



State Grid Corporation of China

Projeto Típico Padronizado de Engenharia de Transmissão e Subestação

Subvolume de Soluções Típicas de Monitoramento Online de Linhas de Transmissão

(Edição 2024)

Emitido pela: State Grid Corporation of China

Projeto do texto: **Zhang Junxia**

Número do projeto: **XM102915**

Editor Responsável: **Luo Yan**

Texpi Equipamentos
Campo Largo, Paraná.

Matriz
Rod. Raul de Azevedo Macedo,
10.002; Estrada de Bateias

09.635.060/0001-55
www.texpi.com.br
+55 41 3393-2122



Nota Editorial e Publicação

O Projeto Típico Padronizado de Engenharia de Transmissão e Subestações é um componente fundamental dos resultados de padronização da construção de redes da State Grid Corporation of China

Com o objetivo de aprofundar a implementação dos requisitos do **novo sistema elétrico**, melhorar ainda mais a **qualidade, eficiência e benefícios globais** da construção da rede elétrica, a empresa realiza atualizações contínuas e iterativas de seus projetos e equipamentos padronizados.

Nesta revisão, foi elaborado o **Subvolume de Soluções Típicas de Monitoramento Online de Linhas de Transmissão (Edição 2024)**.

Este documento é parte integrante da série:

Projeto Típico Padronizado de Engenharia de Transmissão e Subestação da State Grid Corporation of China – Subvolume de Monitoramento Online de Linhas de Transmissão (Edição 2024)

O material destina-se a:

- Institutos de projeto do setor elétrico.
- Profissionais de planejamento, gestão, construção, instalação, operação e manutenção.
- Fabricantes de equipamentos para sistemas elétricos

Dados Catalográficos (CIP)

Editoria: China Electric Power Press

ISBN: 978-7-5198-8820-6

Ano de publicação: 2024

Direitos autorais exclusivos. Reprodução não autorizada é proibida.



Comissão Editorial

Comissão Editorial

- Diretor: Pan Jingdong
- Vice-diretor: Zhang Ning

Grupo de Trabalho

- Unidade líder: Departamento de Infraestrutura da State Grid Corporation of China
- Unidades participantes:
 - China Electric Power Research Institute Co., Ltd.
 - State Grid Economic and Technical Research Institute Co., Ltd.



Comissão de Especialistas

Grupo de Especialistas

- Li Yongshuang
- Song Lijun
- Wang Jingchao
- Xu Liang
- Wang Wei
- Zhang Tong
- Wen Zuoming

Equipe de Redação

- Li Minghua
- Nie Qiong
- Su Zhaohui
- Guo Yanxia
- Xu Jin
- Zhu Kuanjun
- Han Junke
- Fang Zhenggang
- Si Jiajun
- Fan Baozhen
- Liu Rui
- Liu Peng
- Gao Jie



Prefácio

O **Projeto Típico Padronizado de Engenharia de Transmissão e Subestações** constitui um dos principais resultados do processo de padronização da construção da rede elétrica da State Grid Corporation of China.

Com o objetivo de aprofundar continuamente a padronização e elevar a **qualidade, eficiência e eficácia** dos empreendimentos de transmissão, no período de **2022 a 2024**, o Departamento de Infraestrutura da State Grid organizou o **China Electric Power Research Institute**, empresas provinciais e diversas unidades de projeto para:

- Sistematizar e consolidar os resultados existentes de projetos padronizados
- Realizar pesquisas amplas e estudos temáticos
- Desenvolver projetos detalhados
- Submeter os conteúdos a avaliações técnicas especializadas
- Aperfeiçoar e otimizar as soluções

Como resultado, foi concluída a **revisão e otimização abrangente das soluções típicas de linhas de transmissão**, promovendo uma **evolução iterativa** dos resultados de padronização da empresa.

Os Editores

Outubro de 2024



Sumário

Nota Editorial e Publicação	2
Comissão Editorial.....	3
Comissão Editorial	3
Grupo de Trabalho	3
Comissão de Especialistas	4
Grupo de Especialistas	4
Equipe de Redação.....	4
Prefácio.....	5
Capítulo 1 – Visão Geral.....	9
1.1 Objetivo da elaboração.....	9
1.2 Princípios de elaboração	10
1.3 Arquitetura do projeto padronizado integrado de linhas de transmissão	12
1.4 Resultados do trabalho	12
Capítulo 2 – Bases de Elaboração	13
2.1 Principais normas e padrões de projeto	13
2.2 Documentos e regulamentos corporativos aplicáveis	14
Capítulo 3 – Instruções de uso.....	14
3.1 Escopo de aplicação.....	14
3.2 Numeração das soluções típicas.....	15
3.2.1 Regra de numeração.....	15
3.2.2 Exemplo de numeração.....	16
3.3 Planejamento das soluções típicas	16
3.4 Aplicação em projetos.....	17
Capítulo 4 – Princípios de projeto (Início)	17
4.1 Arquitetura do sistema	17
4.1.1 Percepção em campo.....	18



4.1.2 Transmissão em rede	18
4.1.3 Aplicações inteligentes.....	19
4.1.4 Formas físicas dos dispositivos e requisitos gerais.....	20
4.2 Princípios de configuração.....	21
4.2.1 Trechos importantes de linhas de transmissão.....	21
4.2.2 Trechos especiais	22
4.2.3 Trechos influenciados por condições meteorológicas	22
4.3 Soluções típicas.....	23
4.3.1 Requisitos gerais	23
4.4 Funções e requisitos técnicos dos dispositivos de monitoramento online (Início).....	24
4.4.1 Dispositivos de monitoramento por imagem.....	24
4.4.2 Dispositivos de monitoramento por vídeo	26
4.4.3 Dispositivos de monitoramento meteorológico.....	27
4.4.4 Dispositivos de monitoramento de desastres geológicos.....	28
4.4.5 Dispositivos de monitoramento de inclinação de torres	29
4.5 Funções e requisitos técnicos dos dispositivos de monitoramento online (Continuação).....	29
4.5.1 Dispositivos de monitoramento de gelo.....	29
4.5.2 Dispositivos de monitoramento de vibração eólica	31
4.5.3 Dispositivos de monitoramento de dança de condutores.....	32
4.5.4 Dispositivos de monitoramento de flecha (sag)	33
4.5.5 Dispositivos de monitoramento de desvio por vento.....	34
4.5.6 Dispositivos de monitoramento de poluição	35
4.5.7 Dispositivos de monitoramento de incêndios florestais por infravermelho.....	36
4.5.8 Dispositivos de monitoramento visual contra interferências externas.....	37
4.5.9 Dispositivos de monitoramento distribuído de falhas	38
4.5.10 Requisitos técnicos de alimentação elétrica (Início).....	39
4.5.11 Requisitos técnicos de comunicação (Início).....	43
Capítulo 5 – Soluções típicas por cenário (Início)	47
5.1 Trechos de três travessias	47
5.1.1 Travessia de ferrovia em alta velocidade	47



5.1.2 Travessia de rodovias de alta capacidade e corredores importantes de transmissão.....	48
5.2 Grandes travessias.....	48
5.3 Regiões de poluição severa.....	50
5.4 Regiões geologicamente desfavoráveis.....	51
5.4.1 Áreas afetadas por mineração ativa ou antiga.....	51
5.4.2 Pontos de risco geológico elevado	52
5.5 Regiões suscetíveis a incêndios florestais.....	53
5.6 Regiões de gelo pesado	54
5.7 Regiões de microtopografia e microclima	55
5.8 Regiões de dança dos condutores (Galloping).....	56
5.9 Regiões de alta incidência de raios	57
5.10 Regiões de ventos especiais.....	58
5.10.1 Regiões costeiras com tufões e áreas de ventos fortes.....	59
5.10.2 Regiões sem dados confiáveis de vento.....	60
5.11 Regiões suscetíveis a interferências externas	60
Encerramento do documento	61



Capítulo 1 – Visão Geral

1.1 Objetivo da elaboração

Desde 2005, a **State Grid Corporation of China** vem implementando de forma contínua o conceito de **padronização da construção de redes elétricas**, estabelecendo um sistema estruturado de resultados padronizados para projetos de **engenharia de transmissão e subestações**.

Ao longo de mais de uma década, esse sistema foi continuamente aprofundado e atualizado, passando a cobrir:

- diversos **níveis de tensão**,
- diferentes **tipos de empreendimentos**,
- múltiplos **cenários ambientais e operacionais**.

Os resultados atuais de projeto padronizado para linhas de transmissão de **35 kV a 750 kV** concentram-se principalmente em três grandes blocos:

- projetos padronizados de **estruturas (torres e postes)** – edição 2022;
- projetos padronizados de **ferragens e acessórios** – edições 2010 e 2011;
- projetos padronizados de **fundações** (incluindo fundações escavadas, estacas escavadas e fundações com tirantes em rocha) – edição 2017.

