos de impulso, atmosféricos ou de manobra, podem surgir entre elementos do circuito de blindagem com rigidez dielétrica limitada.



Figura 11 - SVL

As sobretensões a serem limitadas surgem entre as blindagens e o terra local e produzem tensões dielétricas

entre o revestimento do cabo e os isoladores de suporte dos terminais. Além disso, as sobretensões entre as duas extremidades da blindagem coincidem na mesma junta com a descontinuidade da blindagem, que deve ser suportada por uma espessura muito pequena de material isolante.

As SVL devem ser dimensionadas em cada instalação para obter um nível de proteção adequado, embora normalmente sejam utilizadas com as seguintes características:

- Tensão nominal: 6 kV.
- Tensão residual: ≤ 20 kV.
- Corrente de descarga nominal com onda 8/20 μs: ≥ 10 kA

7.5.3 Fibra óptica

Será necessário garantir a continuidade da fibra óptica entre o OPGW e o cabo óptico subterrâneo, unindo ambos os cabos na caixa correspondente.

7.5.4 Enclausuramento

A solução construtiva será elaborada por cada distribuidora, recomendando-se o seguinte:

- Altura mínima de 3 metros

Estrutura de alvenaria, alambrado com arame farpado na parte superior, ou similar.

- Será construída sobre fundação contínua, independente da base da torre, e com pilares nos cantos.

Além disso, a medição da tensão de degrau deve ser realizada para verificar sua conformidade.

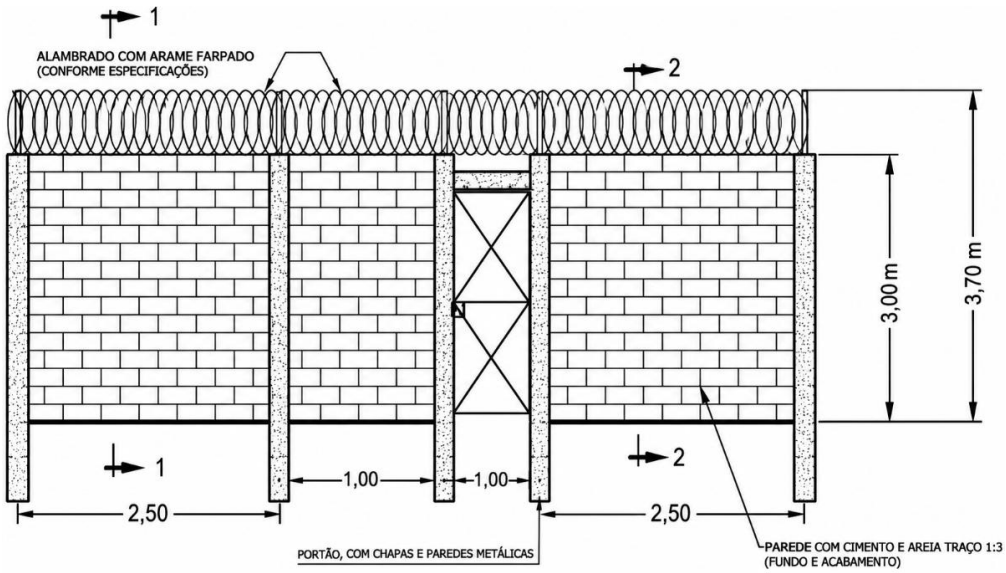


Figura 12 - Esquema de referência para o fechamento em alvenaria (dimensões em metros)

Para os casos em que, por exigência da administração, seja necessário instalar um recinto metálico, pode-se optar por um recinto constituído por um muro baixo e uma cerca metálica soldada eletricamente.

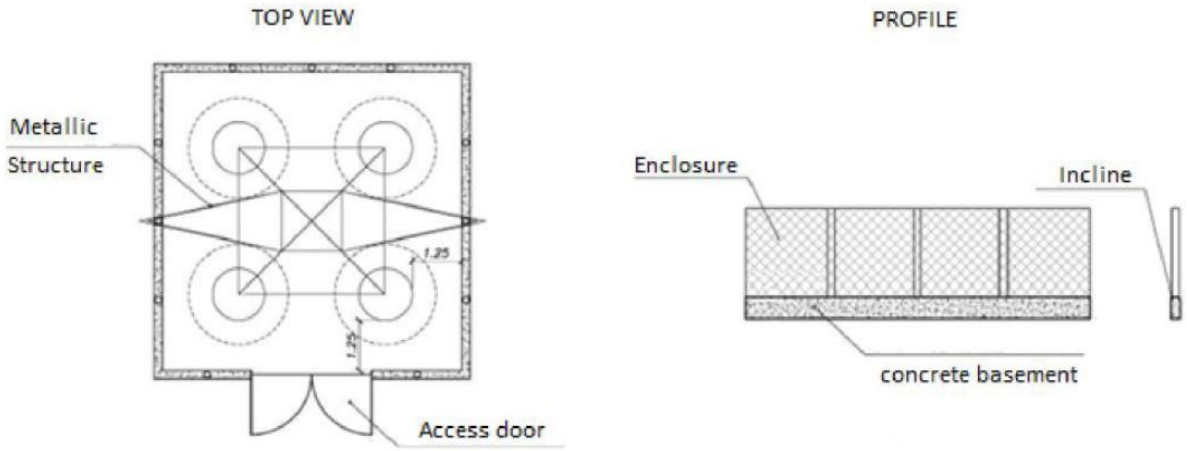


Figura 13 - Invólucro externo para torre de transição

7.6 Proteção, controle e telecomunicações

O sistema de proteção da LTS deverá ser definido mediante estudo específico, considerando topologia da rede, características dos trechos aéreos e subterrâneos, níveis de curto-circuito, tempos admissíveis de eliminação de faltas, seletividade, confiabilidade e filosofia de operação da distribuidora.

Quando tecnicamente requerida, deverá ser prevista proteção diferencial de linha 87L, incluindo canais de telecomunicação, redundância e demais recursos necessários ao desempenho da proteção.

A aplicação da 87L deverá ser definida pelo estudo de proteção, considerando, entre outros fatores, extensão e configuração da LTS, presença de transições aéreo-subterrâneas, necessidade de seletividade entre trechos, impacto sobre o religamento automático e requisitos de continuidade do sistema.

A adoção de transição direta não deverá, isoladamente, determinar uma função de proteção específica sem a correspondente análise de proteção e operação.

7.7 Transições aéreo subterrâneas

7.7.1 Conexão à Linha de Alta Tensão existente

Os esquemas estão indicados na Diretriz GRI-GRI-GUI-E&C-0005 - Critérios técnicos de desenvolvimento de redes de AT, MT e BT (ex GUI-E&C-ND-2022-0083-GIN and ex Policy 28).

