

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E DE COMPUTAÇÃO

Giovanna Luiza Soares 202000310

**Análise Crítica da Evolução da Norma NBR 5422 sobre Projetos de
Linha de Transmissão**

Goiânia
2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E DE COMPUTAÇÃO

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC no 1240/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei no 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo dos Trabalhos de Conclusão dos Cursos de Graduação disponibilizado no RI/UFG é de responsabilidade exclusiva dos autores. Ao encaminhar(em) o produto final, o(s) autor(a)(es)(as) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG)

Nome(s) completo(s) do(a)(s) autor(a)(es)(as): **GIOVANNA LUIZA SOARES**

Título do trabalho: **Análise Crítica da Evolução da Norma NBR 5422 sobre Projetos de Linha de Transmissão**

2. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador) Concorda com a liberação total do documento [X] SIM [] NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: a) consulta ao(à)(s) autor(a)(es)(as) e ao(à) orientador(a); b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo do TCCG. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro.

Obs.: Este termo deve ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Leonardo Guerra De Rezende Guedes, Professor do Magistério Superior**, em 09/12/2025, às 00:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Giovanna Luiza Soares, Discente**, em 09/12/2025, às 11:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5844791** e o código CRC **B6C73939**.

Referência: Processo nº 23070.044246/2025-21

SEI nº 5844791

Giovanna Luiza Soares

**Análise Crítica da Evolução da Norma NBR 5422 sobre Projetos de
Linha de Transmissão**

Projeto Final de Conclusão de Curso
apresentado à disciplina apresentado à
disciplina PFC, do curso de Engenharia
Elétrica da Universidade Federal de
Goiás, como requisito parcial para a
obtenção do título de Engenheiro
Eletricista.

Universidade Federal de Goiás – UFG
Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação
Projeto Final de Curso

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Guerra de Rezende Guedes

Goiânia
2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Soares, Giovanna Luiza

Análise Crítica da Evolução da Norma NBR 5422 sobre Projetos de
Linha de Transmissão [manuscrito] / Giovanna Luiza Soares,
Leonardo Guerra de Rezende Guedes. - 2025.
XXIV, 24 f.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo Guerra de Rezende .
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade
Federal de Goiás, Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de
Computação (EMC), Engenharia Elétrica, Goiânia, 2025.
Bibliografia.

1. normas técnicas. 2. ABNT NBR 5422. 3. Linhas de
Transmissão. 4. Projeto de Linhas de Transmissão. 5. Engenharia. I.
Guedes, Leonardo Guerra de Rezende . II. , Leonardo Guerra de
Rezende , orient. III. Título.

CDU 621.3



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA ELÉTRICA, MECÂNICA E DE COMPUTAÇÃO

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao(s) seis dia(s) do mês de dezembro do ano de 2025 iniciou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “**Análise Crítica da Evolução da Norma NBR 5422 sobre Projetos de Linha de Transmissão**”, de autoria de **Giovanna Luiza Soares**, do curso de Engenharia Elétrica, do(a) Escola de Engenharia Elétrica, Mecânica e de Computação da UFG. Os trabalhos foram instalados pelo(a) Prof. Leonardo Guerra de Rezende Guedes (EMC/UFG) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Profa. Ana Cláudia Marques do Valle (EMC/UFG) e Prof. Getúlio Antero de Deus Junior (EMC/UFG). Após a apresentação, a banca examinadora realizou a arguição do(a) estudante. Posteriormente, de forma reservada, a Banca Examinadora atribuiu a nota final de **10,0 (Dez)**, tendo sido o TCC considerado **APROVADO**.

Proclamados os resultados, os trabalhos foram encerrados e, para constar, lavrou-se a presente ata que segue assinada pelos Membros da Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Leonardo Guerra De Rezende Guedes, Professor do Magistério Superior**, em 09/12/2025, às 00:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Getulio Antero De Deus Junior, Professor do Magistério Superior**, em 09/12/2025, às 15:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Claudia Marques Do Valle, Professor do Magistério Superior**, em 10/12/2025, às 09:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5844788** e o código CRC **3806CFE7**.

Análise Crítica da Evolução da Norma NBR 5422 sobre Projetos de Linha de Transmissão

Giovanna L. Soares, Leonardo G. de Rezende Guedes

Resumo — Este trabalho de conclusão de curso analisa como a evolução dos conhecimentos técnico-científicos contribuiu para o processo de normatização na engenharia, evidenciando como as atualizações de normas técnicas complementam a elaboração de projetos de engenharia elétrica. Destaca-se a importância da revisão periódica das normas para incorporar avanços tecnológicos, novas demandas operacionais e mudanças climáticas aos critérios técnicos, mantendo os projetos alinhados ao contexto atual. Como exemplo, analisa-se a atualização da ABNT NBR 5422, publicada em 2024, que substitui a versão de 1985. A norma trata do projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica, e sua revisão reflete décadas de avanços tecnológicos e científicos, introduzindo novos parâmetros e complementando cálculos existentes. O trabalho destaca aspectos como critérios para condições meteorológicas, dimensionamento de condutores baseado no risco térmico e distâncias de segurança. Esses pontos são comparados entre as duas versões da norma, evidenciando mudanças e impactos nos projetos de linhas de transmissão. As diferenças identificadas são apresentadas na análise comparativa e consolidadas nos resultados, evidenciando a relevância das atualizações para o setor elétrico.

Palavras-chave — Normas Técnicas; ABNT NBR 5422; Linhas de Transmissão; Projeto de Linhas de Transmissão, Engenharia.

Abstract — This final course project analyzes how the evolution of technical and scientific knowledge contributes to the standardization process in engineering, highlighting how updates to technical standards support the development of electrical engineering projects. The study emphasizes the importance of periodically revising standards to incorporate technological advances, new operational demands, and climate changes into technical criteria, keeping projects aligned with current conditions. As an example, the update of ABNT NBR 5422, published in 2024 and replacing the 1985 version, is analyzed. This standard addresses the design of overhead electric power transmission lines, and its revision reflects decades of technological and scientific progress, introducing new parameters and complementing existing calculations. The work highlights aspects such as criteria for meteorological conditions, conductor sizing based on thermal risk, and safety distances. These elements are compared between the two versions of the standard, showing the main changes and their impacts on transmission line projects. The identified differences are presented in the comparative analysis and consolidated in the results, demonstrating the relevance of these updates to the electric power sector.

Keywords — Technical Standards; ABNT NBR 5422; Transmission Lines; Transmission Line Design; Engineering.

I. INTRODUÇÃO

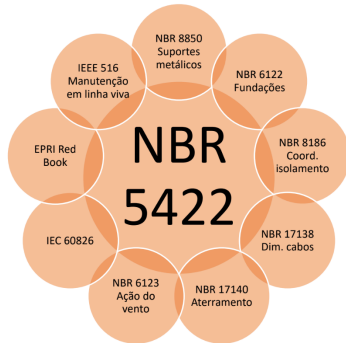
As normas de engenharia são instrumentos fundamentais para garantir segurança, qualidade, padronização e eficiência no planejamento, execução e manutenção de projetos de

engenharia. Elas estabelecem parâmetros técnicos e metodológicos que instruem profissionais, empresas e órgãos reguladores, promovendo um ambiente de confiabilidade e interoperabilidade entre diferentes sistemas e componentes. Com isso, facilitam a comunicação técnica, diminuem a possibilidade de dúvidas e ajudam a mitigar falhas que poderiam comprometer vidas humanas, o meio ambiente e o desempenho de infraestruturas. Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) são amplamente utilizadas no campo da engenharia no Brasil, pois fornecem padrões técnicos de segurança e eficiência em projetos. Quando se trata do campo da engenharia elétrica, a exigência do seguimento de normas técnicas é ainda mais crítico em vista dos riscos associados a acidentes devido ao contato direto com energia elétrica. Sabe-se que a evolução dos conhecimentos de engenharia, exigiu assertividade dos critérios de projeto e evidenciou a necessidade de se basear nessas evidências. Assim, o atendimento às normas foi aumentando sua importância, nesse sentido também a atualização delas tornou-se igualmente essencial, pois indicam que os avanços tecnológicos, novas demandas operacionais e mudanças climáticas sejam incorporados aos critérios técnicos, mantendo os projetos alinhados com a realidade contemporânea.