Com a aceleração da construção do **novo sistema elétrico**, o setor passou a enfrentar mudanças profundas em:

- estrutura das fontes de geração,
- forma da rede elétrica,
- características das cargas,
- base tecnológica,
- modelos de negócio.



Além disso, surgem novos requisitos associados a:

- integração em larga escala de fontes renováveis,
- transmissão de energia limpa a longas distâncias,
- redução adicional das emissões de carbono.

Como os projetos padronizados existentes **não foram atualizados de forma sincronizada**, passaram a apresentar:

- lacunas na cobertura de todas as partes do empreendimento,
- baixa compatibilidade entre os diferentes resultados padronizados.

Diante disso, tornou-se necessário, com base nos resultados já existentes, **tomar o projeto padronizado de estruturas como ponto de partida** e desenvolver um **projeto padronizado integrado de linhas de transmissão de 35 a 750 kV**, elevando o desempenho global das linhas e fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento de alta qualidade da rede elétrica.

Os objetivos centrais dessa iniciativa são:

1. **Garantir a segurança e confiabilidade da rede**, aumentando adequadamente a durabilidade dos componentes críticos e a capacidade de resistir a desastres naturais.
2. **Promover a transição para uma rede elétrica verde e de baixo carbono**, adotando projetos ambientalmente responsáveis e materiais eficientes.
3. **Atender às necessidades do novo sistema elétrico**, especialmente em regiões desérticas, de Gobi e áreas remotas, otimizando o escoamento de energia renovável.
4. **Transformar o modelo de construção**, incentivando a mecanização e reduzindo riscos de segurança no canteiro de obras.
5. **Apoiar a modernização da operação e manutenção**, elevando o nível de percepção inteligente da rede e reduzindo a carga de trabalho em campo.

1.2 Princípios de elaboração

A elaboração do projeto padronizado integrado segue os seguintes princípios:

1. **Atender à maioria das aplicações práticas**



Com base no planejamento da rede elétrica até 2030, são definidos módulos e soluções capazes de atender a **mais de 80%** dos novos empreendimentos.

2. Cobrir os elementos centrais da engenharia de linhas de transmissão

Inclui os principais fatores que impactam o desempenho do empreendimento, tais como:

- condutores e cabos para-raios,
- isoladores e ferragens,
- estruturas,
- fundações,
- sistemas de aterramento,
- monitoramento online,
- medidas de conservação ambiental e controle de erosão.

3. Aderir às normas técnicas mais recentes

O projeto observa integralmente:

- normas nacionais,
- normas setoriais,
- normas corporativas da State Grid,

garantindo conformidade com os requisitos técnicos vigentes.

4. Integrar tecnologias avançadas e comprovadas

São incorporados resultados recentes de pesquisa científica e experiências práticas consolidadas, promovendo a aplicação segura de tecnologias maduras.

5. Considerar plenamente as necessidades de operação e manutenção

As soluções são otimizadas para facilitar atividades futuras de inspeção, manutenção e operação.

6. Buscar o menor custo ao longo do ciclo de vida

O projeto equilibra custos de construção, operação e manutenção, buscando uma solução globalmente ótima.

7. Combinar padronização com diferenciação

Para linhas e trechos importantes ou especiais, são estabelecidos princípios e medidas diferenciadas conforme as características ambientais específicas.



1.3 Arquitetura do projeto padronizado integrado de linhas de transmissão

O projeto padronizado integrado de linhas de transmissão é estruturado a partir dos conteúdos centrais da engenharia de linhas, dividindo-se em:

- **Elementos básicos**
 - condutores,
 - isoladores e ferragens,
 - estruturas,
 - fundações.
- **Elementos complementares**
 - sistemas de aterramento,
 - sistemas de monitoramento online,
 - medidas de proteção ambiental e controle de erosão.

Os elementos básicos são consolidados em projetos padronizados, enquanto os elementos complementares são organizados sob a forma de **soluções típicas**, garantindo compatibilidade e integração entre todas as partes do empreendimento.

1.4 Resultados do trabalho

Os principais resultados desta elaboração incluem:

1. **Diretrizes técnicas para soluções típicas de monitoramento online de linhas de transmissão**

Com base nas normas mais recentes e nos documentos técnicos corporativos, foram otimizadas as soluções de monitoramento para **11 tipos de cenários típicos**, definindo:

- princípios de projeto unificados,
- padrões técnicos unificados,
- arquitetura de dados e comunicação padronizada,
- parâmetros técnicos, critérios de seleção e diretrizes de posicionamento dos dispositivos.

2. **Conjunto de desenhos típicos das soluções de monitoramento online**



Para diferentes cenários de linha, foram desenvolvidos projetos típicos de seleção de equipamentos e posicionamento, formando um conjunto completo de soluções gráficas padronizadas.

Capítulo 2 – Bases de Elaboração

2.1 Principais normas e padrões de projeto

Este documento foi elaborado com base, entre outras, nas seguintes normas técnicas:

- **GB/T 35697** – Requisitos técnicos gerais para dispositivos de monitoramento online de linhas aéreas de transmissão
- **GB/T 35721** – Sistema distribuído de diagnóstico de falhas em linhas de transmissão
- **LY/T 2581** – Especificação técnica para sistemas de monitoramento por vídeo de incêndios florestais
- **Q/GDW 11526** – Diretrizes técnicas de projeto para monitoramento online de linhas aéreas de transmissão
- **Q/GDW 1242** – Requisitos técnicos gerais para dispositivos de monitoramento de estado de linhas de transmissão
- **Q/GDW 1243** – Especificação técnica para dispositivos de monitoramento meteorológico de linhas de transmissão
- **Q/GDW 1244** – Especificação técnica para dispositivos de monitoramento de temperatura de condutores
- **Q/GDW 1554** – Especificação técnica para dispositivos de monitoramento de gelo em linhas de transmissão
- **Q/GDW 1560 (Partes 1 e 2)** – Especificações técnicas para dispositivos de monitoramento por imagem e vídeo
- **Q/GDW 10245** – Especificação técnica para dispositivos de monitoramento de vibração eólica
- **Q/GDW 10555** – Especificação técnica para dispositivos de monitoramento de dança de condutores
- **Q/GDW 10556** – Especificação técnica para dispositivos de monitoramento de flecha (sag)
- **Q/GDW 10557** – Especificação técnica para dispositivos de monitoramento de desvio por vento



- Q/GDW 10558 – Especificação técnica para dispositivos de monitoramento de poluição
 - Q/GDW 10559 – Especificação técnica para dispositivos de monitoramento de inclinação de torres
 - Q/GDW 11660 – Especificação técnica para dispositivos de monitoramento distribuído de falhas
 - T/CSEE 0125.1 – Especificação de monitoramento baseada no sistema de navegação Beidou – Parte 1
-

2.2 Documentos e regulamentos corporativos aplicáveis

Além das normas técnicas nacionais e setoriais, este documento foi elaborado em conformidade com os seguintes documentos e regulamentos corporativos da **State Grid Corporation of China**:

- “Aviso da State Grid Corporation of China sobre a emissão das Dezoito Medidas Principais de Prevenção de Acidentes Graves na Rede Elétrica (versão revisada)”

(Documento nº 979 – State Grid Equipment, 2018)

Esses documentos estabelecem requisitos obrigatórios relacionados à **segurança operacional, prevenção de falhas, gestão de riscos e controle de acidentes graves**, devendo ser observados de forma integrada no projeto e aplicação dos sistemas de monitoramento online.

Capítulo 3 – Instruções de uso

3.1 Escopo de aplicação

Este subvolume aplica-se ao **projeto de sistemas de monitoramento online para linhas aéreas de transmissão em corrente alternada**, com níveis de tensão de:

- 110 kV (66 kV) a 750 kV

Abrange tanto linhas novas quanto adequações ou ampliações em linhas existentes, desde que atendidas as condições técnicas e operacionais estabelecidas neste documento.

3.2 Numeração das soluções típicas

3.2.1 Regra de numeração

A numeração das soluções típicas de monitoramento online é composta por dois campos:

- Primeiro campo – Setor de primeiro nível
- Segundo campo – Setor de segundo nível

A regra de numeração das soluções típicas é ilustrada na Figura correspondente do documento original.

Setor de primeiro nível

Representado por duas letras, correspondendo ao tipo principal de cenário da linha. Os códigos são os seguintes:

Descrição	Código
Trechos de três travessias	SK
Grandes travessias	DK
Região de poluição severa	ZW
Região geologicamente desfavorável	BD
Região suscetível a incêndios florestais	HS
Região com risco elevado de interferência externa	PW
Microtopografia / microclima	WQ
Região de gelo pesado	FZ
Região de dança de condutores	GD
Região de alta incidência de raios	LQ
Região de ventos especiais	TF



Setor de segundo nível

Representado por uma letra seguida de um número, identificando subcenários específicos, conforme a tabela do documento original, tais como:

- travessias de ferrovias de alta velocidade,
- travessias de rodovias ou corredores elétricos importantes,
- áreas de mineração ativa ou antiga,
- zonas costeiras sujeitas a tufões,
- regiões sem dados confiáveis de vento.