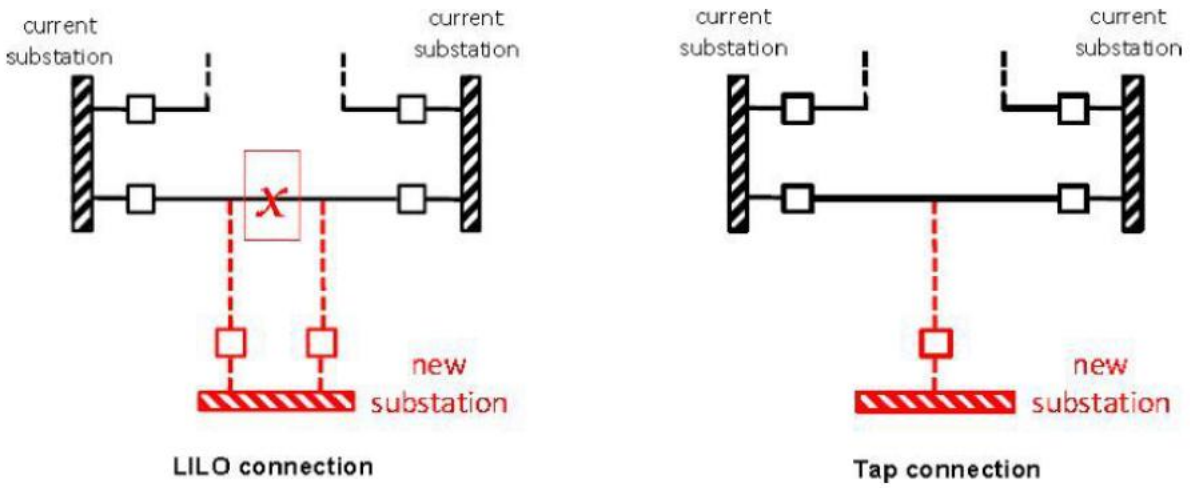


Figura 14 - Esquemas linhas AT na GRI-GRI-GUI-E&C-0005

Nota: Na especificação técnica de conexão CNC-NDBR-DBR-19-0407-EDBR - Fornecimento de Energia Elétrica em Alta Tensão – 138/88/69 kV e Diretriz GRI-GRI-GUI-E&C-0005 Critérios técnicos de desenvolvimento de redes de AT, MT e BT (ex GUI-E&C-ND- 2022-0083-GIN and ex política 28) são indicados onde cada esquema pode ser adotado.

Os esquemas de ligação aplicáveis às linhas subterrâneas deverão respeitar a ausência de derivações TAP estabelecida no item 7.1.1. Novas conexões deverão empregar soluções compatíveis de seccionamento ou conexão em subestações, conforme os estudos técnicos.

7.7.2 Zonas de Transição

Entende-se por zona de transição uma conexão ar-subterrânea, cujo conjunto é composto por suporte, amarração, para-raios, terminações, aterramento, encapsulamento e as correspondentes obras civis que permitem a continuidade da linha de energia elétrica.

O suporte funcional será sempre do tipo fim de linha, devendo, portanto, suportar os esforços mecânicos de todos os condutores aéreos e cabos de aterramento.

Em áreas urbanas, torres/suportes tubulares serão utilizadas predominantemente como estruturas de transição entre o aéreo e o subterrâneo.

7.7.2.1 Projeto e disposição dos cabos subterrâneos

Os cabos ficarão dentro da canalização na parte central. A curvatura dos cabos no trecho entre a cruzeta e o corpo do suporte deverá respeitar a relação mínima de curvatura definida em 7.3.2 e será calculada por cada distribuidora durante a execução do projeto.

No corpo de suporte, serão utilizadas estruturas acessórias para suportar as abraçadeiras ou grampos de fixação de cabos, conforme a norma de referência IEC 61914. Estas serão feitas de material não magnético, como nylon, teflon ou similar, e serão colocadas com uma distância máxima de 1,5 metro entre si.

7.7.2.2 Terminais e Para-raios

Caso o projeto exija, e para proteger os cabos contra surtos causados por descargas atmosféricas, deverá ser instalado um SVL ou para-raios em cada extremidade dos cabos unipolares. Esses elementos serão dispostos entre a seção aérea e a seção terminal.

O aterramento do para-raios não pode ser feito através da própria estrutura do suporte, mas ele terá sua própria linha de aterramento. Dessa forma, a impedância é minimizada em caso de descarga.

As características exigidas para para-raios estarão de acordo com a especificação global GSCH005 "Para-raios com invólucro de polímero de óxido metálico sem folgas para sistemas de CA para substâncias de 12 kV a 245 kV". Caso seja necessário um tipo não considerado na referida especificação, poderá ser utilizada uma especificação local correspondente.

Em relação às terminações, elas serão instaladas conforme especificado para terminações externas em 7.4.1.

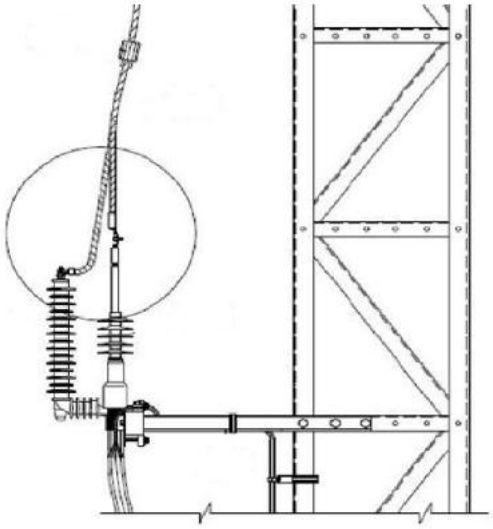


Figura 15 - Detalhe do para-raios e do terminal

7.7.3 Critérios para Definição entre Estação de Transição e Transição Direta

A definição da solução de interface entre trechos aéreos e subterrâneos de Linhas de Alta Tensão deverá ser realizada mediante análise técnica específica, considerando de forma integrada os requisitos de planejamento, proteção, operação, manutenção, segurança e confiabilidade do sistema, não devendo a decisão ser estabelecida exclusivamente em função da extensão do trecho subterrâneo.

Para fins deste documento, considera-se Estação de Transição (ETR) a instalação destinada a estabelecer a interface entre os trechos aéreo e subterrâneo, dotada dos equipamentos de manobra, proteção, medição, supervisão e demais recursos definidos pelo projeto e pela filosofia de operação da rede.

Considera-se **Transição Direta Aéreo-Subterrâneo** a solução na qual a conexão entre os trechos aéreo e subterrâneo é realizada diretamente em estrutura de transição, sem a implantação de uma ETR convencional, utilizando os equipamentos e acessórios necessários à adequada conexão, proteção contra sobretensões, aterramento e operação da instalação.

A ETR constitui a solução técnica de referência para a interface aéreo-subterrânea, segundo os requisitos de proteção, seccionamento, operação, manutenção, segurança e recomposição da rede. A transição direta somente será adotada mediante estudo técnico e aprovação das áreas competentes. A utilização de Transição Direta poderá ser admitida mediante estudo de viabilidade técnica específico, desde que demonstrado que a solução não compromete a segurança, confiabilidade, seletividade, condições de operação, manutenção e recomposição da rede.

A análise para definição da solução deverá considerar conjuntamente, no mínimo:

- ✓ extensão e configuração do trecho subterrâneo;

- ✓ quantidade, tipo e localização das emendas;
- ✓ configuração elétrica da linha e condições de contingência;
- ✓ criticidade das cargas e instalações atendidas;
- ✓ quantidade de consumidores, subestações ou demais instalações afetadas por eventual indisponibilidade;
- ✓ consequências operativas decorrentes de falha no trecho subterrâneo;
- ✓ filosofia de proteção e de religamento automático da linha;
- ✓ possibilidade de identificação e isolamento seletivo de defeitos;
- ✓ requisitos e disponibilidade dos canais de telecomunicação;
- ✓ possibilidade de utilização de proteção diferencial de linha;
- ✓ tempo estimado para localização da falha, isolamento do trecho defeituoso e recomposição do sistema;
- ✓ acessibilidade para inspeção, operação e manutenção;
- ✓ número e características das transições aéreo-subterrâneas;
- ✓ exposição do trecho subterrâneo a danos provocados por terceiros;
- ✓ instalação em vias públicas, áreas urbanas de elevada densidade de interferências ou faixas de servidão controladas;
- ✓ condições para realização de reparos emergenciais;
- ✓ confiabilidade e continuidade requeridas para a rede;

Compatibilidade da solução com eventuais ampliações ou reconfigurações futuras do sistema, observando os padrões técnicos de conexão e os requisitos de operação e manutenção.