A modernização das técnicas aplicadas e conhecimentos acerca da elaboração e execução de projetos acrescentaram, ao longo do tempo, novos aspectos que conferem maior grau de confiabilidade, segurança e eficiência que são adaptados à realidade brasileira, ao mesmo tempo em que buscam alinhar critérios com as práticas internacionais. Em se tratando de projetos de alta tensão, o seguimento de normas técnicas é fundamental e fortemente exigido por concessionárias, órgãos regulamentadores e empresas de engenharia para execução de empreendimentos de engenharia elétrica em elevadas tensões.

A exemplo desse contexto tem-se o caso da norma regulamentadora ABNT NBR 5422, que respalda a elaboração de projetos de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica, tendo a última versão publicada em 17 de janeiro de 2024, que substitui a anterior e primeira versão do ano de 1985. Esse cenário reflete quase quatro décadas de evolução tecnológica e científica no setor, o que evidencia uma série de fatores a serem considerados, complementando cálculos já previstos na primeira versão e ainda fundamentando o estudo da engenharia de linhas de transmissão. Na imagem a seguir representa a inter-relação da nova versão da NBR 5422 (2024) com outras normas técnicas nacionais e internacionais que servem de base complementar ou referência normativa para a elaboração de projetos de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica.

Figura 1 - Inter-relação da nova versão da NBR 5422 (2024) com outras normas técnicas



Fonte: ABRATEL; CEPEL (2024).

Entre as mudanças mais relevantes da NBR 5422 de 2024, estão a introdução do conceito de risco térmico, que torna os cálculos de temperatura dos condutores mais seguros e realistas, e a adoção de critérios regionais para o fator de turbulência do vento, considerando as diferentes características climáticas e ambientais do Brasil.

Além disso, a norma passou a abranger uma faixa maior de tensões para sistemas em corrente alternada e contínua, atualizou parâmetros de distâncias de segurança, coordenação de isolamento e incorporou critérios ambientais e operacionais modernos. Dessa forma que este trabalho se propõe a realizar uma análise crítica sobre o impacto das atualizações de normas técnicas para o desenvolvimento de projetos de engenharia complexos, seguindo como exemplo o caso dos projetos de linha de transmissão.

Este trabalho acadêmico está estruturado da seguinte forma: a primeira seção apresenta o tema da pesquisa, a justificativa e métodos aplicados, contextualizando a importância das normas técnicas no desenvolvimento de projetos de engenharia elétrica e destacando a relevância da norma ABNT NBR 5422. Em seguida, a fundamentação teórica discute o papel das normas técnicas na padronização, segurança e qualidade dos projetos, com ênfase na necessidade de sua atualização frente às inovações tecnológicas e operacionais, destacando especificamente a evolução da NBR 5422. A seção de análise comparativa examina as versões de 1985 e 2024 da norma, com ênfase em critérios metodológicos específicos, como o cálculo da temperatura do condutor e nas distâncias seguras em relação ao solo, demonstrando as mudanças metodológicas e conceituais implementadas. Na seção de resultados, são apresentados os principais impactos observados a partir da comparação entre as duas versões, evidenciando ganhos em precisão, segurança e adequação às condições reais de operação.

Considerando o intervalo de quase quatro décadas entre as duas edições da NBR 5422, formula-se a hipótese de que a versão publicada em 2024 representa uma modernização substancial da norma, incorporando avanços técnico-científicos que alteram de maneira significativa os critérios de projeto de linhas aéreas de transmissão. Parte-se do pressuposto de que a adoção de parâmetros meteorológicos mais robustos, modelos estatísticos para avaliação térmica, novos critérios de distâncias de segurança e ampliação do escopo técnico tendem a produzir projetos mais seguros,

realistas e alinhados às condições operacionais contemporâneas.

O objetivo geral deste trabalho é analisar criticamente a evolução normativa entre as versões de 1985 e 2024 da ABNT NBR 5422, investigando como as mudanças conceituais, metodológicas e paramétricas influenciam o processo de elaboração de projetos eletromecânicos de linhas de transmissão. Para alcançar essa finalidade, o estudo busca compreender o papel das normas técnicas na engenharia, examinar detalhadamente os parâmetros revisados, identificar diferenças estruturais entre as versões, interpretar seus efeitos sobre cálculos mecânicos, térmicos e elétricos, bem como avaliar o impacto das atualizações em critérios de segurança, dimensionamento de condutores e projetos de travessias.

A conclusão retoma os objetivos da pesquisa, reforça a importância da revisão normativa para a engenharia de transmissão e sugere possíveis encaminhamentos para futuras análises técnicas. Com esse trabalho entende-se como as modernizações técnicas influenciam na realização de trabalhos de engenharia cada vez mais aptos às circunstâncias às quais devem ser inseridos, e como os fatores analisados podem mudar ao longo do tempo.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. *Origem, evolução histórica e fundamentos da normalização técnica*

O processo de normatização técnica surgiu da necessidade histórica de transmitir conhecimentos de maneira confiável e padronizada, garantindo a reprodução eficaz de objetos, construções e processos ao longo do tempo. Desde as primeiras sociedades, o saber técnico era conservado por meio de práticas, costumes e tradições, muitas vezes restritas a pequenos grupos de artesãos. A sistematização de normas, porém, começou a ganhar força entre os séculos XVI e XVIII, impulsionada pela Revolução Industrial e pelas demandas de guerra, comércio e manufatura em larga escala. Obras pioneiras, como *De Re Metallica* de George Agricola, introduziram a ideia de registrar processos técnicos de forma precisa e reproduzível [2].

De acordo com Santos (2019), a padronização técnica abrange áreas como metrologia, calibração, certificação, normalização e regulamentação. No Brasil, esse processo se desenvolveu sob forte influência estatal, resultando na criação de um modelo de governança integrado entre os setores público e privado, representado pelo Sistema Nacional de Metrologia (Sinmetro). A padronização técnica consiste em um conjunto específico de normas instituídas por entidades governamentais, privadas e da sociedade civil, que têm como objetivo aprimorar a coordenação e o planejamento dentro da economia, contribuindo para uma maior organização da produção [3].

A normalização consiste em um processo voltado a resolver problemas existentes ou potenciais por meio do estabelecimento de prescrições de uso comum e repetitivo, com o objetivo de alcançar um grau adequado de organização

em determinado contexto. Essa atividade busca sistematizar práticas por meio da criação, divulgação e aplicação de normas e regras que promovam o desenvolvimento econômico e social. Em essência, representa um esforço coletivo de simplificação, reduzindo a variedade de procedimentos atuais e prevenindo complexidades futuras desnecessárias. Trata-se de uma ação de caráter social e econômico, fundamentada na cooperação entre as partes interessadas, sendo, portanto, resultado de consenso. Além disso, para que uma norma tenha valor real, é indispensável sua aplicação prática — sua simples publicação não é suficiente. A efetiva implementação, mesmo que exija ajustes ou renúncias pontuais, gera benefícios coletivos e garante que o processo de normalização produza resultados significativos [4].

B. Normalização no setor elétrico e processo de revisão da NBR 5422

No Brasil, estima-se que as primeiras aplicações da energia elétrica com finalidade econômica tenham ocorrido por volta de 1870. Nesse período, os equipamentos elétricos, como dinamos e motores de corrente contínua, já haviam alcançado um nível de desenvolvimento que possibilita seu uso tanto na geração quanto na utilização da eletricidade como força motriz em indústrias e meios de transporte. A iluminação pública com lâmpadas de arco voltaico surgia como uma alternativa ao uso do gás. Nessa época, a principal fonte de energia primária era constituída por máquinas a vapor, fixas ou móveis, que utilizavam carvão ou lenha como combustível, geralmente localizadas próximas ao ponto de consumo [16].