3.2.2 Exemplo de numeração

- **SK-S1:** solução típica de monitoramento online aplicada a **trecho de três travessias**, especificamente **travessia de ferrovia de alta velocidade**.

3.3 Planejamento das soluções típicas

Para linhas de transmissão de **110 kV (66 kV) a 750 kV**, foram planejadas **14 soluções típicas de monitoramento online**, cada uma correspondente a um cenário operacional específico.

Essas soluções cobrem, entre outros, os seguintes contextos:

- travessias críticas,
- grandes vãos,
- regiões de poluição severa,
- áreas geologicamente instáveis,
- regiões sujeitas a incêndios florestais,
- regiões com gelo pesado,
- regiões de microclima,
- regiões com dança de condutores,
- regiões com alta incidência de raios,
- regiões de ventos especiais,
- regiões com risco de interferência externa.



Cada solução típica define:

- tipos de dispositivos de monitoramento,
 - quantidade e pontos de instalação,
 - forma de comunicação,
 - finalidade operacional.
-

3.4 Aplicação em projetos

Durante o desenvolvimento de projetos de engenharia, o projeto de monitoramento online deve:

- Referenciar as **soluções típicas** deste documento;
 - Atender simultaneamente às **condições e requisitos aprovados** no escopo do empreendimento;
 - Ajustar-se às características específicas da linha e do ambiente, quando necessário.
-

Capítulo 4 – Princípios de projeto (Início)

4.1 Arquitetura do sistema

O sistema de monitoramento online de linhas de transmissão adota uma **arquitetura integrada em três camadas**, composta por:

1. Percepção em campo (Field Sensing)
2. Transmissão em rede (Network Transmission)
3. Aplicações inteligentes (Intelligent Applications)

Essa arquitetura segue o conceito de **Internet das Coisas Inteligente** e tem como objetivo apoiar a construção de uma **rede elétrica digitalizada, inteligente e resiliente**, com foco em:

- percepção em tempo real do estado da linha,
- alerta automático de falhas,
- suporte à tomada de decisão em emergências.



4.1.1 Percepção em campo

Os dispositivos de percepção em campo incluem principalmente:

- **Unidades de aquisição de dados**, responsáveis pela coleta de dados estruturados (estado da linha, parâmetros mecânicos e elétricos) e não estruturados (imagens e vídeos do corredor e da linha);
- **Terminais inteligentes de borda**, responsáveis pelo processamento local, comunicação e gestão dos dispositivos;
- **Fontes de alimentação**, responsáveis por suprir energia aos dispositivos de campo.

As unidades de aquisição de dados podem ser classificadas conforme o tipo de informação monitorada:

- monitoramento do estado físico da linha,
- monitoramento do ambiente do corredor de passagem.

Os terminais inteligentes de borda integram funções de:

- comunicação local,
- comunicação remota,
- processamento e armazenamento de dados,
- padronização e modelagem dos dados.

4.1.2 Transmissão em rede

A transmissão em rede do sistema de monitoramento online divide-se em:

- **Rede de comunicação local**, utilizada para a comunicação entre as unidades de aquisição de dados e os terminais inteligentes de borda;
- **Rede de comunicação remota**, utilizada para a comunicação entre os terminais inteligentes de borda e as plataformas corporativas de gestão e monitoramento.

A comunicação local é normalmente realizada por meio de:

- interfaces com fio



- redes sem fio de curto alcance, organizadas em topologia estrela ou em redes auto-organizadas (*mesh*).

Os terminais inteligentes de borda são responsáveis por:

- acessar e gerenciar os dispositivos de aquisição de dados;
- realizar a análise preliminar e o armazenamento local das informações;
- padronizar e modelar os dados conforme os requisitos do sistema corporativo;
- transmitir os dados processados para as plataformas centrais.

A comunicação remota constitui o **elo de dados** entre os dispositivos de campo e as plataformas corporativas, devendo garantir **confiabilidade, segurança e continuidade do serviço**.

4.1.3 Aplicações inteligentes

As aplicações inteligentes compreendem a **camada de plataforma e a camada de aplicação**, sendo responsáveis por:

- acesso seguro aos dados;
- agregação e armazenamento centralizado;
- visualização integrada das informações;
- análise e correlação de dados provenientes de múltiplos tipos de dispositivos.

Por meio da fusão de dados multiorigem, o sistema possibilita:

- avaliação do estado da linha;
- identificação ativa de falhas, defeitos e riscos;
- emissão de alertas e suporte à tomada de decisão operacional.

O sistema de monitoramento online deve apoiar a construção de uma linha de transmissão com as seguintes características:

- **segurança intrínseca,**
- **percepção em tempo real,**



- interconexão total,
- capacidade de alerta autônomo.

4.1.4 Formas físicas dos dispositivos e requisitos gerais

Os dispositivos de monitoramento online são classificados, quanto à sua forma física, em três categorias:

1. Tipo separado

A unidade de aquisição de dados e o terminal inteligente de borda são instalados separadamente

(ex.: monitoramento de vibração eólica, monitoramento de dança de condutores).

2. Tipo integrado

A unidade de aquisição de dados e o terminal inteligente de borda são totalmente integrados em um único dispositivo

(ex.: monitoramento de inclinação de torres, monitoramento meteorológico).

3. Tipo híbrido

Parte das unidades de aquisição é integrada ao terminal inteligente de borda, enquanto outras permanecem separadas

(ex.: sistemas de monitoramento por imagem/vídeo com múltiplos sensores).

Requisitos gerais das unidades de aquisição de dados

- capacidade de aquisição automática e controlada;
- verificação de plausibilidade e pré-processamento dos dados;
- comunicação estável com o terminal inteligente de borda.

Requisitos gerais dos terminais inteligentes de borda

- agregação de dados de múltiplos sensores;
- capacidade de computação de borda (*edge computing*);
- comunicação remota segura;
- gestão da rede local;
- gestão dos dispositivos conectados, com suporte a **plug-and-play**.



4.2 Princípios de configuração

4.2.1 Trechos importantes de linhas de transmissão

4.2.1.1 *Trechos de três travessias*

- **Travessia de ferrovia de alta velocidade**

Deve ser instalado:

- monitoramento por vídeo, e
- sistema de diagnóstico distribuído de falhas.

O sistema de diagnóstico distribuído deve cobrir integralmente o trecho de travessia, permitindo:

- monitoramento em tempo real,
- localização do ponto de falha,
- identificação da causa da falha.

- **Travessia de rodovias e corredores elétricos importantes**

Deve ser instalado monitoramento por imagem;

quando houver requisitos especiais, pode-se adotar monitoramento por vídeo.

4.2.1.2 *Grandes travessias*

Nos grandes vãos, deve-se monitorar:

- o estado do condutor e do cabo para-raios, ou
- riscos no corredor de passagem.

As configurações recomendadas incluem:

- monitoramento por imagem ou vídeo;
- monitoramento de vibração eólica;
- monitoramento meteorológico;
- monitoramento de flecha (quando houver risco de redução de distâncias de segurança).



4.2.2 Trechos especiais

4.2.2.1 Regiões de poluição severa

Em regiões com nível elevado de poluição, especialmente aquelas com histórico de **descargas superficiais (poluição/flashover)**, recomenda-se:

- monitoramento da poluição dos isoladores,
- monitoramento de temperatura e umidade ambiental.

4.2.2.2 Regiões geologicamente desfavoráveis

Em áreas afetadas por:

- mineração ativa,
- antigas áreas mineradas instáveis,
- zonas de alto risco geológico,

devem ser configurados:

- dispositivos de monitoramento de inclinação de torres, e/ou
- dispositivos de monitoramento geotécnico.

4.2.2.3 Regiões suscetíveis a incêndios florestais

Em áreas classificadas com **risco médio ou alto de incêndio florestal**, recomenda-se:

- monitoramento por imagem visível e infravermelha,
- identificação automática de focos de calor e fumaça.

4.2.3 Trechos influenciados por condições meteorológicas

Incluem:

- microtopografia e microclima,
- regiões de gelo pesado,
- regiões com dança de condutores,
- regiões com alta incidência de raios,
- regiões de ventos especiais (ex.: áreas costeiras com tufões).



A configuração dos dispositivos deve ser definida com base em:

- dados históricos,
 - experiências operacionais,
 - análise de risco específica do trecho.
-

4.3 Soluções típicas

4.3.1 Requisitos gerais

Ao definir soluções típicas de monitoramento online, devem ser observados os seguintes princípios:

1. As soluções devem atender aos requisitos de:
 - distâncias elétricas,
 - resistência mecânica,
 - segurança estrutural da linha.
2. A instalação e o posicionamento dos dispositivos devem ser:
 - planejados de forma integrada,
 - livres de interferência com outros equipamentos da torre.
3. A seleção dos dispositivos deve seguir os princípios de:
 - necessidade,
 - aplicabilidade,
 - eficiência técnico-econômica.