- ✓ disponibilidade de espaço físico para implantação da ETR;
- ✓ análise dos riscos técnicos e operacionais envolvidos;
- ✓ avaliação técnico-econômica e do custo global das alternativas.

A pequena extensão do trecho subterrâneo ou sua execução em lance único sem emendas poderá ser considerada favorável à avaliação da Transição Direta, mas não constituirá, isoladamente, condição suficiente para sua adoção.

A existência de trecho subterrâneo curto**, inclusive inferior a 500 m**, ou constituído por lance único sem emendas, deverá ser considerada como elemento favorável à avaliação da Transição Direta, mas não constituirá, isoladamente, condição suficiente para sua adoção.

Da mesma forma, poderá ser considerada favoravelmente a instalação do trecho subterrâneo predominantemente em faixa controlada, área de subestação ou local de reduzida exposição a escavações e intervenções de terceiros. Trechos implantados em vias públicas de intenso tráfego ou locais com elevada concentração de redes subterrâneas deverão receber avaliação específica quanto ao risco de danos externos e às consequências operacionais associadas.

A Transição Direta não deverá comprometer a filosofia de proteção e religamento da linha aérea. O sistema de proteção deverá permitir a identificação e eliminação seletiva dos defeitos, evitando, sempre que tecnicamente possível, que uma falha restrita ao trecho subterrâneo resulte em indisponibilidade desnecessária de outros trechos da rede.

Quando tecnicamente requerida pelo estudo de proteção, deverá ser prevista proteção diferencial de linha, função 87L, incluindo os canais de telecomunicação e demais recursos necessários ao seu adequado desempenho. A aplicação da função 87L deverá considerar a topologia da instalação, limites das zonas de proteção, filosofia de religamento, seletividade, confiabilidade da comunicação e requisitos operacionais da rede.

A Transição Direta deverá atender integralmente às demais premissas estabelecidas neste documento para cabos, terminações, para-raios, estruturas, aterramento, blindagens, proteção mecânica, fibra óptica, telecomunicações, monitoramento, ensaios e comissionamento.

O tipo de estrutura utilizado na Transição Direta, incluindo poste, torre ou outra solução tecnicamente aplicável, deverá ser definido no projeto em função dos esforços mecânicos, distâncias elétricas de segurança, arranjo dos equipamentos, raio de curvatura dos cabos, acessibilidade, manutenção, segurança e características do local de implantação.

A adoção da Transição Direta deverá ser formalmente justificada no projeto, mediante documentação das premissas consideradas, riscos avaliados, medidas mitigadoras e conclusões dos estudos técnicos aplicáveis, devendo ser submetida à aprovação das áreas competentes de Engenharia, Operação e Manutenção.

Sempre que os estudos demonstrarem que a Transição Direta possa comprometer a seletividade das proteções, o religamento automático, a capacidade de isolamento do trecho defeituoso, a manutenção, a segurança ou o tempo de recomposição do sistema, deverá ser adotada solução com Estação de Transição ou outra configuração que assegure o adequado seccionamento e desempenho da rede.

A alternativa adotada deverá observar a diretriz de ausência de TAP subterrâneo do item 7.7.4.

7.7.3.1 Subestações de Transição como Padrão Técnico

O arranjo padronizado da ETR deverá contemplar as funções de transição, seccionamento, proteção, supervisão e operação necessárias ao empreendimento, nas obras próprias ou de terceiros, conforme a topologia e os estudos técnicos.

- ✓ A ETR poderá proporcionar, conforme a configuração adotada: isolamento e seccionamento dos trechos aéreo e subterrâneo;
- ✓ aplicação de sistemas de proteção adequados às características e limites térmicos dos diferentes trechos;
- ✓ atuação seletiva das proteções em condições de falta;
- ✓ realização de intervenções de manutenção de forma localizada;
- ✓ isolamento do trecho subterrâneo em caso de falha;
- ✓ redução do impacto de falhas da LTS sobre os demais trechos da linha;
- ✓ redução do risco de desligamentos de maior abrangência;

- ✓ maior flexibilidade para manobras e reconfiguração da rede;
- ✓ suporte à automação, supervisão e controle remoto;
- ✓ melhores condições para localização de defeitos e recomposição do sistema;
- ✓ disponibilização de pontos adequados para medição, proteção e telecomunicações, quando requeridos pelo projeto;
- ✓ preparação da infraestrutura para ampliações, reforços ou reconfigurações futuras da rede.

Adequação das instalações às necessidades de operação, inspeção, manutenção e recomposição do sistema, observando a configuração técnica definida para o empreendimento.

A ETR será dimensionada pelos recursos funcionais necessários à conexão e à operação da rede. Capacidade nominal excedente de equipamentos normalizados não representa, isoladamente, previsão de expansão.

Posições, circuitos ou equipamentos destinados exclusivamente à expansão futura deverão possuir justificativa própria, distinta dos componentes necessários à operação da ETR.

7.7.4 Documentação e Aprovação da Transição Direta

A adoção de transição direta deverá ser tecnicamente justificada com base nos critérios de avaliação do item 7.7.3 sem prejuízo dos requisitos de segurança, proteção e operação das linhas subterrâneas.

A justificativa deverá apresentar os riscos e medidas mitigadoras e obter aprovação das áreas de Engenharia, Manutenção de Alta Tensão e Centro de Operações do Sistema (COS), antes da execução.

7.8 Métodos construtivos para instalação dos cabos

7.8.1 Banco de dutos

Neste capítulo, são apresentados os métodos de instalação de cabos, recomendados para linhas subterrâneas de alta tensão, para instalação enterrada diretamente no solo, para estradas pavimentadas e métodos de instalação com perfuração direcional horizontal (HDD) e perfuração por macaco hidráulico (Jack & Bore). Também é possível avaliar a instalação com microtúnel/tubulação por macaco hidráulico ou compactação de tubos.

Os cabos podem ser dispostos em planos ou triangulares, de acordo com o nível de tensão, as restrições quanto às emissões de campos eletromagnéticos e a profundidade de instalação.

Cada linha de energia de alta tensão é composta por 3 cabos unipolares dispostos em uma única vala. Os cabos de sinal (fibra óptica, telecomunicações, sistemas de monitoramento, etc.) e os cabos de baixa tensão (sistemas de monitoramento de energia, cabos de aterramento, etc.) serão dispostos na mesma vala.

Para os tipos de instalação em que o cabo é instalado dentro de um duto/tubo corrugado de polietileno de alta densidade, geralmente denominado "tubo jaqueta", este deve ser fabricado de acordo com a norma EN 61386-24.

O banco de dutos será dimensionado para os circuitos previstos, considerados dissipação térmica, instalação e manutenção. A previsão de novos circuitos dependerá de necessidade técnica identificada no projeto ou no planejamento, sem expansão automática das LTS dedicadas.

A seguir, são apresentados apenas os métodos de instalação em circuito único.

É possível construir uma tubulação/duto para dois circuitos desde o início, embora inicialmente seja utilizado apenas um, com um diferencial de baixo custo. Os tubos de reserva permitirão a instalação de um segundo circuito sem a necessidade de abrir uma nova vala ou remover o serviço do primeiro circuito durante a execução da obra.