Nesse contexto, a regulamentação técnica foi moldada pelas condições específicas da colonização, com forte influência do Estado português. Embora inicialmente o conhecimento técnico estivesse restrito a práticas tradicionais e ao ensino artesanal, a introdução de empreendimentos como os engenhos de açúcar exigiu alguma padronização de processos e equipamentos. A fundação da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), em 1940, representou um marco para o desenvolvimento da normalização no país, organizando a produção de normas de maneira sistemática, integrada às práticas internacionais [2].

Desse modo, atualmente, percebe-se que o processo de elaboração ou revisão de uma norma técnica é complexo e envolve muito trabalho, mas que pode ser entendido basicamente em duas etapas distintas que se unem em determinado ponto que são: investigação e elaboração do texto. Na criação de uma nova norma, primeiramente solicita-se à ABNT a abertura de uma comissão de estudos. Após a aprovação, inicia-se a redação de um texto base, que deve refletir a experiência de diferentes setores e, preferencialmente, ter como referência normas internacionais, como as da IEC ou ISO. Esse texto deve conter práticas amplamente testadas, ser aplicável em todo o país e viável na prática, evitando soluções acessíveis apenas a poucos [5].

A discussão acerca de se estabelecer padrões técnicos no Brasil reflete também a importância do alinhamento com as

discussões internacionais de normalização. Dessa forma, consequentemente, essa ação promove facilidade de acesso à informações recentes e privilegiadas no mundo, promovendo também maior rapidez na atualização das normas brasileiras no mercado de eletroeletrônica. Logo, aumenta-se a competitividade do mercado brasileiro no exterior, o que gera expansão do pátio industrial brasileiro [7].

Um dos objetivos almejados com a revisão da NBR 5422 de 2023 foi justamente equiparar os critérios apresentados pela NBR, aos observados na IEC 60826 [14], desenvolvendo uma extensa pesquisa por referências, avaliando as inovações tecnológicas e as necessidades tanto acerca dos aspectos técnicos como também econômicos, ainda considerando as particularidades do Setor Elétrico Brasileiro [24].

O documento “Ato 3 – Linhas de Transmissão”, elaborado por Carlos Kleber da Costa Arruda (CEPEL), apresenta uma síntese abrangente do processo de revisão da norma ABNT NBR 5422, que trata do Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica. A apresentação foi realizada durante o Workshop para Modernização da Normatização Relacionada ao Segmento de Transmissão – Brasil, em setembro de 2023. O objetivo principal foi apresentar os fundamentos, o escopo, a dinâmica de revisão e as principais mudanças da NBR 5422 entre as versões de 1985 e 2023/2024, bem como a relação dessa norma com outras referências nacionais e internacionais. A revisão foi realizada de forma colaborativa e voluntária, com forças-tarefa por seção. Reuniões virtuais e uso de base de conhecimento da ABNT (ISO Docs). Participação de 221 membros representando prestadores de serviços, universidades, órgãos do governo e fornecedores [6].

A revisão da norma buscou tornar mais claros os requisitos que antes dependiam da experiência dos projetistas e concessionárias na identificação de riscos. Por exemplo, em casos de travessias, aproximações ou paralelismos com tubulações metálicas, passou a ser exigida a realização de estudos de interferência eletromagnética (acoplamentos capacitivos, magnéticos e resistivos). Já em travessias sobre águas navegáveis, o projeto deve considerar o nível da maior cheia registrada e a altura do maior mastro estabelecida pela autoridade de navegação da via [25].

O processo de revisão da NBR 5422 teve início logo após a publicação da versão de 1985 e se estendeu por 38 anos. Durante esse período, o mercado recorreu a referências internacionais, como a IEC 60826, enquanto a comissão buscava consolidar um texto abrangente e tecnicamente consistente [19]. A longa duração deveu-se, principalmente, à necessidade de consenso entre os especialistas, uma vez que, conforme os princípios da ABNT, as normas devem resultar de acordo coletivo, e não de votação, garantindo que todas as divergências fundamentadas sejam devidamente discutidas. A nova versão, coordenada pelo Eng. Athanasio Mpalantinos do CEPEL, incorpora avanços tecnológicos, novas legislações e alinhamento com padrões internacionais, trazendo aprimoramentos em parâmetros climáticos, distâncias de

segurança, dimensionamento de condutores, ação do vento, isolamento e aspectos ambientais, refletindo o atual estágio técnico e científico do setor elétrico brasileiro [24].

III. METODOLOGIA

A. *Caracterização da Pesquisa e Referencial Metodológico*

O desenvolvimento se dará a partir de uma análise crítica e comparativa entre as duas versões da NBR 5422. Nesse sentido alguns pontos que demonstram significativa diferença entre os dois textos são abordados, além de que novos tópicos discutidos na atual versão são abordados para discorrer acerca da sua novidade e precisão no desenvolvimento de projetos de linhas nos dias atuais.

Desse modo, define-se a metodologia aplicada neste trabalho como uma revisão bibliográfica da norma técnica em questão, com o objetivo de analisar suas atualizações e implicações no contexto da engenharia. A pesquisa bibliográfica é uma forma de investigação científica fundamentada na análise de textos como livros, artigos, ensaios, jornais e enciclopédias. Atualmente, os artigos científicos são considerados a principal fonte de informação atualizada pelos pesquisadores. No caso dos livros, distinguem-se os de leitura corrente, que exigem leitura crítica e reflexiva, com produção de anotações, resumos e comentários, e os livros de referência, usados para consulta pontual [17].

Trata-se também de uma pesquisa básica, voltada para o aprofundamento do conhecimento teórico, com abordagem qualitativa, por meio da interpretação crítica dos conteúdos normativos. A pesquisa qualitativa caracteriza-se pela busca de compreender os fenômenos em sua complexidade, valorizando a relação entre o global e o local, bem como as particularidades do mundo social em contraste com o mundo natural. Prioriza a descrição, compreensão e explicação dos fenômenos, respeitando a interação entre os objetivos do pesquisador, suas bases teóricas e os dados empíricos [11]. Além disso, busca resultados fidedignos e rejeita a ideia de um modelo único de pesquisa aplicável a todas as ciências. A natureza da investigação é descritiva, uma vez que busca caracterizar as mudanças e seus impactos, e documental, fundamentando-se em fontes como versões anteriores e atuais da norma, artigos técnicos, publicações institucionais e documentos oficiais relacionados. Essa metodologia permite compreender a evolução normativa e suas contribuições para a prática profissional.

B. *Etapas do Processo Metodológico e Procedimentos de Análise*

O primeiro passo consistiu na identificação, obtenção e organização das versões oficiais da ABNT NBR 5422 — a versão de 1985 e a versão revisada de 2024 — além de documentos correlatos que influenciaram a revisão, como a IEC 60826, os materiais técnicos do CEPEL e arquivos produzidos pela ABNT durante o processo de modernização

das normas de transmissão. A análise partiu da verificação da integridade dos documentos, da identificação do escopo de cada um e da coleta de informações complementares provenientes de apresentações técnicas, workshops e documentos institucionais.

Para que a comparação entre as duas versões da norma fosse objetiva e consistente, foram definidos eixos analíticos que orientaram toda a investigação. Esses eixos incluíram o escopo geral da norma, parâmetros meteorológicos, critérios térmicos, métodos estatísticos, distâncias de segurança, requisitos de travessias, análises eletromecânicas, zoneamento e critérios ambientais. Cada uma dessas dimensões foi utilizada para estruturar a leitura e permitir uma análise paralela entre as versões.

A leitura das normas ocorreu em camadas: uma leitura panorâmica inicial, seguida de leitura analítica e, por fim, leitura comparativa. Ao longo da leitura, foram produzidos fichamentos com transcrições essenciais, sínteses temáticas e marcações de trechos relevantes para cada eixo de comparação. Em seguida, todas as informações foram organizadas em uma matriz comparativa, com colunas correspondentes à versão de 1985, à versão de 2024, às diferenças identificadas e aos impactos técnicos resultantes.