Sempre que possível:

- devem ser evitadas instalações redundantes;
 - devem ser priorizados dispositivos multifuncionais;
 - deve-se utilizar um único terminal inteligente de borda para múltiplos sensores no mesmo local.
-



4.4 Funções e requisitos técnicos dos dispositivos de monitoramento online (Início)

4.4.1 Dispositivos de monitoramento por imagem

Os dispositivos de monitoramento por imagem devem adotar **arquitetura integrada**, na qual a unidade de aquisição de dados e o terminal inteligente de borda estão integrados.

4.4.1.1 Funções principais

- aquisição de imagens do estado da linha e do corredor de passagem;
- ajuste automático de foco, zoom e posicionamento;
- modos de aquisição automática e controlada;
- sincronização de tempo pela rede;
- captura contínua, captura por evento e gravação de vídeos curtos;
- capacidade de operação noturna.

4.4.1.2 Armazenamento de imagens

Em condições de operação contínua, com:

- modo de trabalho de referência (intervalo de captura não superior a 30 minutos),
- operação ininterrupta 24 horas por dia,

e considerando requisitos de qualidade de imagem **nível B ou superior**, o dispositivo deve ser capaz de armazenar **no mínimo 30 dias** de dados de forma cíclica.

A capacidade mínima de armazenamento local não deve ser inferior a **8 GB**.

Os critérios de qualidade de imagem são classificados em três níveis (A, B e C), conforme parâmetros como:

- nitidez,
- fidelidade de cores,
- relação sinal-ruído,
- faixa dinâmica,



- uniformidade de luminância e cor,
- distorção geométrica.

Nível A: qualidade excelente, adequada para análise avançada de imagens e reconhecimento automático.

Nível B: qualidade boa, adequada para monitoramento geral.

Nível C: qualidade limitada, não recomendada para análise automática.

4.4.1.3 Gestão de estado do dispositivo

O dispositivo de monitoramento por imagem deve possuir:

- monitoramento contínuo do estado operacional;
- funções de autodiagnóstico e diagnóstico de falhas;
- envio automático de informações de falha para o sistema central;
- capacidade de reinicialização remota.

4.4.1.4 Gestão de energia

O sistema de alimentação deve dispor de:

- controle automático de carga flutuante da bateria;
- proteção contra sobretensão, subtensão e sobrecorrente;
- compensação automática da tensão de carga em função da temperatura;
- monitoramento de parâmetros como:
 - tensão da bateria,
 - corrente de carga e descarga,
 - temperatura de operação.

Deve ainda possuir **gestão hierárquica de cargas**, permitindo:

- desligamento seletivo de funções não críticas,
- ajuste do modo de operação conforme o nível de energia disponível.



4.4.1.5 Reconhecimento inteligente

Os dispositivos de monitoramento por imagem devem possuir capacidade de **reconhecimento automático no próprio terminal de borda**, incluindo:

- identificação de equipamentos de construção (guindastes, escavadeiras, caminhões, bombas de concreto etc.);
- identificação de objetos estranhos (pipás, balões, plásticos, telas, filmes refletivos);
- identificação de incêndios florestais e fumaça;
- filtragem de alarmes repetidos;
- classificação automática dos tipos de risco;
- rastreamento automático do alvo mais próximo da linha;
- suporte à atualização remota dos algoritmos.

As informações enviadas ao sistema central devem incluir:

- tipo do risco,
- grau de confiança,
- distância mínima estimada até a linha.

4.4.2 Dispositivos de monitoramento por vídeo

Os dispositivos de monitoramento por vídeo devem adotar **arquitetura integrada**, com unidade de aquisição e terminal inteligente de borda em um único conjunto.

4.4.2.1 Funções principais

- aquisição contínua ou sob demanda de vídeo da linha e do corredor;
- resposta a comandos remotos para início de gravação;
- sincronização de tempo de alta precisão;
- monitoramento do estado operacional;
- funções de autodiagnóstico, recuperação automática e reinicialização remota;
- gestão avançada de energia, semelhante à dos dispositivos de imagem.



4.4.2.2 Requisitos principais de desempenho

- resolução mínima do sensor: $\geq 1,3$ megapixels;
 - iluminância mínima: $\leq 0,01$ lux (F1.2);
 - zoom óptico: $\geq 18\times$ (ou câmera fixa conforme aplicação);
 - suporte a unidades de movimentação (pan/tilt) com posições pré-definidas.
-

4.4.3 Dispositivos de monitoramento meteorológico

Os dispositivos de monitoramento meteorológico podem adotar:

- configuração integrada, ou
- configuração separada (sensor + terminal de borda).

4.4.3.1 Funções principais

- aquisição e armazenamento de dados meteorológicos;
- coleta automática com período padrão de **10 minutos**;
- monitoramento do estado da alimentação elétrica e temperatura interna;
- verificação de plausibilidade e pré-processamento dos dados;
- armazenamento cíclico de dados por, no mínimo, **90 dias**.

4.4.3.2 Parâmetros meteorológicos monitorados

O sistema deve monitorar, conforme a necessidade do projeto:

- velocidade e direção do vento,
- temperatura,
- umidade relativa,
- pressão atmosférica,
- precipitação,
- radiação solar.

Os requisitos de faixa de medição e precisão seguem as tabelas técnicas do documento original.



4.4.4 Dispositivos de monitoramento de desastres geológicos

Os dispositivos de monitoramento geológico devem adotar **configuração integrada**, com unidade de aquisição e terminal de borda no mesmo equipamento.

4.4.4.1 Funções principais

- recepção de sinais dos sistemas de navegação por satélite (BDS/Beidou, GPS, GLONASS);
- aquisição de dados brutos de posicionamento;
- armazenamento local de dados;
- suporte a diferentes modos de amostragem;
- atualização remota de parâmetros e firmware.

4.4.4.2 Requisitos de desempenho

- operação baseada prioritariamente no sistema **Beidou**;
- alta precisão para:
 - deslocamento horizontal,
 - deslocamento vertical,
 - inclinação,
 - aceleração;
- tempos máximos definidos para:
 - inicialização a frio,
 - inicialização morna,
 - inicialização quente,
 - convergência RTK.

Esses dispositivos são utilizados principalmente para:

- monitoramento de escorregamentos,
- subsidência,
- instabilidade de fundações de torres.



4.4.5 Dispositivos de monitoramento de inclinação de torres

Os dispositivos de monitoramento de inclinação podem adotar:

- configuração integrada, ou
- configuração separada.

Funções principais

- aquisição de dados de inclinação da torre;
- armazenamento local e coleta automática (período típico: **1 hora**);
- modo de coleta controlada;
- verificação de plausibilidade dos dados;
- cálculo de:
 - inclinação global,
 - inclinação longitudinal,
 - inclinação transversal;
- envio dos dados ao sistema central.

Requisitos de desempenho

- faixa de medição típica: **-10° a +10°**;
- precisão: **±0,05°**;
- apresentação dos resultados em:
 - milímetros por metro (mm/m),
 - graus (°), conforme o parâmetro.

4.5 Funções e requisitos técnicos dos dispositivos de monitoramento online (Continuação)

4.5.1 Dispositivos de monitoramento de gelo

4.5.1.1 Dispositivo de monitoramento de gelo equivalente

Os dispositivos de monitoramento de gelo equivalente podem adotar configuração:

- integrada



- separada.

Funções principais

- aquisição de dados de carga total no condutor;
- aquisição de ângulos de inclinação longitudinal e transversal da cadeia de isoladores;
- aquisição de dados meteorológicos associados (vento, temperatura, umidade);
- armazenamento local dos dados;
- coleta automática (período típico: **30 minutos** durante a estação de gelo);
- modo de coleta controlada;
- sincronização temporal dos dados;
- monitoramento do estado da alimentação elétrica.

Processamento e saída de dados

O dispositivo deve:

- verificar a plausibilidade dos dados coletados;
- calcular a **espessura equivalente de gelo** por meio de modelo matemático baseado em:
 - carga total,
 - ângulos de inclinação,
 - velocidade e direção do vento;
- gerar e transmitir ao sistema central parâmetros como:
 - carga total,
 - ângulo de inclinação,
 - velocidade e direção do vento,
 - temperatura e umidade,
 - espessura equivalente de gelo.



Requisitos de desempenho

- sensores de tração devem atender aos requisitos mecânicos do componente substituído;
- faixa de medição: **0% a 100% da carga nominal**;
- classe de precisão: **0,2 ou superior**;
- estabilidade e repetibilidade conforme tabelas normativas do documento original.

4.5.1.2 Dispositivos de monitoramento de gelo por condutor simulado

O dispositivo de monitoramento por condutor simulado pode adotar configuração integrada ou separada.