Para uma linha de circuito duplo, devem ser utilizados os mesmos métodos de instalação, considerando uma distância adequada dos dois circuitos, calculada de acordo com as restrições de ampacidade da linha e de emissão de campos eletromagnéticos.

7.8.2 Requisitos Gerais para Bancos de Dutos e Dutos Reserva

Os bancos de dutos deverão ser dimensionados considerando a configuração final prevista para a instalação, capacidade de corrente dos cabos, dissipação térmica, esforços de lançamento, manutenção, substituição dos cabos e planejamento da rede.

O projeto deverá identificar individualmente a formação do banco, diâmetro dos dutos, circuito associado a cada duto, dutos destinados aos sistemas auxiliares e dutos reserva. Os dutos deverão possuir diâmetro interno compatível com o cabo e seus acessórios de lançamento, respeitando limites admissíveis de ocupação, raio de curvatura, tração e pressão lateral.

Sempre que previsto pelo planejamento da rede, deverão ser instalados dutos reserva destinados à manutenção, substituição de cabos ou expansão futura. Os dutos reserva deverão permanecer limpos, tamponados, identificados e providos de elemento guia adequado para futura utilização.

Os dutos de reserva deverão ser classificados segundo sua finalidade — manutenção/substituição ou expansão —, com quantidade e disposição definidas no projeto. Os requisitos de identificação e conservação constam do item 7.8.11.

7.8.3 Inspeção, Limpeza e Mandrilagem dos Dutos

Previamente ao lançamento dos cabos, todos os dutos a serem utilizados deverão ser inspecionados, limpos e verificados quanto à continuidade e integridade.

Todos os dutos deverão ser submetidos à limpeza, inspeção visual e mandrilagem previamente ao lançamento dos cabos. Os resultados deverão ser registrados em relatório específico contendo identificação do trecho, dimensão do mandril e evidências fotográficas.

Deverá ser realizada mandrilagem de cada duto, utilizando dispositivo com dimensões compatíveis com o diâmetro interno útil da tubulação, comprovando a ausência de obstruções, deformações ou descontinuidades capazes de comprometer o lançamento ou danificar o cabo.

Após a mandrilagem deverá ser instalado ou mantido elemento guia adequado ao posterior lançamento. A liberação dos dutos deverá ser formalmente registrada, identificando, no mínimo, trecho, duto, data da inspeção e resultado da verificação. Dutos não conformes não poderão ser utilizados até sua regularização e nova inspeção.

7.8.4 Plano de Lançamento e Puxamento dos Cabos

Antes do lançamento dos cabos deverá ser elaborado plano de puxamento para cada trecho, considerando o traçado efetivo da instalação e as características do cabo e dos equipamentos empregados.

O plano deverá contemplar, no mínimo: comprimento do trecho; características dimensionais e mecânicas do cabo; sequência e sentido de lançamento; posição do carretel e do equipamento de tração; curvas e respectivos raios; coeficientes de atrito; esforços de tração; pressão lateral nas curvas; capacidade dos pontos de ancoragem e equipamentos auxiliares; limites do fabricante; e método de lubrificação, quando aplicável.

Durante o lançamento deverá ser monitorada a força de tração aplicada. Os valores máximos registrados deverão ser documentados e comparados aos limites estabelecidos no plano e pelo fabricante. O lançamento deverá ser interrompido se os limites admissíveis forem ultrapassados ou houver condição capaz de comprometer a integridade do cabo.

7.8.5 Cabos envoltos em banco de dutos de concreto

O método de instalação, envolto em banco de dutos de concreto, é realizado por meio de uma vala com profundidade mínima de 1,2 m, com uma camada de concreto magro com resistividade térmica controlada. O duto é coberto por uma laje superior que serve como proteção mecânica adicional, projetada para suportar, em relação à profundidade de instalação, as tensões causadas por cargas estáticas, tráfego de veículos ou ferramentas manuais de escavação.

Lajes laterais de concreto pré-moldado adicionais podem ser instaladas, por exemplo, em solos soltos (baixa coesão). Uma rede de segurança de PVC colocada diretamente acima da laje superior é aplicada como elemento de sinalização. A vala será coberta com material da própria escavação ou com material de aterro adequado (por exemplo, cascalho e material estabilizado). A fita de PVC deve ser colocada pelo menos 20 cm acima da laje superior como elemento de sinalização adicional.

Na mesma vala, devem ser instalados também 3 tubos PEAD para fibra óptica e um único tubo PEAD para sistemas de monitoramento ou cabo de aterramento. Parâmetros do tubo PEAD de acordo com a norma EN 61386-24.

A capacidade do cabo subterrâneo depende da capacidade de dissipação de calor no ambiente, que depende de muitos fatores, incluindo o grau de umidade do ambiente.

A resistência térmica do concreto é sempre constante, com um valor aceitável de 0,8-1,0 [m²*K/W]. Portanto, no caso de um circuito duplo, ter um ambiente como o concreto entre os circuitos permite uma redução da distância de separação de cada um, em comparação com a mesma instalação diretamente enterrada, permitindo uma vala menor.

Abaixo, a figura com este método de instalação para solos agrícolas.

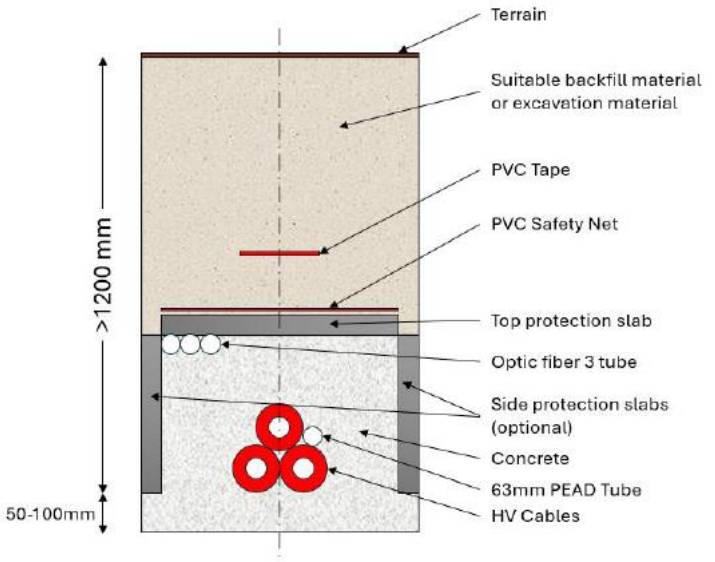


Figura 16 - Método Triangular em solo

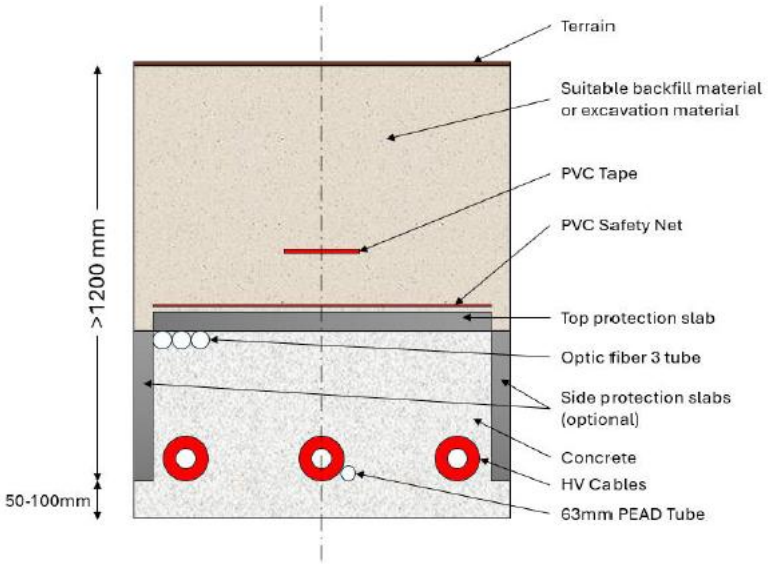


Figura 17 - Método Plano em solo

Nos casos em que este tipo de trecho for aplicado em estradas asfaltadas, a superfície do trecho será executada com uma camada de ligante e a correspondente manta de desgaste, que atenda aos parâmetros de resistência à compactação para o transporte de veículos e esteja bem conectada à via atual.