C. *Síntese Comparativa, Interpretação Crítica e Referências Utilizadas*

Com base no conteúdo extraído, estruturou-se uma matriz comparativa que permitiu avaliar sistematicamente cada item relevante. Essa matriz possibilitou identificar diferenças conceituais, metodológicas, numéricas e operacionais entre as duas versões da norma. O objetivo dessa etapa foi consolidar os dados e evidenciar, de forma objetiva, as evoluções técnicas incorporadas na nova versão.

As diferenças observadas entre as normas foram comparadas com documentos complementares, tais como manuais de engenharia de transmissão, artigos científicos sobre modelagem térmica, risco térmico, ação do vento, turbulência e distâncias de segurança. Também foram considerados documentos institucionais, como relatórios técnicos do CEPEL, publicações de comitês internacionais (IEC) e resultados discutidos no Workshop de Modernização da ABNT. Essa integração permitiu validar tecnicamente as mudanças introduzidas em 2024.

Após a comparação e validação das diferenças, procedeu-se à interpretação crítica dos impactos da nova norma sobre os projetos de linhas aéreas de transmissão. Essa etapa envolveu a análise de implicações na segurança operacional, custos, confiabilidade, precisão dos parâmetros meteorológicos, aderência às condições brasileiras e convergência com padrões internacionais. A síntese permitiu compreender de que forma a atualização normativa contribui para aprimorar os projetos eletromecânicos atuais.

IV. ANÁLISE E RESULTADOS COMPARATIVOS DA NORMA PARA PROJETOS ELETROMECÂNICOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

Com a nova revisão da norma para projetos de linhas de transmissão, alguns pontos que se destacaram dizem respeito a necessidade de se considerar aspectos meteorológicos da região em que a linha se situa. Além disso, considera-se novos critérios de cálculo e dimensionamento dos condutores, como a capacidade térmica. Outros pontos de evolução são percebidos nos conceitos para distâncias de segurança, e novas referências para projetos de travessia.

Com isso, percebe-se que entre as mudanças mais relevantes da NBR 5422 de 2024 estão: a introdução do conceito de risco térmico, que torna os cálculos de temperatura dos condutores mais realistas, e a adoção de critérios regionais para o fator de turbulência do vento, considerando as diferentes características climáticas do Brasil. Estes pontos citados e destacados aqui, serão abordados ao longo dos resultados deste trabalho, evidenciando importantes modernizações no contexto de projetos de linhas de transmissão, abaixo segue uma síntese dessa discussão.

- Primeiro ponto trata de aspectos climático em que aborda-se a ação do vento: definindo o conceito do fator de turbulência, como a principal distinção desta normas com normas internacionais, utilizado para adequar as medições de vento com a realidade observada no Brasil, basicamente determinando os ventos por região, dos valores apresentado sendo: 8% para região Sul, 12% para Sudeste e Centro-oeste e 16% Norte e Nordeste. Destaca-se também o critério de vento de período de integração 3 segundos, representativo de rajadas e microexplosões.

Tabela 1 - Fator de turbulência

Região	K_{tur}
Sul	1,08
Sudeste e Centro-Oeste	1,12
Norte e Nordeste	1,16

Fonte: ABNT (2024, p. 48).

- **Critério de verificação da temperatura no condutor:** nesse ponto passa a ser adotado o conceito de risco térmico, que utiliza distribuições estatísticas da temperatura com base em medições horárias simultâneas de parâmetros meteorológicos, considerando dois regimes de corrente e duas situações operacionais. Diferentemente da versão anterior, que utilizava critérios fixos e determinísticos, essa nova abordagem proporciona maior precisão, evitando o subdimensionamento do projeto.

- **Distâncias de segurança:** as temperaturas derivadas da análise de risco térmico são utilizadas para calcular as distâncias verticais de segurança. No aspecto elétrico, são levados em conta os regimes de tensão em frequência industrial, as sobretensões, a coordenação de isolamento da linha e os fatores de gap relacionados aos obstáculos. Já as distâncias horizontais são determinadas considerando o ângulo de balanço, inclusive o balanço assíncrono, fator especialmente relevante em projetos de linhas compactas.

Inicialmente, entende-se o escopo de projeto da NBR 5422, que assim como outras normas elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas que orientam tecnicamente os projetos de engenharia, com foco específico no dimensionamento de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica. Tendo em vista isso, uma das principais diferenças entre a versão anterior e a atual, está na aplicação de seu escopo. A edição de 1985 se restringia a projetos de linhas aéreas com tensão máxima (valor eficaz fase-fase) superior a 38 kV e inferior ou igual a 800 kV, com o objetivo de garantir níveis mínimos de segurança e reduzir perturbações em instalações próximas.

Por outro lado, a versão de 2024 amplia significativamente esse escopo ao incluir, além das linhas em corrente alternada, os projetos de linhas de transmissão em corrente contínua, estabelecendo critérios para tensões por polo acima de 200 kV e até 800 kV, tanto para polaridade positiva quanto negativa. Essa atualização resolve lacunas técnicas da versão anterior, que não aborda explicitamente os sistemas HVDC (High Voltage Direct Current ou Corrente Contínua em Alta Tensão), gerando incertezas quanto à sua aplicabilidade nesse contexto. Com isso, a nova norma proporciona maior clareza, abrangência e alinhamento com as tecnologias modernas de transmissão de energia elétrica.

A. Parâmetros Meteorológicos e Correções ABNT NBR 5422 1985

Os parâmetros meteorológicos e correções vistos nessa versão consideram principalmente a temperatura presente no local e a ação dos ventos sobre os condutores. Nesse ponto, tanto as temperaturas quanto a velocidade básica do vento eram obtidas pelos mapas encontrados no anexo A da norma, sendo valores fixos determinados previamente e indicados de forma regional através de mapas com as respectivas variáveis analisadas. Para o caso das temperaturas, primeiramente tem-se os conceitos disponibilizados na versão inicial da norma como pode ser visto na Figura 2 a seguir:

Figura 2 - Definições de temperatura consideradas na norma NBR 5422 (1985)

4.1 *Temperatura média*

Valor médio da distribuição das temperaturas com taxa de amostragem horária (Figura 23 do Anexo A).

4.2 *Temperatura máxima média*

Valor médio da distribuição das temperaturas máximas diárias (Figura 24 do Anexo A):

4.3 *Temperatura mínima*

Valor mínimo com probabilidade de 2% de vir a ocorrer temperatura menor anualmente, obtido da distribuição de temperaturas mínimas anuais (Figura 25 do Anexo A).

4.4 *Temperatura máxima*

Valor máximo com probabilidade de 2% de vir a ser excedido anualmente, obtido da distribuição de temperaturas máximas anuais (Figura 26 do Anexo A).

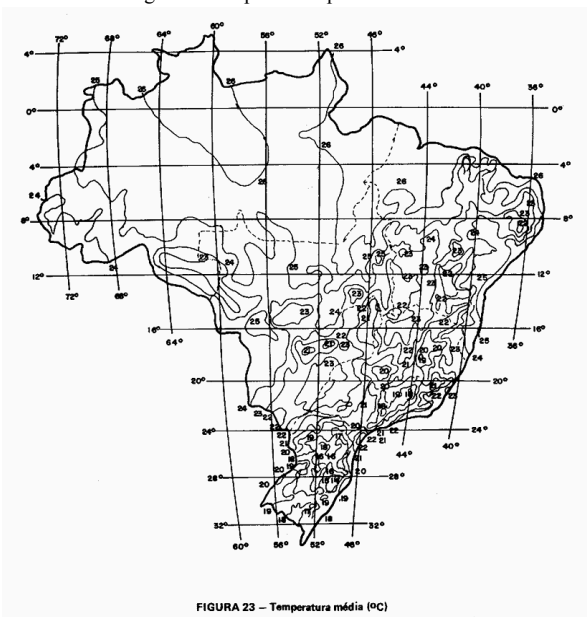
4.5 *Temperatura coincidente*

Valor considerado como média das temperaturas mínimas diárias e suposto coincidente com a ocorrência da velocidade do vento de projeto (Figura 27 do Anexo A).