Requisitos principais

- a precisão de medição da espessura de gelo não deve ser inferior à do monitoramento de gelo equivalente;
- o condutor simulado deve:
 - possuir o mesmo diâmetro externo do condutor real,
 - ser fabricado com material equivalente,
 - ter comprimento típico de **1 m**;
- o posicionamento deve garantir escoamento de ar adequado e mínima interferência da estrutura da torre;
- quando equipado com monitoramento por imagem, o conjunto óptico deve possuir:
 - sistema interno de desumidificação,
 - vidro aquecido para evitar condensação e congelamento.

4.5.2 Dispositivos de monitoramento de vibração eólica

Os dispositivos de monitoramento de vibração eólica devem adotar **configuração separada**, com unidade de aquisição e terminal inteligente de borda instalados de forma independente.

Funções principais

- aquisição de:



- forma de onda da vibração,
- amplitude de flexão,
- deformação dinâmica,
- frequência de vibração;
- modo de coleta automática e controlada;
- verificação de plausibilidade e pré-processamento dos dados;
- cálculo de parâmetros característicos da vibração;
- envio dos dados ao sistema central.

Requisitos de desempenho

- faixa de amplitude típica: **0 a 1,3 mm (pico a pico)**;
- faixa de frequência: **3 a 120 Hz**;
- erro de não linearidade da amplitude: **±10%**;
- erro de medição de frequência:
 - $\leq 0,5$ Hz (≤ 50 Hz),
 - ≤ 1 Hz (50 a 150 Hz);
- taxa de amostragem: **≥ 1024 Hz**;
- período típico de coleta automática: **10 minutos**.

Os pontos de instalação devem ser selecionados preferencialmente em:

- regiões críticas de fadiga dos condutores e cabos para-raios.

4.5.3 Dispositivos de monitoramento de dança de condutores

Os dispositivos de monitoramento de dança (*galloping*) devem adotar **configuração separada**.

Funções principais

- monitoramento de:
 - amplitude da dança,



- frequência,
- ângulo de inclinação da elipse de movimento;
- armazenamento local dos dados;
- coleta automática e controlada;
- processamento dos dados para extração dos parâmetros característicos;
- envio dos resultados ao sistema central.

Requisitos de desempenho

- faixa de amplitude: **0 a 10 m (pico a pico)**;
- faixa de frequência: **0,1 a 2 Hz**;
- sensores admissíveis:
 - acelerômetros triaxiais,
 - unidades inerciais de seis eixos,
 - dispositivos de posicionamento por satélite (Beidou);
- erro relativo de medição de amplitude e frequência conforme limites normativos;
- sincronização temporal entre múltiplos sensores com erro ≤ 33 ms.

4.5.4 Dispositivos de monitoramento de flecha (sag)

Os dispositivos de monitoramento de flecha devem adotar **configuração separada**.

Funções principais

- aquisição de parâmetros necessários ao cálculo da flecha, tais como:
 - ângulo,
 - temperatura,
 - tração;
- coleta automática (período típico: **30 minutos**);
- coleta intensificada quando a flecha ultrapassar valores de alarme;
- verificação de plausibilidade e pré-processamento dos dados;
- cálculo da flecha e/ou da distância ao solo ou a obstáculos;



- envio dos dados ao sistema central.

Requisitos de desempenho

- métodos admissíveis:
 - método do ângulo,
 - método radar/laser,
 - método por imagem,
 - método baseado em posicionamento por satélite;
- faixa típica de medição de flecha: **0 a 500 m**;
- precisão: **$\pm 0,2\%$** ;
- dispositivos instalados diretamente no condutor devem ter massa $\leq 2,5$ kg.

4.5.5 Dispositivos de monitoramento de desvio por vento

Os dispositivos de monitoramento de desvio por vento devem adotar **configuração separada**.

Funções principais

- aquisição de:
 - ângulo de desvio,
 - ângulo de inclinação;
- coleta automática (período típico: **5 minutos**);
- coleta intensificada em condições de vento forte;
- cálculo da distância elétrica de segurança até a torre ou estruturas adjacentes;
- envio dos dados ao sistema central.

Requisitos de desempenho

- método recomendado: **sensor de inclinação biaxial**;
- faixa de medição: **-90° a $+90^\circ$** ;
- precisão:



- $\pm 0,14^\circ$ (-60° a $+60^\circ$),
- $\pm 1^\circ$ (demais faixas);
- massa máxima do dispositivo:
 - $\leq 1,0$ kg quando instalado em jumpers,
 - $\leq 2,5$ kg quando instalado em condutores.

4.5.6 Dispositivos de monitoramento de poluição

Os dispositivos de monitoramento de poluição em campo podem adotar **configuração separada ou integrada**, conforme o cenário de aplicação.

Funções principais

- aquisição de:
 - taxa de espalhamento óptico,
 - atenuação óptica,
 - temperatura ambiente,
 - umidade relativa;
- coleta automática (período típico: **1 hora**);
- modo de coleta controlada;
- verificação de plausibilidade e pré-processamento dos dados;
- cálculo automático de:
 - **densidade equivalente de sal (ESDD)**,
 - **densidade equivalente de poeira (NSDD)**;
- envio dos dados ao sistema central.

Requisitos de desempenho

- faixa de medição de ESDD: **0 a $1,0$ mg/cm²**, precisão $\pm 10\%$;
- faixa de medição de NSDD: **0 a $2,0$ mg/cm²**, precisão $\pm 10\%$;
- armazenamento cíclico de dados por, no mínimo, **90 dias**;
- conformidade com **Q/GDW 10558** e **Q/GDW 1242**.



4.5.7 Dispositivos de monitoramento de incêndios florestais por infravermelho

Os dispositivos de monitoramento de incêndios florestais devem adotar **configuração integrada**, com unidade de aquisição e terminal inteligente de borda no mesmo conjunto.

Funções principais

- reconhecimento automático de:
 - chamas,
 - fumaça,
 - fontes térmicas anômalas;
- filtragem de interferências como:
 - neblina,
 - poeira,
 - nuvens,
 - sombras,
 - reflexos,
 - movimento de vegetação,
 - edificações,
 - corpos d'água e veículos;
- posicionamento automático do foco de incêndio;
- registro e envio de eventos de alarme;
- integração com estratégias de resposta emergencial.

Requisitos de desempenho

- raio mínimo de monitoramento: $\geq 2,5 \text{ km}$;
- erro máximo de localização do foco: $\leq 100 \text{ m}$;
- capacidade mínima de detecção: $\geq 1,5 \text{ m} \times 1,5 \text{ m}$ de área em chamas;
- câmera visível:



- resolução mínima: **1280 × 720**,
- suporte a visão em baixa luminosidade,
- sistema óptico com função antiembaçamento;
- câmera infravermelha:
 - NETD $\leq$ **60 mK**,
 - resolução mínima **320 × 240**,
 - suporte a correção automática de fundo e obturador.

4.5.8 Dispositivos de monitoramento visual contra interferências externas

Os dispositivos de monitoramento visual contra interferências externas devem adotar **configuração integrada**.

Funções principais

- aquisição de imagem e/ou vídeo do corredor de passagem;
- reconhecimento automático de:
 - guindastes,
 - torres de construção,
 - escavadeiras,
 - caminhões,
 - bombas de concreto,
 - outras máquinas que possam invadir a zona de segurança;
- medição da distância entre o objeto detectado e a linha;
- emissão de alarmes graduados conforme o nível de risco;
- envio das informações ao sistema central para suporte à decisão.

Requisitos de desempenho

- alcance de detecção por radar: **10 a 700 m**;
- precisão de medição de distância: $\leq$ **1 m**;
- cobertura típica:



- largura: ≈ 80 m,
- altura: ≈ 40 m;
- integração com monitoramento por imagem e/ou vídeo.

4.5.9 Dispositivos de monitoramento distribuído de falhas

Os dispositivos de monitoramento distribuído de falhas podem operar **de forma independente**, com comunicação direta ao sistema central.

Funções principais

- aquisição automática de:
 - ondas viajantes de corrente,
 - ondas viajantes de tensão (para dispositivos não intrusivos),
 - formas de onda de corrente e tensão durante falhas;
- armazenamento local das formas de onda;
- sincronização temporal de alta precisão via satélite (Beidou);
- diagnóstico automático do tipo de falha;
- localização do ponto de falha ao longo da linha.

Requisitos de desempenho

- erro médio de localização da falha: ≤ 300 m;
- taxa de acerto na identificação do tipo de falha:
 - falhas por raio / não raio: $\geq 95\%$,
 - falhas por descargas diretas / indiretas: $\geq 90\%$;
- tempo máximo de emissão de alarme:
 - alarme de disparo: ≤ 5 min,
 - diagnóstico completo: ≤ 30 min;
- precisão de sincronização temporal: $\leq 0,1$ μ s.



Os dispositivos podem ser:

- **intrusivos (de contato)**, instalados diretamente nos condutores, ou
- **não intrusivos (sem contato)**, instalados na estrutura da torre.