A superfície da estrada será executada de acordo com as instruções do órgão gestor, quando presente.

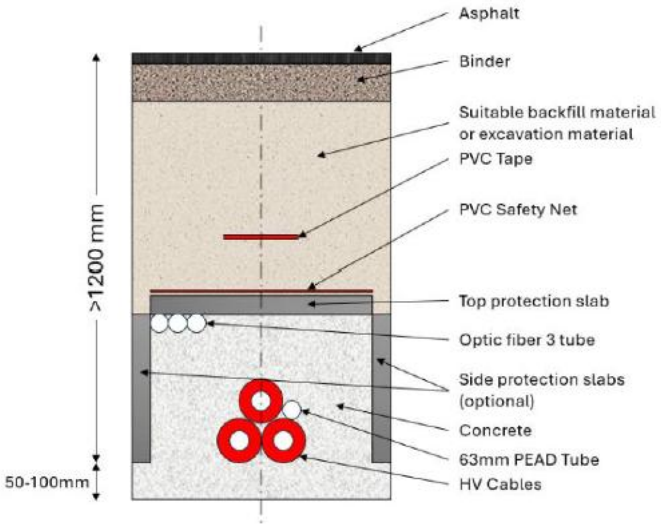


Figura 18 - Método Triangular em asfalto

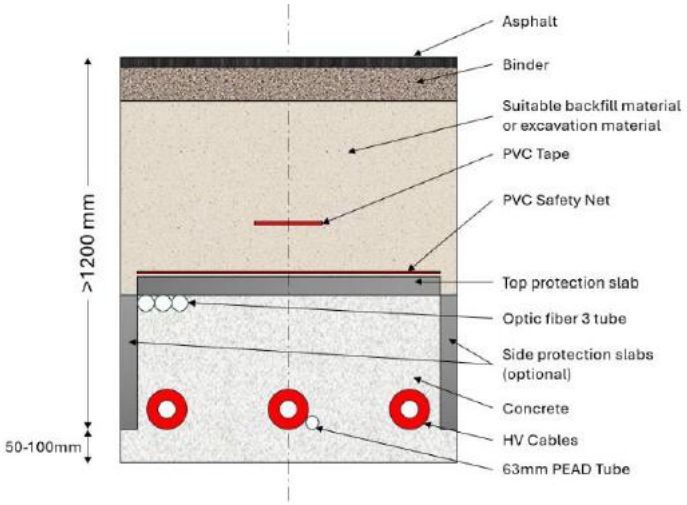


Figura 19 - Método Plano em asfalto

No caso de assentamento em uma estrada não pavimentada, uma camada de concreto misto ou cascalho e materiais estabilizados da espessura exigida pelos requisitos de entrada de veículos da estrada deve ser colocada na parte superior da seção que atenda ao parâmetro de resistência à compactação para transporte de veículos e bem conectada à estrada atual.

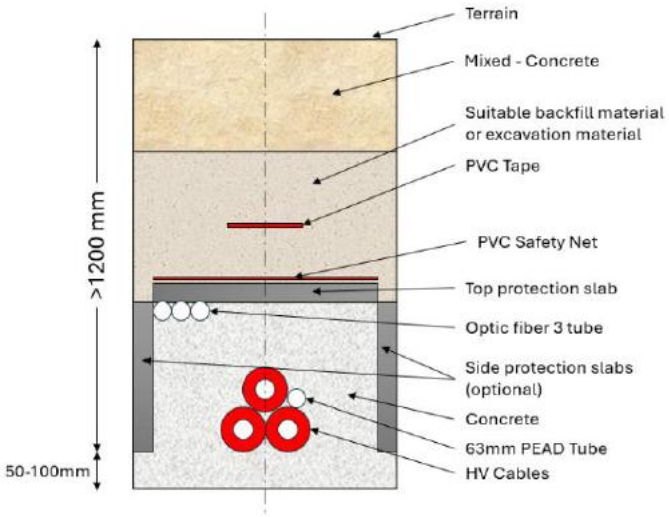


Figura 20 - Concreto Misto

7.8.6 Tubos revestidos em banco de dutos de concreto

Os tubos revestidos em banco de dutos de concreto devem ser utilizados em caso de assentamento em vias pavimentadas. Para este tipo de trecho, a laje superior, presente na instalação do banco de dutos de concreto, é substituída por tela eletrossoldada, não havendo necessidade de lajes de proteção lateral. O assentamento dos tubos é realizado com a instalação de tubos lisos de polietileno PEAD com parâmetros conforme a norma EN 61386-24.

Normalmente, os tubos que contêm cabos não são preenchidos. No entanto, se necessário, para aumentar a capacidade de corrente da linha, os tubos podem ser preenchidos com bentonita ou mistura de polímeros, o que permite um ambiente de resistividade térmica controlada e, portanto, melhor aproveitamento do trecho de cabos. A mistura de bentonita deve ser preparada de acordo com as instruções do Fornecedor e levando em consideração as normas de gestão ambiental.

A forma de sinalização dos cabos permanece inalterada e será feita com rede de segurança de PVC e fita de PVC.

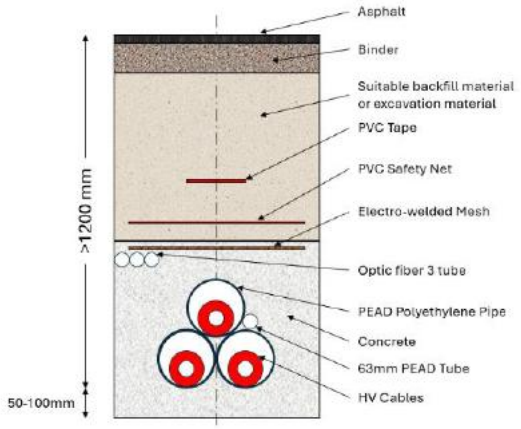


Figura 21 - Método Triangular revestido com tubo

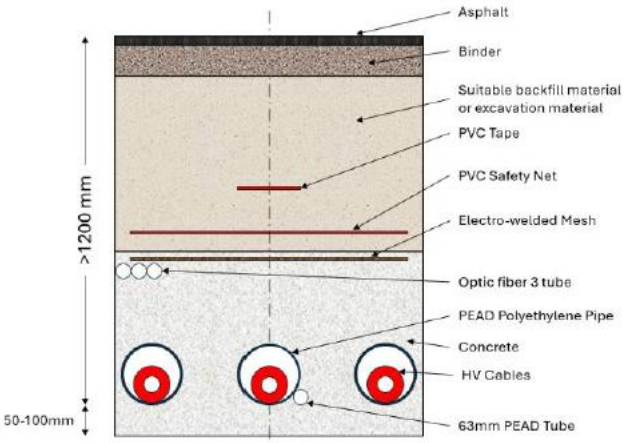


Figura 22 - Método Plano revestido com tubo

Com este assentamento, é possível alterar a seção do condutor instalado em uma linha subterrânea em um duto, o que permitiria atender ao aumento da demanda sem a necessidade de realizar novamente as obras civis correspondentes. Isso se aplicaria tanto ao aumento de capacidade devido à alteração da seção dos cabos instalados, quanto à alteração dos cabos devido ao aumento da tensão.