Fonte: ABNT (1985, p. 6).

Como exemplo dos mapas encontrados no anexo A, têm-se o exemplo na Figura 3 que trata do mapa de temperaturas médias sugeridas para todo o Brasil de acordo com a região em que deve ser demarcado o traçado da linha:

Figura 3 - Mapa de temperaturas médias



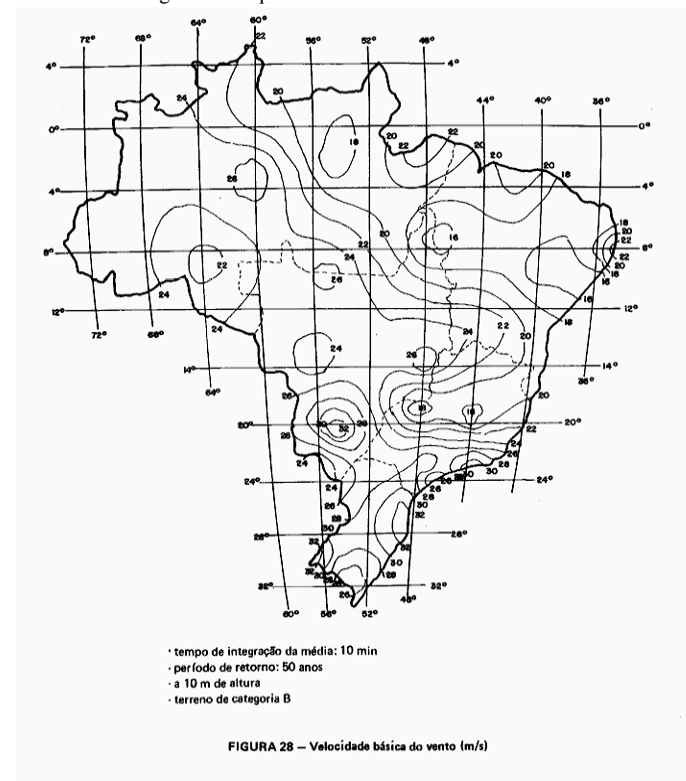
Fonte: ABNT (1985, p. 46).

Em contrapartida, a norma também permite que os dados de temperatura sejam obtidos a partir de medições específicas realizadas na região atravessada pela linha, em substituição aos valores padronizados. Esses dados podem ser fornecidos pela empresa responsável pela linha, desde que as medições tenham sido conduzidas com base em uma rede local que ofereça maior confiabilidade, contando com um sistema bem estruturado, um período de registros suficientemente representativo e uma densidade adequada de estações meteorológicas.

No caso das condições de vento, a velocidade básica é calculada e determinada a partir de algumas condições que a norma considera como: um período de retorno de 50 anos, a 10 m de altura do solo, com período de integração de 10 minutos e medida em um terreno com grau de rugosidade B.

Assim como ocorre com os dados de temperatura, as velocidades do vento também podem ser obtidas por meio de mapas de referência, os quais registram valores representativos que podem ser utilizados para determinadas regiões do território nacional. Estes mapas servem como alternativa quando não há medições locais disponíveis, oferecendo uma base confiável para o dimensionamento inicial dos projetos.

Figura 4 - Mapa de velocidades básicas de vento



Fonte: ABNT (1985, p. 51).

Na primeira versão da norma, a definição da velocidade do vento corrigida baseava-se na velocidade básica local, ajustada para refletir fatores específicos da região de implantação da linha. Essa correção considerava o grau de rugosidade do terreno, o tempo de resposta do obstáculo à ação do vento, a altura do obstáculo em relação ao solo e o período de retorno adotado, permitindo um dimensionamento mais adequado às condições locais. Abaixo é vista a equação (1) que permite determinar a condição de tempo de resposta do obstáculo à ação do vento:

Figura 5 - Equação de vento para tempo de retorno T

$$V_T = \hat{\beta} - \frac{\lambda n \left[-\lambda n \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]}{\hat{\alpha}} \quad (1)$$

Fonte: ABNT (1985, p. 8).

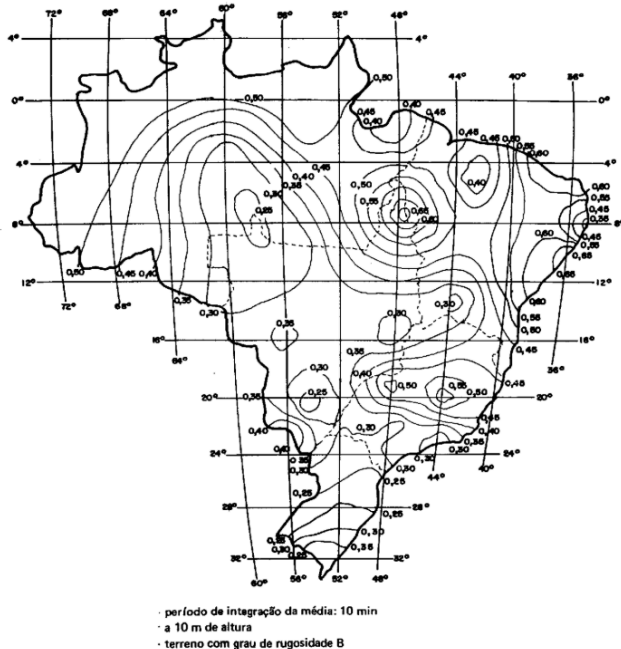
Em que:

- V_T é a velocidade do vento com determinado período de retorno;
- α e β são parâmetros de Gumbel obtidos no Anexo A;
- T é o período de retorno desejado em anos.

(Fonte: ABNT (1985, p. 8))

A seguir na Figura 6 tem-se o mapa do Anexo A que mostra os parâmetros α e β que são critérios do método de Gumbel que podem ser utilizados no cálculo da velocidade de vento corrigida de acordo com a região do traçado da linha.

Figura 6 - Mapa de parâmetro de distribuição de Gumbell

FIGURA 29 - Parâmetro alfa da distribuição estatística de Gumbel (m/s)⁻¹

Fonte: ABNT (1985, p. 52).

O método de Gumbel é também conhecido como método de eventos extremos ou de Fisher-Tippett, em que são avaliados a métodos extremos, em séries anuais, casos que o objetivo seja estudar os valores menos prováveis de um fenômeno, a série deverá conter os valores mínimos de cada ano, ordenados de forma crescente; este é o caso das ventos extremos em determinadas regiões [26].

O período de retorno considerado trata-se de uma medida estatística, normalmente baseada em dados históricos durante

um longo período de tempo. Em geral, um período de retorno é um tempo médio ou um tempo médio estimado entre eventos, como para linhas, as condições de vento são demarcadas dessa maneira.

A próxima etapa considerada nessa versão é a correção pela rugosidade do terreno, pelo período de retorno e pelo período de integração, assim a velocidade de vento de projeto pode ser obtida como a equação (2):

Figura 7 - Equação de vento de projeto

$$V_p = K_r \cdot K_d \left(\frac{H}{10} \right)^{1/n} \cdot V_T \quad (2)$$

Fonte: ABNT (1985, p. 51).

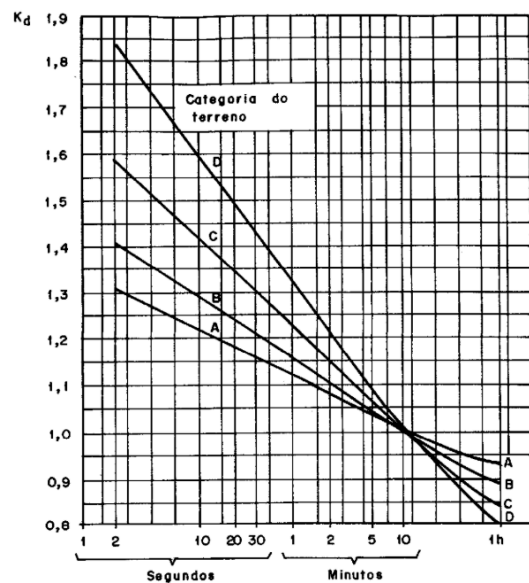
Em que:

- V_p é a velocidade de vento de projeto;
- K_r é o coeficiente de rugosidade, obtido da tabela 1;
- K_d é o coeficiente de alteração do período de integração;
- H é a correção da velocidade do vento para alturas diferentes;
- n é o valor de correção em função do período de integração e categoria do terreno.