4.5.10 Requisitos técnicos de alimentação elétrica (Início)

4.5.10.1 Requisitos básicos

A alimentação elétrica dos dispositivos de monitoramento online deve adotar soluções **autônomas e confiáveis**, conforme a localização de instalação:

- **Em condutores e cabos para-raios:**
 - captação indutiva de energia,
 - painéis solares,
 - baterias de alta densidade energética.
- **Em torres de transmissão:**
 - painéis solares associados a bancos de baterias,
 - controladores de carga dedicados.

Requisitos gerais

- tempo mínimo de operação sem recarga:
 - **≥ 30 dias** para dispositivos de dados,
 - **≥ 20 dias** para dispositivos de vídeo (considerando 1 h/dia de operação em plena carga);
- massa máxima do conjunto de alimentação:
 - **≤ 35 kg** (dispositivos comuns),
 - **≤ 50 kg** (sistemas de vídeo).

4.5.10.2 Requisitos para painéis solares

Os painéis solares utilizados como fonte de alimentação para dispositivos de monitoramento online devem atender aos seguintes requisitos técnicos:

1. **Conformidade normativa**



Os módulos fotovoltaicos devem estar em conformidade com a norma **GB/T 9535**, possuir proteção contra poeira e, em regiões com elevada poluição ou ambientes severos (chuva, neve, areia, salinidade), recomenda-se a utilização de módulos com **função de autolimpeza**.

2. Eficiência de conversão

- Eficiência mínima da célula solar: $\geq 17\%$
- Eficiência mínima do módulo fotovoltaico: $\geq 13,5\%$

3. Potência de pico

A potência de pico efetiva do módulo deve apresentar desvio em relação ao valor nominal limitado ao intervalo de **0 a +3%**.

4. Critérios de configuração

O dimensionamento dos painéis solares deve considerar:

- latitude, longitude e altitude do local;
- intensidade de radiação solar, temperatura e velocidade do vento;
- características da carga (potência média e máxima, regime de operação);
- capacidade e estratégia de carregamento das baterias;
- condições de instalação na torre.

4.5.10.3 Cálculo da capacidade dos painéis solares

O documento apresenta um método de cálculo de referência para o dimensionamento da potência total do arranjo fotovoltaico

$$P = \frac{\{V_P \cdot I \cdot (1 + \alpha \cdot (T_2 - T_1)) \cdot F_c\}}{\{\eta_b \cdot \eta\}}$$

onde, de forma resumida:

- P : potência total do arranjo fotovoltaico (W);
- V_P : tensão de operação do módulo em condições padrão (V);
- I : corrente média da carga (A);
- η_b : eficiência de carga da bateria (valor típico: **0,84**);



- η : coeficiente de correção de irradiância, definido conforme a radiação solar anual local;
- F_c : fator global de correção (típico: **1,2 a 1,5**);
- α : coeficiente de temperatura do módulo;
- T_2, T_1 : temperatura de operação e temperatura padrão, respectivamente.

Este método é fornecido **como referência**, devendo o projeto final considerar as condições específicas de cada local.

4.5.10.4 Ângulo de inclinação dos painéis solares

O ângulo de inclinação dos painéis solares deve ser definido em função da **latitude local**, conforme a tabela orientativa do documento original:

- Latitudes baixas: inclinação mínima fixa
- Latitudes médias: inclinação próxima à latitude local
- Latitudes elevadas: inclinação superior à latitude local, visando maximizar a captação anual

A inclinação pode ser ajustada conforme restrições construtivas e condições ambientais.

4.5.10.5 Requisitos para baterias

As baterias utilizadas nos sistemas de monitoramento online devem atender aos seguintes requisitos:

1. Autonomia mínima

- Dispositivos de dados: **≥ 30 dias** sem recarga
- Dispositivos de vídeo: **≥ 20 dias** (considerando 1 hora/dia de operação em carga máxima)

2. Tensão nominal

- **12 Vcc**

3. Faixa de temperatura de operação

As baterias devem manter capacidade adequada em:

- temperaturas elevadas (**≥ +40 °C**),



- temperaturas baixas (até $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$),

conforme as classes de ambiente definidas no documento.

4. Desempenho elétrico

- alta capacidade de recuperação após descarga profunda;
- vida útil adequada ao regime de operação contínua;
- eficiência de carga compatível com sistemas solares.

5. Segurança

- não emissão de gases corrosivos durante operação normal;
- resistência à chama e à propagação de incêndio;
- ausência de necessidade de manutenção em campo ao longo da vida útil.

4.5.10.6 Controladores de carga e descarga

Os controladores de carga devem atender aos seguintes requisitos técnicos:

- tensão nominal: **12 Vcc**;
- faixa de tensão de entrada: **8 a 26 Vcc**;
- eficiência de conversão: **$\geq 90\%$** ;
- proteção contra:
 - sobrecorrente,
 - curto-circuito,
 - sobretensão e subtensão,
 - inversão de polaridade;
- compensação automática da tensão de carga em função da temperatura;
- capacidade de monitoramento em tempo real de:
 - tensão da bateria,
 - corrente de carga e descarga,
 - estado de funcionamento do sistema.



4.5.11 Requisitos técnicos de comunicação (Início)

4.5.11.1 Requisitos da rede de comunicação local

A rede de comunicação local conecta:

- unidades de aquisição de dados, e
- terminais inteligentes de borda.

Arquitetura

A topologia básica da rede local deve adotar:

- modelo em estrela, ou
- modelo em rede auto-organizada (*mesh*).

A comunicação pode ser:

- unidirecional (sensor → terminal), ou
- bidirecional (sensor ↔ terminal).

Protocolos suportados

O documento recomenda o uso de protocolos padronizados, incluindo:

- IEEE 802.15.4
- LoRaWAN
- BLE 5.0
- Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax)
- protocolos de baixa potência específicos da State Grid

Os requisitos de potência, sensibilidade, largura de banda e alcance seguem tabelas técnicas específicas do documento original.

4.5.11.2 Rede de comunicação remota

1) Arquitetura geral

A rede de comunicação remota é responsável por conectar os **terminais inteligentes de borda** às **plataformas corporativas** (plataforma de gestão de ativos, plataforma de monitoramento de transmissão, plataforma de vídeo, entre outras).



A arquitetura de comunicação remota compreende:

- **Rede de acesso** (do campo ao backbone);
- **Rede de backbone** (provincial, regional e nacional);
- **Sistemas centrais (estações mestre)**, incluindo zonas de acesso seguro.

A comunicação remota deve garantir:

- **alta confiabilidade,**
- **baixa latência adequada ao serviço,**
- **continuidade operacional,**
- **segurança de dados ponta a ponta.**

2) Tecnologias de comunicação remota

As tecnologias de comunicação remota devem ser selecionadas de forma **diferenciada**, considerando:

- condições locais,
- requisitos de segurança,
- desempenho técnico,
- viabilidade econômica.

As principais opções incluem:

a) Redes celulares públicas / redes privadas virtuais

- 4G com APN/VPN dedicado;
- 5G com *network slicing* (soft slicing e hard slicing).
 - *Hard slicing* oferece isolamento próximo ao físico, maior confiabilidade e previsibilidade.



b) Redes sem fio de banda larga

- LTE auto-organizado (*LTE-MESH*);
- micro-ondas ponto-a-multiponto (P2MP);
- enlaces por rádio (*wireless bridge*).

c) Comunicação via satélite

- satélites geoestacionários de feixe amplo;
- satélites de alta capacidade (HTS);
- **mensagens curtas Beidou**, para áreas sem cobertura terrestre.

d) Redes ópticas dedicadas

- xPON (EPON / GPON);
- Ethernet industrial.

A seleção deve priorizar, sempre que possível:

1. fibra óptica dedicada de monitoramento;
2. redes celulares privadas/virtuais;
3. enlaces sem fio dedicados;
4. comunicação via satélite (como última alternativa).

3) Indicadores técnicos da comunicação

Os principais parâmetros técnicos estabelecidos incluem:

- **Largura de banda:**
 - 4G: 10 a 100 Mbit/s;
 - 5G: até Gbit/s (dependendo do *slice*);
 - enlaces rádio/micro-ondas: até centenas de Mbit/s;
 - satélite: tipicamente até dezenas de Mbit/s.
- **Cobertura:**
 - 4G: raio típico ~1 km por estação;



- 5G: 300 a 800 m;
- rádio ponto a ponto: até 15 km (linha de visada);
- satélite: cobertura ampla, independente de geografia.
- **Latência:**
 - 5G: < 50 ms;
 - rádio/micro-ondas: dezenas de ms por salto;
 - satélite: latência elevada (segundos).
- **Confiabilidade:**
 - enlaces ópticos e redes dedicadas apresentam maior robustez;
 - redes públicas estão sujeitas a congestionamento e interferências.