7.8.7 Instalação diretamente enterrada

A instalação enterrada diretamente pode ser utilizada em solos agrícolas, em vez do banco de dutos revestido de concreto. A instalação é realizada com uma vala com profundidade mínima de 1,2 m; neste caso, recomenda-se uma proteção mecânica na parte superior dos cabos.

O aterro da vala é feito com areia aglutinada com cimento (CBS), para proteger os cabos subterrâneos e dissipar o calor. A CBS é utilizada ao redor dos cabos até a proteção mecânica. A vala será coberta com material da própria escavação ou com material de aterro adequado. A fita de PVC deve ser colocada pelo

menos 20 cm acima da laje superior como elemento de sinalização. Para áreas alagáveis, é necessário considerar um sistema de drenagem ou material impermeabilizante.

A laje superior, que serve como proteção mecânica adicional, deve ser projetada para suportar, em relação à profundidade de colocação, as tensões previsíveis causadas por cargas estáticas, tráfego de veículos ou ferramentas manuais de escavação.

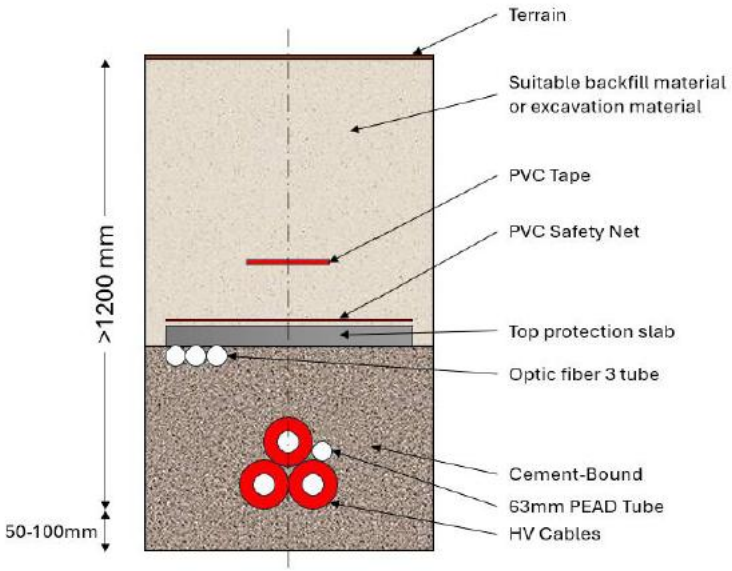


Figura 23 - Método Diretamente enterrado

7.8.8 Travessias HDD e MND

As travessias executadas por perfuração direcional horizontal ou método não destrutivo deverão possuir estudo geológico-geotécnico, projeto executivo, perfil longitudinal, avaliação de riscos e plano de contingência.

7.8.9 Perfuração Direcional Horizontal (HDD)

Um tipo de seção utilizada para cruzamento por HDD é descrito abaixo. Na seção, todos os tubos são dispostos em feixe.

Normalmente, os tubos contendo cabos não são preenchidos. No entanto, se necessário aumentar a ampacidade da linha, os tubos podem ser preenchidos com bentonita ou mistura de polímeros, o que permite um ambiente de resistividade térmica controlada e, portanto, melhor utilização da seção do cabo. A mistura de bentonita deve ser preparada de acordo com as instruções do Fornecedor e levando em consideração quaisquer normas de gestão ambiental.

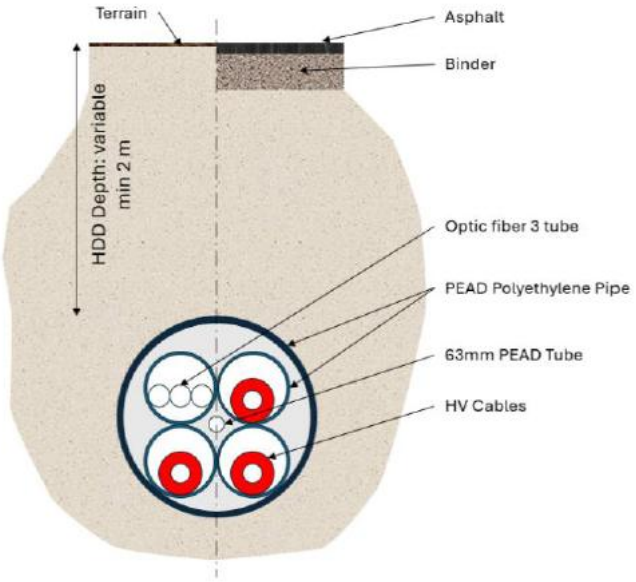


Figura 24 - Método Perfuração Direcional Horizontal

7.8.10 Jack and Bore

"Jack and Bore" é o método de perfuração horizontal para construção de redes de esgoto. As equipes de construção perfuram um furo subterrâneo horizontalmente entre dois pontos, sem perturbar a superfície entre as fossas de envio e recebimento.

A aplicação desta técnica depende de:

a) Distância entre os pontos;

b) Tipo de solo subterrâneo;

c) Disponibilidade de máquinas;

d) Impacto ambiental;

e) Autorização.

Estas técnicas podem ser utilizadas se a localização das instalações subterrâneas existentes for conhecida e houver espaço suficiente para a localização dos furos finais, se necessário, bem como das máquinas e meios ou dispositivos auxiliares precisos.

Seu benefício mais importante é que não altera o ambiente físico, evitando a necessidade de rompimento de pavimentos, terraplenagem, construção da própria escavação, etc., de modo que os inconvenientes são mínimos.

Essas técnicas são particularmente adequadas para travessias de vias públicas, estradas, ferrovias, etc., onde não é possível abrir valas, bem como em locais especialmente protegidos. Também podem ser necessárias para a travessia de algumas vias bastante movimentadas, para as quais a permissão para travessia foi concedida apenas com esses sistemas. Esses trabalhos serão realizados com o auxílio de um sistema controlado remotamente ou com uma máquina de puxar tubos.

Será instalado um tubo metálico ou um tubo de polietileno de alta densidade. Os tubos de polietileno por onde os cabos serão introduzidos serão colocados dentro desse tubo. Após a instalação dos tubos, o acesso será concretado para evitar a entrada de umidade.

Se necessário aumentar a capacidade de corrente da linha, os tubos podem ser preenchidos com mistura de bentonita, o que permite um ambiente de resistividade térmica controlada e, portanto, melhor aproveitamento da seção do cabo. Cada furo deverá corresponder a apenas um circuito. No caso de uma linha de energia com dois circuitos, serão feitos dois furos subterrâneos, um circuito para cada furo. Isso será feito para facilitar a instalação dos tubos de polietileno no interior e porque os cabos de ambos os circuitos podem ser separados, dispensando a perfuração subterrânea de um ponto quente para a linha de energia.

A figura a seguir mostra o caso de perfuração subterrânea.