(Fonte: ABNT (1985, p. 9))

Nessa publicação é apresentado K_d que é o coeficiente de alteração do período de integração, trata-se de uma relação entre as velocidades médias de vento a uma altura de 10 metros do solo, para diferentes tipos de rugosidade de solo e diferentes tempos de integração:

Figura 8 - Gráfico da relação entre as velocidades médias a 10 m de altura



Fonte: ABNT (1985, p. 51).

B. Parâmetros Meteorológicos e Correções ABNT ABNT NBR 5422 2024

Na atualização são realizados cálculos de velocidade do vento e determinação de parâmetros do ar como densidade relativa, umidade absoluta e massa específica do ar, assim como suas médias e desvios-padrão, que são importantes nos cálculos elétricos e mecânicos, que não eram considerados anteriormente. A nova versão da norma adota uma abordagem mais rigorosa, estatística e técnica na definição dos parâmetros meteorológicos, exigindo maior precisão e adaptabilidade às condições locais. Isso representa um avanço em relação à versão anterior, que era mais determinística e simplificada, baseada em mapas fixos. A mudança visa aumentar a segurança, confiabilidade e desempenho das linhas de transmissão em condições reais e variáveis.

Na edição mais recente percebe-se a avaliação de uma quantidade maior de fatores climatológicos para determinar importantes para o estudo de implantação das linhas como a densidade do ar, umidade, velocidades de vento entre outros. A densidade relativa do ar deve ser calculada por:

Figura 9 - Determinação da densidade relativa do ar

$$\delta = \frac{p}{p_0} \left(\frac{273 + t_0}{273 + t} \right) \quad (3)$$

Fonte: ABNT (2024, p. 17).

Em que:

- p é a pressão atmosférica local, expressa em hectopascals (hPa);
- t é a temperatura do ar, expressa em graus Celsius (°C);
- p_0 é a pressão atmosférica de referência, igual a 1013 hPa;
- t_0 é a temperatura de referência, igual a 20°C.

(Fonte: ABNT (2024, p. 17))

Caso não haja medições específicas, a média e o desvio padrão da densidade relativa do ar pode ser calculados a partir do método descrito em (4):

Figura 10 - Método de determinação da densidade não havendo medições específicas

Média

$$\bar{\delta} = 0,984 - 0,836 \times 10^{-4} alt + 0,141 \times 10^{-5} lat alt - 0,788 \times 10^{-6} lon alt$$

Desvio-padrão:

$$\sigma_{\delta} = 0,977 \times 10^{-2} + 0,256 \times 10^{-5} alt - 0,205 \times 10^{-3} lat + 0,213 \times 10^{-4} lat alt$$

(4)

Fonte: ABNT (2024, p. 29).

A umidade absoluta (H) do ar também é verificada nesse processo, sendo calculada como na equação indicada em (5):

Figura 11 - Equação para determinação da umidade absoluta do ar

$$H = \frac{6,11 r \exp\left(\frac{17,6 t}{243 + t}\right)}{0,4615 (273 + t)} \quad (5)$$

Fonte: ABNT (2024, p. 17).

Em que:

- t é a temperatura do ar, expressa em graus Celsius (°C);
- r é a umidade relativa do ar, expressa em porcentagem (%);

(Fonte: ABNT (2024, p. 17))

Não havendo medições específicas, a média da umidade absoluta pode ser calculada como em (6):

Figura 12 - Método de determinação da umidade não havendo medições específicas

$$\bar{H} = 21,559 - 0,00509 alt - 0,228 lat - 3,85 \times 10^{-5} lat alt \quad (6)$$

Fonte: ABNT (2024, p. 17).

Para o cálculo da pressão dinâmica o vento a massa específica do ar, μ , deve ser calculada como visto em (6), deve ser considerado que para efeitos desta norma, deve ser usada a temperatura média das mínimas.

Figura 13 - Equação de cálculo da massa específica

$$\mu = 1,225 \frac{288,15}{t + 273,15} \exp(-1,2 \cdot 10^{-4} alt) \quad (6)$$

Fonte: ABNT (2024, p. 18).

Em que:

- μ é a massa específica, expressa em quilograma por metro cúbico (kg/m³);
- t é a temperatura do ar, expressa em graus Celsius (°C);
- alt É a altitude média da região, expressa em metros (m).

(Fonte: ABNT (2024, p. 18))

A nova versão da norma estabelece que os dados de velocidade do vento devem ser obtidos por meio de análise estatística de séries horárias ou de séries de máximos anuais, deixando de fornecer diretamente esses valores, como ocorria anteriormente. Em vez disso, orienta sobre a forma adequada de coleta e tratamento dessas informações. As velocidades do vento provenientes de séries horárias são utilizadas no cálculo da temperatura do condutor e devem considerar parâmetros como velocidade, direção, tempo de integração de 10 minutos, altura de 10 metros e rugosidade do solo tipo B. Já as velocidades obtidas a partir de séries de máximos anuais são aplicadas nos cálculos mecânicos dos cabos, no dimensionamento estrutural, na determinação do ângulo de

balanço e na definição da largura da faixa de passagem. Esses dados são extraídos por meio da distribuição estatística de Gumbel, resultando na velocidade de referência (VR), definida para um período de retorno específico, com as mesmas condições de altura, tempo de integração e rugosidade do solo. Caso a velocidade V_m , obtida a partir das medições dos valores por algum dos meios, não esteja nas condições necessárias para o cálculo, a mesma deverá passar pelo tratamento de correção semelhante à versão antiga da norma. Assim a velocidade média é obtida da seguinte forma:

Figura 14 - Equação de conversão das velocidades medidas

$$V = \frac{V_m}{K_{int} K_{rug} K_{alt}} \quad (7)$$

Fonte: ABNT (2024, p. 20).

Em que:

- K_{int} é o fator de conversão do período de integração, adimensional;
- K_{rug} é o fator de conversão da rugosidade do terreno, adimensional;
- K_{alt} é o fator de conversão da altura de medição, dimensional;

(Fonte: ABNT (2024, p. 20))

Os fatores de conversão da rugosidade do terreno K_{rug} são dados na Tabela 2 vista abaixo, em que são apresentados os fatores de categorias de rugosidade do terreno, para os diferentes relevos vistos por região

Tabela 2 - Fatores de categorias de rugosidade do terreno

Categoria do terreno	Descrição	K_{rug}
A	Vastas extensões de água e áreas planas.	1,08
B	Terreno aberto com poucos obstáculos.	1,00
C	Terreno com obstáculos numerosos e pequenos.	0,85
D	Áreas urbanizadas, terrenos com muitas árvores altas.	0,67

Fonte: ABNT (2024, p. 21).

Os fatores de conversão para 10 min, para medições feitas com o período de integração de 3 s são dados na Tabela de Fatores de conversão do período de integração K_{int} .

Tabela 3 - Fatores de conversão do período de integração K_{int}

Categoria do terreno	K_{int}
A	1,31
B	1,41
C	1,58
D	1,88

Fonte: ABNT (2024, p. 21).

O fator de conversão da altura com relação a 10 m, K_{alt} , é dado por:

Figura 15 - Equação do fator de conversão da altura

$$K_{alt} = \left(\frac{z}{10} \right)^\alpha \quad (8)$$

Fonte: ABNT (2024, p. 21).

Em que z é a altura da medição, expressa em metros (m) e α é obtido pela Tabela a seguir:

Tabela 4 - Valores de α para determinação de K_{alt}

Categoria do terreno	α
A	0,110
B	0,160
C	0,220
D	0,280

Fonte: ABNT (2024, p. 21).