4.5.11.3 Segurança da informação

Os terminais inteligentes de borda e os sistemas de comunicação devem implementar **medidas obrigatórias de segurança da informação**, incluindo:

- criptografia por hardware ou software;
- autenticação de dispositivos;
- controle de acesso;
- isolamento lógico ou físico das redes;
- integração com as **zonas de acesso seguro** corporativas.

A segurança deve abranger:

- dados em trânsito,
 - dados armazenados,
 - comandos de controle remoto,
 - atualizações de firmware e algoritmos.
-



Capítulo 5 – Soluções típicas por cenário (Início)

5.1 Trechos de três travessias

As soluções típicas para trechos de três travessias abrangem, principalmente:

- travessias de **ferrovias de alta velocidade**,
- travessias de **rodovias de alta capacidade**,
- travessias de **corredores de transmissão importantes**.

5.1.1 Travessia de ferrovia em alta velocidade

Configuração obrigatória

- **Monitoramento por vídeo:** 1 conjunto

(1 ponto de instalação; unidade de aquisição e terminal de borda integrados).

- **Monitoramento distribuído de falhas:**

- por contato: 2 conjuntos por circuito

(6 unidades de aquisição; 6 pontos de instalação), **ou**

- sem contato: 2 conjuntos por circuito

(2 unidades de aquisição; 2 pontos de instalação).

O monitoramento distribuído de falhas deve:

- cobrir integralmente o trecho de travessia;
- permitir a localização do ponto de falha;
- apoiar a identificação da causa da falha.

Requisitos de instalação – vídeo

- instalação no corpo da torre do vão de travessia;
- altura acima da primeira travessa e a ≥ 8 m do condutor mais baixo;
- ângulo de câmera ajustado para evitar incidência direta do sol;
- uma única câmera pode atender múltiplos circuitos na mesma torre.



5.1.2 Travessia de rodovias de alta capacidade e corredores importantes de transmissão

Configuração típica

- **Monitoramento por imagem:** 1 conjunto

[1 ponto de instalação; unidade de aquisição e terminal inteligente de borda integrados].

Em situações especiais, quando houver necessidade de observação contínua ou resposta em tempo real, pode-se adotar **monitoramento por vídeo**.

Requisitos de instalação

- o dispositivo deve ser instalado na torre do vão de travessia;
- a altura de instalação deve ser:
 - acima da primeira travessa da torre, e
 - a pelo menos **8 m** do condutor mais baixo;
- o ângulo de captura deve garantir cobertura completa do corredor monitorado;
- o posicionamento deve evitar incidência direta de luz solar no sensor.

O sistema deve ser capaz de:

- identificar automaticamente riscos no corredor,
- gerar alertas,
- apoiar decisões operacionais preventivas.

5.2 Grandes travessias

As soluções típicas para **grandes travessias** devem ser definidas considerando:

- número de torres principais do vão,
- comprimento do vão,
- condições ambientais e operacionais.



Configuração típica – travessia com duas torres principais

Devem ser instalados:

1. Monitoramento por imagem ou vídeo

- 2 conjuntos (2 pontos de instalação);
- unidades integradas.

2. Monitoramento de vibração eólica

- 1 conjunto
- mínimo de:
 - 4 unidades de aquisição nos condutores,
 - 3 unidades de aquisição nos cabos para-raios ou OPGW.

3. Monitoramento meteorológico

- 1 conjunto
- 1 ponto de instalação.

4. Monitoramento de flecha (sag)

- 1 conjunto
- 1 ponto de instalação.

Requisitos de instalação

• Imagem / vídeo:

- instalado no corpo da torre,
- acima da primeira travessa,
- a pelo menos **8 m** do condutor mais baixo.

• Vibração eólica:

- sensores instalados preferencialmente:
 - no condutor da fase superior,
 - no cabo para-raios;
- para condutores multifilares, instalar no subcondutor voltado para o vento predominante;
- os pontos devem coincidir com regiões críticas de fadiga.



- **Meteorológico:**
 - instalado no corpo da torre,
 - altura típica de **10 m** ou com correção para essa referência.
- **Flecha (sag):**
 - métodos admissíveis:
 - inclinação,
 - radar/laser,
 - imagem;
 - instalação conforme o método adotado, garantindo visada desobstruída do ponto de flecha mínima.

Observação

Quando o número de torres principais for **três ou mais**, a quantidade de dispositivos pode ser aumentada proporcionalmente, conforme a distribuição dos vãos.

5.3 Regiões de poluição severa

As soluções típicas para regiões de **poluição severa** aplicam-se a:

- áreas classificadas como **nível 3 de poluição**,
- regiões próximas a fontes de poluição industrial,
- locais com dificuldade de inspeção manual,
- trechos com histórico de **descargas superficiais (poluição)**.

Configuração típica

- **Monitoramento de poluição:** 1 conjunto

(1 ponto de instalação; unidade de aquisição e terminal inteligente de borda separados).

Requisitos de instalação

- o sensor de poluição deve ser instalado:
 - no braço da torre,



- preferencialmente próximo ao topo da cadeia de isoladores,
- no lado voltado para a torre;
- a instalação deve permitir:
 - exposição representativa às condições ambientais,
 - facilidade de manutenção.

Finalidade operacional

O sistema deve permitir:

- avaliação contínua do grau de poluição;
- definição de estratégias de lavagem de isoladores;
- prevenção de falhas por poluição;
- suporte à manutenção baseada em condição.

5.4 Regiões geologicamente desfavoráveis

As regiões geologicamente desfavoráveis incluem:

- áreas com **mineração ativa**,
- áreas com **mineração antiga ainda instável**,
- locais com **riscos geológicos identificados**,
- zonas classificadas como de **alta suscetibilidade a deslizamentos, colapsos ou subsidência**.

5.4.1 Áreas afetadas por mineração ativa ou antiga

Configuração típica

- **Monitoramento de inclinação de torres:**
 - 1 conjunto para cada **3 torres**
 - inclui **2 unidades de aquisição** por torre monitorada
 - **2 pontos de instalação** (base e topo da torre)



Requisitos de instalação

- os sensores devem ser instalados:
 - no primeiro plano transversal acima da base da torre, e
 - no topo da torre;
- os sensores devem ser fixados preferencialmente em **perfis horizontais** da estrutura;
- a orientação inicial do sensor deve garantir que:
 - os valores iniciais de inclinação longitudinal e transversal sejam inferiores a **5 minutos de arco (5')**;
- após a instalação, os valores iniciais devem ser **zerados/calibrados** no sistema.

Finalidade operacional

O sistema deve permitir:

- monitoramento contínuo da estabilidade da torre,
- avaliação de deslocamentos progressivos,
- acionamento antecipado de medidas corretivas.

5.4.2 Pontos de risco geológico elevado

Configuração típica

- **Monitoramento geológico:** 1 conjunto

(1 ponto de instalação; unidade de aquisição e terminal inteligente de borda integrados).

Requisitos de instalação

- o dispositivo deve ser instalado:
 - próximo ao pé da torre, ou
 - na massa de solo/rocha suscetível a deslocamento;
- deve ser realizada verificação prévia da **recepção de sinal satelital**;
- quando necessário, devem ser implantados:
 - sistemas auxiliares de reforço da base,



- ou sistemas complementares de comunicação.

Finalidade operacional

O sistema deve permitir:

- monitoramento de deslocamentos do terreno,
- avaliação de riscos de deslizamento, colapso ou fluxo de detritos,
- suporte à tomada de decisão preventiva.

5.5 Regiões suscetíveis a incêndios florestais

As regiões suscetíveis a incêndios florestais incluem:

- áreas classificadas como **nível 3 ou 4 de risco de incêndio**.

Configuração típica

- **Monitoramento de incêndios florestais por infravermelho:** 1 conjunto

(1 ponto de instalação; sensores visíveis e infravermelhos + terminal inteligente de borda).

Requisitos de instalação

- o conjunto de sensores deve ser instalado:
 - no corpo da torre,
 - acima da primeira travessa,
 - a pelo menos **8 m** do condutor mais baixo;
- o ângulo de visão deve cobrir integralmente:
 - a faixa de vegetação sob a linha,
 - áreas adjacentes críticas;
- para torres com múltiplos circuitos, um único conjunto pode ser compartilhado.

Finalidade operacional

O sistema deve permitir:

- detecção precoce de focos de incêndio,



- localização precisa da origem do fogo,
 - suporte à resposta rápida de equipes de operação e órgãos ambientais.
-

5.6 Regiões de gelo pesado

As regiões de gelo pesado incluem:

- áreas com histórico de **eventos severos de acúmulo de gelo**,
- regiões sem dados históricos completos, mas com **potencial elevado de formação de gelo**.

Configuração típica

Deve ser instalado **1 conjunto** de monitoramento de gelo, podendo ser adotada uma das seguintes soluções:

1. Monitoramento de gelo equivalente, ou
2. Monitoramento por condutor simulado, ou
3. Monitoramento de gelo por imagem/vídeo.