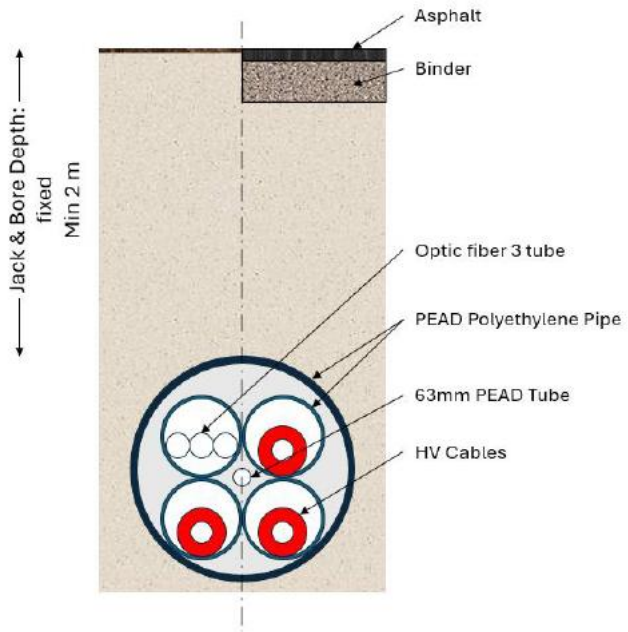


Figura 25 - Método Jack and Bore

A distância mínima entre o nível superior da instalação subterrânea e a superfície deve ser definida em cada caso, considerando no mínimo 1 metro.

7.8.11 Dutos reserva

Os dutos de reserva deverão ser identificados no projeto por quantidade, disposição e finalidade. Aqueles destinados a novos circuitos ou expansão futura exigirão justificativa técnica específica.Os dutos reserva deverão permanecer tamponados, identificados, mandrilados e providos de elemento guia para futuro lançamento.

7.8.12 Recomendações Adicionais

Nas seções anteriores, foi recomendada a profundidade mínima de 1,2 m para a instalação. Quando esse nível mínimo não puder ser atingido, medidas de proteção adicionais deverão ser avaliadas para proteger o cabo, independentemente da configuração de instalação.

A largura da vala será definida na fase de projeto executivo com base em parâmetros geotécnicos, projeto elétrico (seção do cabo, circuito simples ou duplo, etc.) e de acordo com o layout dos cabos (plano ou triangular).

A substituição do pavimento é realizada de acordo com as disposições da prefeitura local e dos demais órgãos afetados.

As características construtivas devem ser indicadas nas instruções operacionais locais, tais como: a disposição do material extraído das escavações e o manejo dos taludes para garantir a segurança das obras.

Além disso, a adoção de medidas de proteção mecânica adicionais deverá ser considerada nos casos de:

a) Passagens subterrâneas de trilhos ferroviários e estradas de importância significativa ou quando solicitadas pelo próprio operador da estrada;

b) Passagens subterrâneas de coletores de esgoto;

c) Tubulações de gás e serviços de telecomunicações;

d) Em todos os casos em que se preveja que obras futuras interfiram com o cabo.

Os elementos de proteção mecânica adicionais devem ser projetados para:

e) resistência estrutural às tensões previsíveis causadas por cargas estáticas, tráfego de veículos ou ferramentas manuais para escavação;

f) compatibilidade térmica para garantir a dissipação adequada de energia;

g) proteção contra corrosão;

h) blindagens de materiais de alta permeabilidade magnética para mitigação do campo magnético.

Os serviços subterrâneos devem ser passagens subterrâneas; para ferrovias ou canais de água relevantes, a passagem subterrânea pode ser realizada com sistema de perfuração direcional horizontal, microtúneis, moldagem por impacto, tubo piloto, compactação de tubos, compactação assistida, perfuração helicoidal, perfuração linear de túneis, aração a cabo, tubulação elétrica, tubulação direta ou perfuração por macaco hidráulico.

A seleção da tecnologia adequada depende de:

i) Tipo de cruzamento,

j) Tipo de solo,

k) Diâmetros dos dutos ou cabos.

Em geral, as atividades de escavação devem ser realizadas a uma distância tal que não interfiram na área de relevância das plantas próximas à área de intervenção, de acordo com os órgãos competentes e as regulamentações locais.

A instalação de condutores em galerias não é a solução de referência e a sua utilização só será permitida se houver necessidade de cabos de Alta Tensão em coexistência com cabos de outro nível de tensão, cabos de telecomunicações ou com instalações de gás ou líquidos inflamáveis. Em qualquer caso, a concepção, execução e operação de uma galeria para cabos de alta tensão será realizada sob rigorosas condições de segurança e fiabilidade, aliadas à importância estratégica destas instalações.

Embora a instalação de cabos diretamente enterrados possa ser utilizada quando a distância for muito curta, o cabo deve ter alguma proteção mecânica e deve ser devidamente justificada.

Cabos em tubulações (dutos) são considerados preferíveis devido a:

a) Corrente Admissível

- A capacidade do cabo canalizado diminui aproximadamente 15% em comparação com o cabo diretamente enterrado. Isto ocorre apenas no caso de blindagens conectadas rigidamente ao potencial de terra. Porém, ao realizar ligações especiais (ponto único e/ou cross-bonding) esta diminuição de capacidade no cabo canalizado não ocorre, podendo em alguns casos até melhorar ligeiramente. Com este tipo de conexão, as perdas térmicas na blindagem são significativamente reduzidas, pois a corrente na blindagem é compensada.

b) Fatores Térmicos

- A capacidade do cabo subterrâneo depende da capacidade de dissipação de calor no ambiente, que depende de muitos fatores, incluindo o grau de umidade ambiental.
- Enquanto a resistência térmica do concreto é sempre constante, com valor aceito de 0,8 [K•m/W], o valor da areia pode atingir o valor de 2,5 [K•m /W] em situações secas, reduzindo a resistência do cabo. capacidade. Este fato pode trazer riscos à instalação. O aumento da resistividade do solo em cada área causará superaquecimento caso a corrente a ser transportada não seja reduzida, atingindo valores acima dos permitidos pelos materiais do cabo e diminuindo sua vida útil.
- Além disso, no caso de circuito duplo, ter um ambiente como concreto entre os circuitos, permite uma redução da distância de separação de cada um, em comparação com a mesma instalação diretamente enterrada, permitindo uma trincheira menor.

c) Implicações na execução do trabalho

Dispor de instalações com diferentes tipologias tem também implicações na sua execução, onde podemos destacar:

- Possibilidade de realizar investimentos em diferentes períodos

  A construção de um gasoduto subterrâneo permite que os investimentos sejam feitos de forma escalonada ao longo do tempo, adequando-os às reais necessidades da nova instalação, uma vez

que as obras civis para a construção do gasoduto podem ser executadas sem necessariamente ter que fazer o investimento para a aquisição e instalação do cabo subterrâneo ao mesmo tempo.

- Custo de oportunidade

  É possível aproveitar a construção de obras públicas para construir parte da canalização, quando o planeamento permite prever a necessidade de uma nova linha cujo traçado coincide com as obras de outros organismos. A implantação de canalização integrada a uma obra maior reduz consideravelmente o custo de execução sem a obrigação de realizar o investimento total.

- Impacto da Via Pública

  O maior número de falhas em cabos subterrâneos ocorre nas emendas e terminações, por isso é benéfico reduzir ao mínimo o número de emendas instaladas em uma linha subterrânea, o que também produz uma redução de custos. Atualmente, os troços subterrâneos que podem ser instalados sem necessidade de ligações intermédias rondam os 1100 metros em linhas até 72,5 kV e 700 metros em linhas com tensão superior a 72,5 kV.