Com isso, percebe-se que a versão mais recente traz consigo mais critérios a serem considerados sobre a atmosfera regional de onde o traçado das LTs deve percorrer, visto que esses fatores afetam a disposição dos condutores, a escolha para conservação desses cabos, além dos efeitos do clima sobre o balanço que causam os riscos de rompimento e conseqüentemente, de curtos-circuitos nas linhas de transmissão.

C. Ângulo de Balanço:

A norma considera que o ângulo de balanço (β) do condutor e da cadeia de isoladores é calculado com base na velocidade de projeto do vento. Na versão de 1985, o ângulo é tratado para os condutores e isoladores de forma comum (“da cadeia e do condutor (considerados os mesmos)”) segundo a seção 10.1.4.3.

Figura 16 - Equação de ângulo de balanço da cadeia de isoladores

$$\beta = \text{tg}^{-1} (K \cdot \text{tg} \beta_R)$$

Fonte: ABNT (1985, p. 20).

Sobre o critério de verificação da temperatura no condutor, pela versão de 2024, foi definido neste capítulo os critérios de cálculo das temperaturas dos condutores, substituindo os conceitos de Temperatura de Curta Duração (CD) e Longa Duração (LD), pelos conceitos de regime Nominal e Sobretensão e as condições Típica e Limite.

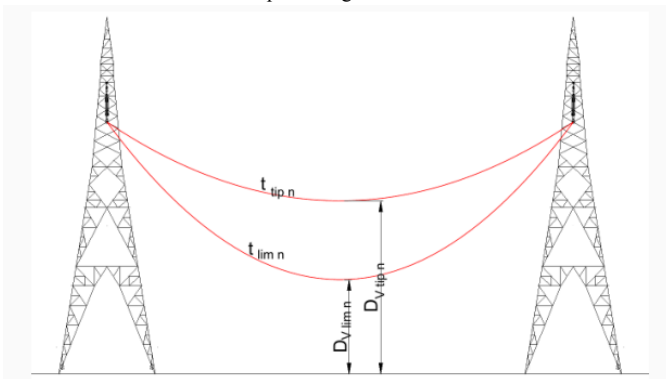
Tabela 5 - Riscos térmicos e riscos de falha

Regime	Condição	Risco térmico	Risco de falha	Temperatura cabo condutor	Distância de segur
Nominal ^a	Típica	15%	10^{-6}	$t_{tip,n}$	D_{Vtip}
	Limite	1%	10^{-4}	$t_{lim,n}$	D_{Vlim}
Sobrecorrente ^b	Típica	5%	10^{-4}	$t_{tip,s}$	D_{Vtip}
	Limite	1%	10^{-4}	$t_{lim,s}$	D_{Vlim}

Fonte: ABNT (2024, p. 22).

Cada condição é caracterizada pelo seu risco térmico, que é a probabilidade da temperatura do condutor exceder o valor calculado e pelo risco de falha, que é a probabilidade de ocorrer uma descarga disruptiva, que é quando ocorre a passagem da corrente elétrica pelo ar, formando um arco voltaico. Nesse sentido, para cada condição de risco, é definida uma distância vertical associada. A seguir tem-se a Figura 17 que demonstra a definição de distâncias de segurança para as condições típica e limite para o regime nominal de operação das linhas de acordo com o risco térmico

Figura 17 - Temperaturas e distâncias de segurança para as condições típica e limite para o regime nominal



Fonte: ABNT (2024, p. 23).

No item 5.2 da antiga versão da norma, o cálculo da temperatura do cabo era definido pelas condições:

- Corrente máxima para condições ambientes correspondentes;
- Temperatura ambiente e radiação solar máximas, com uma corrente compatível;
- Velocidade do vento não superior a 1 m/s.

Fonte: ABNT (1985, p. 10).

Na falta desses dados pode-se considerar os seguintes valores calculados simultaneamente:

Figura 18 - Valores recomendados para dimensionamento de condutores

- temperatura máxima média (seção 4.2);
- radiação solar = 1000 W/m^2 ;
- brisa a 1 m/s;
- corrente máxima.

Fonte: ABNT (1985, p. 10).

Dados Meteorológicos considerados nessa etapa são: cálculo da temperatura do condutor e os períodos sazonais devem seguir o modelo estabelecido em [1].

Crítérios gerais para cálculo das temperaturas do cabo condutor são: os coeficientes de emissividade e absorvidade devem representar as características do cabo condutor no final da vida útil da LT. Esses critérios são especificados como vistos na Figura 19, em que se determina as características de corrente em relação às temperaturas observadas, as definições e temperatura aplicáveis, e como os projetos devem considerar dados de temperatura e distâncias de segurança.

Figura 19 - Critérios gerais para cálculo das temperaturas do cabo condutor

6.3.3 A partir das correntes especificadas, devem ser calculados os valores das temperaturas correspondentes aos riscos térmicos das condições típica e limite, para cada um dos períodos climáticos e para cada um dos regimes de operação aplicáveis.

6.3.4 Para cada regime, a temperatura típica de projeto e a temperatura limite de projeto, serão as maiores entre as temperaturas calculadas para os períodos climáticos.

6.3.5 O projeto de plotação das estruturas deve considerar, concomitantemente, os dois pares de valores de temperatura de projeto e de distância de segurança, definidos para as condições típica e limite de cada regime.

Fonte: ABNT (2024, p. 24).

D. Distâncias de Segurança

As distâncias de segurança em projetos de linhas de transmissão são definidas com base em diversos fatores que representam riscos elétricos e operacionais, especialmente a ocorrência de curto-circuitos. Para evitar trajetos indesejados de corrente elétrica para a terra, é fundamental garantir o isolamento físico entre condutores energizados e quaisquer estruturas próximas, utilizando o ar como meio isolante. Dessa forma, o dimensionamento dessas distâncias deve levar em conta a separação adequada entre os condutores, as estruturas da torre, a vegetação arbórea e demais obstáculos. Além disso, a ação do vento pode provocar o deslocamento dos cabos, reduzindo a distância entre fases e aumentando o risco de curtos-circuitos bifásicos — aspecto que também precisa ser considerado nos cálculos de espaçamento para garantir a confiabilidade e a segurança da linha. Das distâncias consideradas podem ser basicamente classificadas:

- Distância ao solo: trata do espaço seguro entre o condutor e o solo, inclui a determinação da flecha do cabo, tanto em repouso como em condições extremas, depende das condições de temperatura, altura e tipo do terreno. Deve considerar veículos ou pessoas que possam transitar sob a linha (estradas, áreas rurais, urbanas etc.).
- Distâncias a Obstáculos e Estruturas: esse aspecto considera obstáculos verticais e horizontais entre os condutores e construções, edificações, galpões, árvores, muros, cercas ou qualquer estrutura próxima. Deve respeitar requisitos de segurança para evitar descargas por aproximação.
- Distância a Instalações Próximas: inclui redes de distribuição, cabos de telecomunicação, dutos

metálicos, ferrovias, tubulações e outras linhas de transmissão. Exige verificação de interferência eletromagnética (acoplamentos capacitivo, indutivo e resistivo), especialmente em dutos metálicos.

- Distância em Travessias: refere-se à distância entre condutores e elementos como:
 - Rodovias
 - Ferrovias
 - Corpos d'água navegáveis
 - Linhas de transmissão ou distribuição
- Nesse sentido, estes projetos devem considerar:
 - A maior altura de veículos/mastros permitida pela autoridade responsável;
 - O nível da maior cheia histórica no caso de rios navegáveis.
- Distância entre Condutores: garante que condutores de diferentes fases ou circuitos não entrem em contato, mesmo com balanço por vento ou variação térmica.
- Distância de Segurança Pessoal (em Manutenção): espaçamento necessário para a realização de manutenção em linha viva, protegendo os trabalhadores. Leva em conta o uso de ferramentas, EPIs, cadeias de isoladores, ângulo de balanço e movimentação dos condutores.
- Distância entre Conductor e Suporte (Isoladores e Cruzetas): evita descargas entre condutor e estruturas metálicas ou elementos de suporte. Deve considerar deslocamento da cadeia de isoladores, balanço e os regimes de tensão (normal e de emergência).
- Distância de Coordenação de Isolamento: Associada às sobretensões atmosféricas e de manobra. Garante que não haja descarga elétrica entre condutor e estrutura de aterramento mesmo durante picos de tensão.