Requisitos de instalação

- os dispositivos devem ser instalados:
 - preferencialmente próximos às torres,
 - em locais com boa representatividade das condições climáticas;
- no caso de condutor simulado:
 - o comprimento típico do condutor é de **1 m**,
 - o material e o diâmetro devem ser equivalentes ao condutor real;
- dispositivos por imagem devem garantir:
 - visada desobstruída do condutor monitorado,
 - proteção contra embaçamento e congelamento do sistema óptico.



Finalidade operacional

O sistema deve permitir:

- acompanhamento da evolução do acúmulo de gelo,
 - emissão de alertas antecipados,
 - suporte à tomada de decisão para medidas de mitigação (ex.: redução de carga, inspeções especiais).
-

5.7 Regiões de microtopografia e microclima

As regiões de microtopografia e microclima incluem, entre outras:

- gargantas e passagens estreitas (*wind corridors*),
- vales profundos,
- cristas de montanhas,
- áreas com aceleração local de vento,
- áreas com intensificação local de formação de gelo.

Configuração típica

A configuração dos dispositivos deve ser definida com base em **estudos específicos do local** e na experiência operacional, podendo incluir, isolada ou conjuntamente:

- Monitoramento meteorológico;
- Monitoramento de vibração eólica;
- Monitoramento de desvio por vento;
- Monitoramento de gelo.

Requisitos de instalação

- Todos os sensores devem operar em **configuração separada**, compartilhando um **único terminal inteligente de borda** para comunicação remota.
- As unidades de aquisição instaladas nos condutores devem utilizar **comunicação sem fio** com o terminal de borda.
- Os pontos de instalação devem ser selecionados de forma a:
 - representar adequadamente as condições microclimáticas locais,



- evitar sombreamento excessivo ou interferências estruturais.

Finalidade operacional

O sistema deve permitir:

- avaliação contínua de condições meteorológicas locais extremas,
- identificação de efeitos amplificados de vento e gelo,
- suporte a decisões preventivas de operação e manutenção.

5.8 Regiões de dança dos condutores (Galloping)

As regiões de dança de condutores incluem:

- áreas classificadas como **nível 2 ou superior** de risco de dança,
- trechos onde o **alinhamento da linha forma ângulo superior a 45°** em relação à direção predominante do vento no inverno/primavera,
- regiões com histórico de ocorrência de eventos de dança.

Configuração típica

Para cada **trecho de ancoragem (trecho entre torres de ancoragem)**, deve ser instalado:

- **Monitoramento de dança de condutores:** 1 conjunto
 - inclui **3 unidades de aquisição de dados**,
 - **3 pontos de instalação**.

Requisitos de instalação

- As três unidades de aquisição devem ser instaladas:
 - nas fases **A, B e C**,
 - a aproximadamente **2/9 do comprimento do vão** a partir da torre de referência;
- Para condutores multifilares:
 - instalar no subcondutor superior externo;
- Em torres com múltiplos circuitos:



- priorizar a instalação no circuito superior.

Finalidade operacional

O sistema deve permitir:

- monitoramento da trajetória da dança,
- medição da amplitude vertical e horizontal,
- identificação de frequência e duração do evento,
- emissão de alertas para riscos de contato entre fases ou com a estrutura.

5.9 Regiões de alta incidência de raios

As regiões de alta incidência de raios incluem:

- **regiões com alta densidade de descargas atmosféricas**, e
- áreas classificadas como **regiões de raios fortes**.

Configuração típica

Deve ser instalado **monitoramento distribuído de falhas**, com a quantidade definida conforme o comprimento do trecho:

- Para trechos de até **30 km**:
 - **2 conjuntos** por circuito;
- Para trechos superiores a **30 km**:
 - adicionar **1 conjunto adicional** a cada 30 km (frações consideradas como 30 km).

Os dispositivos podem ser:

- **de contato** (instalados diretamente nos condutores), ou
- **sem contato** (instalados na torre).

Em regiões com vibração severa ou manutenção difícil, recomenda-se o uso de **dispositivos sem contato**.



Requisitos de instalação

- **Dispositivos de contato:**
 - instalar nos condutores das fases A, B e C;
 - em torres de suspensão: a **1,5 a 2,5 m** da saída do grampo de suspensão;
 - quando houver amortecedores de vibração: instalar entre a torre e o primeiro amortecedor, mantendo distância de cerca de **0,5 m**;
 - em torres de ancoragem: instalar entre o grampo de ancoragem e o amortecedor.
- **Dispositivos sem contato:**
 - instalar no corpo da torre;
 - altura acima da primeira travessa;
 - distância mínima de **8 m** em relação ao condutor mais próximo;
 - porta do equipamento voltada para o lado de menor numeração da linha;
 - orientação perpendicular ao condutor.

Finalidade operacional

O sistema deve permitir:

- localização precisa de falhas causadas por descargas atmosféricas,
- diferenciação entre falhas por **descarga direta** e **descarga indireta**,
- suporte rápido à inspeção e recomposição da linha.

5.10 Regiões de ventos especiais

As regiões de ventos especiais incluem, principalmente:

- **regiões costeiras sujeitas a tufões,**
- **regiões com ventos fortes persistentes,**
- áreas onde faltam dados históricos confiáveis de velocidade do vento.



5.10.1 Regiões costeiras com tufões e áreas de ventos fortes

Configuração típica

Deve ser instalado **monitoramento distribuído de falhas**, com a quantidade definida conforme o comprimento do trecho monitorado:

- Para trechos de até **30 km**:
 - **2 conjuntos** por circuito;
- Para trechos superiores a **30 km**:
 - adicionar **1 conjunto adicional** a cada 30 km (frações consideradas como 30 km).

Os dispositivos podem ser:

- **de contato**, ou
- **sem contato**.

Em regiões com vibração severa ou acesso difícil para manutenção, recomenda-se a adoção de **dispositivos sem contato**.

Requisitos de instalação

Os requisitos de instalação seguem os mesmos critérios estabelecidos para regiões de alta incidência de raios, incluindo:

- posicionamento relativo aos grampos e amortecedores,
- distância mínima de **8 m** em relação aos condutores (para dispositivos sem contato),
- orientação padronizada do equipamento.

Finalidade operacional

O sistema deve permitir:

- rápida localização de falhas provocadas por ventos extremos,
- apoio à recomposição ágil da linha,
- redução do tempo de indisponibilidade após eventos severos.



5.10.2 Regiões sem dados confiáveis de vento

Em regiões onde não existam dados históricos adequados de velocidade e direção do vento, recomenda-se a instalação de:

- **Monitoramento meteorológico.**

Configuração típica

A densidade mínima recomendada é:

- **1 conjunto a cada 9 km** em regiões planas;
- **1 conjunto a cada 3 km** em regiões de microtopografia/microclima;
- **1 conjunto a cada 1 km** em trechos com grande variação de relevo ou grandes vãos sem dados históricos.

Requisitos de instalação

- os sensores meteorológicos devem ser instalados:
 - no corpo da torre,
 - preferencialmente a **10 m de altura**, ou
 - com correção dos valores para essa referência;
- torres com múltiplos circuitos podem compartilhar o mesmo conjunto de sensores.

Finalidade operacional

O sistema deve permitir:

- obtenção contínua de dados meteorológicos reais,
- suporte ao projeto de novas linhas,
- apoio à operação segura em condições de vento extremo.

5.11 Regiões suscetíveis a interferências externas

As regiões suscetíveis a interferências externas incluem:

- áreas com **obras de infraestrutura em andamento** (rodovias, ferrovias, empreendimentos urbanos),
- regiões com histórico de **acidentes por interferência externa** (*external damage*).



Configuração típica

Deve ser instalado:

- **Monitoramento visual contra interferências externas:** 1 conjunto

(1 ponto de instalação; unidade de aquisição e terminal inteligente de borda integrados).

Requisitos de instalação

- o dispositivo deve ser instalado:
 - no corpo da torre,
 - acima da primeira travessa,
 - a pelo menos **8 m** do condutor mais baixo;
- o campo de visão deve cobrir:
 - no mínimo **um vão completo**;
- o ângulo de instalação deve permitir:
 - medição precisa da distância entre máquinas e a linha,
 - identificação antecipada de riscos.

Finalidade operacional

O sistema deve permitir:

- identificação precoce de máquinas e equipamentos invasivos,
- avaliação automática do nível de risco,
- emissão de alertas graduados,
- suporte à atuação preventiva das equipes de operação.

Encerramento do documento

Este subvolume consolida as **soluções típicas de monitoramento online de linhas de transmissão da State Grid Corporation of China**, estabelecendo:

- critérios técnicos padronizados,
- soluções orientadas por cenários de risco,



- integração entre projeto, construção, operação e manutenção.

O documento constitui uma **referência técnica estratégica** para:

- digitalização de linhas de transmissão,
- implantação de manutenção baseada em condição,
- aumento da confiabilidade e resiliência da rede elétrica.