  A implementação de uma linha de dutos permite a abertura e o fechamento de trechos curtos, minimizando os efeitos negativos sobre os usuários das vias públicas afetadas.

d) Segurança na instalação

O concreto atua como uma ótima proteção contra agentes externos que atuam próximos às nossas instalações, pois, além de indicar a existência de uma instalação, oferece a elas uma resistência mecânica maior do que o solo existente.

e) Implicações futuras do alargamento dos circuitos

As seguintes implicações devem ser destacadas:

- Ampliação do número de circuitos na instalação

  É possível construir desde o início uma tubulação/duto para dois circuitos, embora inicialmente seja utilizado apenas um, com baixo diferencial de custo. As tubulações de backup permitirão a instalação de um segundo circuito sem a necessidade de fazer uma nova vala ou ter que retirar o serviço do primeiro circuito durante a execução da obra

- Mudança de seção do condutor e/ou mudança de tensão de linha

  Permite também alterar a secção do condutor instalado numa linha subterrânea com tubagem sob tubagem, o que permitiria responder aos aumentos de procura sem ter que realizar novamente as obras civis correspondentes. Isto se aplicaria tanto ao aumento da capacidade devido à mudança de seção dos cabos instalados, quanto à mudança dos cabos devido ao aumento da tensão.

Quanto aos requisitos para colocação e tração de cabos, estes devem minimizar os esforços mecânicos sobre o cabo, devendo ser considerado o seguinte:

f) A colocação do cabo na tubulação deve ser precedida de inspeção e limpeza do duto;

g) A entrada do cabo na tubulação deve ser equipada com uma guia adequada para evitar danos ao revestimento do cabo;

h) Para limitar as tensões mecânicas, lubrificação da bainha externa do cabo com material não reativo é necessário;

i) A entrada/saída dos dutos deve impedir a penetração de água, corpos estranhos e roedores;

j) O cabo deve ser puxado gradual e continuamente;

k) A cabeça do cabo deve ser preparada com dispositivos de acoplamento adequados e dotados de junta anti-torção.

7.9 Inspeção, ensaios e comissionamento

Todos os materiais deverão ser recebidos mediante verificação de certificados, rastreabilidade, conformidade dimensional, integridade física e documentação técnica. Materiais não conformes deverão ser segregados.

Concluída a obra, a LTS deverá ser submetida à inspeção destinada a verificar sua conformidade com o projeto aprovado, especificações técnicas, requisitos de construção e critérios de segurança aplicáveis.

As não conformidades identificadas deverão ser formalmente registradas, corrigidas e verificadas antes da liberação. Caso a configuração executada apresente divergências em relação ao projeto aprovado, estas deverão ser submetidas à análise técnica e incorporadas à documentação final.

7.9.1 Armazenamento

Bobinas de cabos deverão permanecer em superfície nivelada, protegidas contra impactos e identificadas. Acessórios deverão ser armazenados em ambiente protegido contra umidade, radiação solar e contaminação.

7.9.2 Plano Formal de Ensaios e Comissionamento

Antes da energização deverá ser elaborado e executado Plano de Ensaios e Comissionamento da LTS, abrangendo cabos, acessórios, sistemas de aterramento, proteção, telecomunicações, monitoramento e demais sistemas associados.

O plano deverá identificar ensaios e verificações aplicáveis, critérios de aceitação, normas e especificações de referência, instrumentos utilizados, responsáveis e registros requeridos.

Deverão ser contemplados, conforme aplicável: inspeções visuais e dimensionais; identificação e faseamento; ensaios elétricos dos cabos e acessórios; integridade das bainhas externas; aterramento das blindagens; link boxes e SVL; sistemas de proteção; canais de telecomunicação; fibra óptica e monitoramento; verificações funcionais e de intertravamento; e confirmação dos ajustes de proteção aprovados.

Os resultados deverão ser registrados em relatórios de comissionamento e integrados ao dossiê técnico final. A energização somente deverá ocorrer após a conclusão satisfatória dos ensaios e a liberação pelas áreas responsáveis.

7.9.3 Ensaio de tensão aplicada

O ensaio de tensão aplicada deverá ser feito em tensão aplicada AC, com fonte ressonante móvel ou montada conforme disponibilidade do local e conforme IEC 60840/ IEC 60141.

- Tensão alternada ressonante (AC Resonant Test);

- Fonte série ressonante;
- VLF (para determinadas aplicações específicas);
- Ensaio com medição simultânea de descargas parciais.

Não será permitida a energização das linhas através do sistema elétrico da Enel Grids sem a previa autorização. A realização do ensaio de tensão deverá ocorrer através de fonte externa.

Após a realização do teste de tensão aplicada, deverá ser apresentado relatório à Enel Grids contendo todas as informações sobre a metodologia adotada, equipamentos utilizados e respectivos laudos de calibragem e aferição, resultados obtidos e ART específica do ensaio emitida pelo responsável técnico.

7.10 Cadastro, identificação e documentação final

A documentação As Built deverá representar fielmente a instalação executada e conter, no mínimo: traçado definitivo; coordenadas georreferenciadas do caminhamento; localização e identificação das câmaras e emendas; zonas de transição; bancos de dutos e suas ocupações; dutos reserva; link boxes e SVL; sistemas de aterramento; cabos de telecomunicação e fibra óptica; principais interferências encontradas; e modificações realizadas durante a execução.

Os documentos finais deverão ser incorporados aos sistemas corporativos de cadastro e gestão de ativos aplicáveis.

O As Built deverá identificar a configuração efetivamente executada, inclusive interfaces aéreo-subterrâneas, equipamentos da ETR e ocupação dos dutos, para cadastro e gestão do ativo.

7.10.1 Identificação e sinalização

Deverão ser instalados marcos de rota, placas de advertência, fitas de sinalização e identificação georreferenciada do circuito ao longo do traçado.

7.10.2 Identificação Permanente de Cabos e Circuitos

Todos os cabos de potência, aterramento, telecomunicações e sistemas auxiliares deverão possuir identificação permanente, resistente às condições ambientais e compatível com a vida útil prevista da instalação.

Para os cabos de potência, a identificação deverá permitir reconhecer, no mínimo, circuito, fase, origem e destino. A identificação deverá ser instalada nas terminações, câmaras de emenda, câmaras de passagem acessíveis, link boxes, zonas de transição e demais pontos necessários à identificação inequívoca do circuito.

Cabos pertencentes a circuitos distintos instalados em uma mesma estrutura deverão possuir identificação que elimine risco de interpretação incorreta durante atividades de operação ou manutenção.

7.11 Gestão ambiental

A contratada deverá implementar plano de gerenciamento de resíduos, controle de poeira, ruído, destinação ambientalmente adequada de materiais e recuperação das áreas impactadas.

8. ANEXOS

Este documento não possui anexos.

9. VISTOS

☐ **Quality Brazil**	☐ **Engineering Sup & Global St. Adoption Brazil**
Flavia da Silva Barauna Flavia Da Silva Barauna Signed by Flavia Da Silva Barauna Data: 13/11/2026 20:33:04 CET	Jonas Henrique Do Carmo Jonas Henrique Do Carmo Signed by Jonas Henrique Do Carmo Data: 13/11/2026 22:46:37 CET

CHARLES DE CAPDEVILLE
Signed by CHARLES DE CAPDEVILLE
Data: 16/11/2026 13:12:33 CET