Na norma **ABNT NBR 5422 de 1985**, determina-se que as distâncias mínimas nos suportes de linhas de transmissão devem ser definidas com base em estudos técnicos que considerem as solicitações elétricas e as condições de vento atuando simultaneamente. Se houver manutenção em linha viva, os espaçamentos devem assegurar a segurança dos eletricitistas. Por fim, a geometria dos suportes deve cumprir os requisitos definidos nas seções 10.2.1 ou 10.2.2, conforme o caso.

- Distâncias mínimas no suporte (método convencional):

Tabela 6 - Distâncias mínimas no suporte

TABELA 4 – Distâncias mínimas no suporte

Descrição		Distâncias mínimas
Mesmo circuito	Distância horizontal entre fases para $U \leq 50$ kV	Tomar o maior valor entre: a) $D = 0,22 + 0,01 D_U$ b) $D = 0,37 \sqrt{F} + 0,0076 D_U$
	Distância vertical entre fases para $U \leq 50$ kV	1,0 metro
	para $U > 50$ kV	não especificado
Circuitos Diferentes	Distância horizontal entre fases	Tomar o maior valor entre: a) $D = 0,22 + 0,01 D_U$ b) $D = 0,37 \sqrt{F} + 0,0076 D_U$
	Distância vertical entre fases	$D = 0,50 + 0,01 D_U$, respeitado o mínimo de 1,0 metro
Distância entre fase e cabo pára-raios		$D = 0,22 + 0,01 D_U$
Distância entre partes vivas e aterradas:		
- elementos do suporte		$D = 0,03 + 0,005 D_U$
- estais		$D = 0,09 + 0,006 D_U$

Fonte: ABNT (1985, p. 22).

Essa edição da norma apresenta ajustes e condições especiais para o cálculo das distâncias verticais mínimas em projetos de linhas de transmissão, como à altitudes elevadas é considerado um acréscimo nas distâncias (3% para cada 300 m acima de 1000 m). Além disso, para águas navegáveis, a altura mínima dos condutores deve considerar o maior mastro autorizado e a maior cheia dos últimos 10 anos. No caso de duas linhas próximas, a maior tensão entre elas define o espaçamento, com fórmulas específicas para tensões acima de 87 kV. Para telhados e terraços acessíveis a pessoas, o afastamento mínimo é de 6 metros, podendo ser ampliado em função de equipamentos e riscos específicos.

Por outro lado, a norma **ABNT NBR 5422 de 2024** na atualização há maior aprofundamento em relação aos regimes de corrente, além de ter sido adicionado ao cálculo destas distâncias uma parcela elétrica relativa a sobretensões de frente lenta. Em comparação à antiga norma, aqui é feita uma divisão mais detalhada da seguinte forma:

- Distância vertical de segurança;
- Em regime de corrente nominal;
- Em regime de sobrecorrente;
- Distância horizontal de segurança;
- Distância mínima entre condutores em suportes diferentes;

Distância vertical de segurança

Depende das seguintes variáveis:

Figura 20 - Parcelas consideradas na determinação da distância segura vertical

- P_{bV} – Parcela básica, que é igual à altura do obstáculo considerado, mais 0,60 m.
- P_s – Parcela de segurança, estabelecida para as condições típica ($P_{stip} = 0,90$ m) e limite ($P_{slim} = 0,60$ m).
- P_e – Parcela elétrica, igual ao espaçamento necessário para suportar uma sobretensão de frente lenta, estabelecida para as condições típica, $P_{etip,n}$ e $P_{etip,s}$, e limite, P_{elim} , conforme 7.2.5.

Fonte: ABNT (2024, p. 26).

- Para o regime de corrente nominal
- Na temperatura típica deve ser o maior dos valores:

Figura 21 - Cálculo distância vertical de segurança na temperatura típica nominal

$$D_{Vtip,n} = P_{bV} + P_{stip} + P_{etip,n}$$

$$D_{Vtip,n} = D_{Vlim,n} + 0,90 \quad (12)$$

Fonte: ABNT (2024, p. 26).

II. Distância vertical de segurança

- Para o regime de corrente nominal
- Na temperatura-limite:

Figura 22 - Cálculo distância vertical de segurança em regime de corrente nominal

$$D_{Vlim,n} = P_{bV} + P_{slim} + P_{elim} \quad (13)$$

Fonte: ABNT (2024, p. 26).

III. Distância vertical de segurança

- Para o regime de sobrecorrente
- Na temperatura típica:

Figura 23 - Cálculo distância vertical de segurança em regime de sobrecorrente

$$D_{Vtip,s} = P_{bV} + P_{slim} + P_{etip,s} \quad (14)$$

Fonte: ABNT (2024, p. 27).

IV. Distância vertical de segurança

- Para o regime de sobrecorrente
- Na temperatura-limite:

Figura 24 - Cálculo distância vertical de segurança na temperatura-limite

$$D_{Vlim,s} = P_{bV} + P_{elim} \quad (15)$$

Fonte: ABNT (2024, p. 27).

V. Distância vertical de segurança

- Valores para cálculo destas distâncias
- Parcela básica vertical encontra-se na Tabela a seguir:

Tabela 8 - Valores para cálculo das distâncias verticais de segurança (continua)

Natureza da região ou obstáculo atravessado	k_g	Altura do obstáculo m	P_{bV} m	Figura
Locais acessíveis apenas a pedestres	1,47	3,90	4,20	Figura 3
Locais onde circulam máquinas agrícolas	1,18	4,00	4,40	–

Fonte: ABNT (2024, p. 27).

VI. Distância vertical de segurança

- Valores para cálculo destas distâncias:
- Parcela de segurança, encontra-se em 7.2.1.2 – Alínea b):

Figura 25 - Definição das parcelas consideradas para obter as distâncias horizontais

P_s – Parcela de segurança, estabelecida para as condições típica ($P_{stip} = 0,90$ m) e ($P_{slim} = 0,60$ m).

Fonte: ABNT (2024, p. 27).

VII. Distância vertical de segurança

- Valores para cálculo destas distâncias
- Parcela de elétrica calculada de acordo com a equação abaixo:

Figura 26 - Equação para cálculo da distância mínima entre fases

$$d_{ff,fl} = 2,174 \left[\exp \left(\frac{K_{cs} \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} U_S F_{sfl}}{1080 k_{afl} k_{zfl} k_g} \right) - 1 \right] \quad (16)$$

Fonte: ABNT (2024, p. 55).

em que K_{cs} é obtido pela Tabela de valores para a parcela elétrica da distância vertical

Tabela 9 - Valores para o cálculo da parcela elétrica da distância vertical de segurança

Tabela 6 – Valores para o cálculo da parcela elétrica da distância vertical de segurança

Descrição	Temperatura	
	Típica	Limite
K_{cs}	1,35	1,25

Fonte: ABNT (2024, p. 32).

VIII. Distância horizontal de segurança

- Diferentemente da distância vertical, a horizontal deve ser calculada considerando apenas a temperatura típica nominal.
- Distância horizontal de segurança calculada pela seguinte fórmula:

Figura 27 - Equação de cálculo da distância horizontal de segurança

$$D_H = P_{bH} + P_{etip,n} \quad (17)$$

Fonte: ABNT (2024, p. 32).

- Depende das seguintes variáveis:

Figura 28 - Definição das parcelas consideradas para obter as distâncias horizontais

P_{bH} é a parcela básica da distância horizontal, expressa em metros (m);

$P_{etip,n}$ é a parcela elétrica, calculada conforme 7.2.5.1, considerando os valores para a temperatura típica nominal.

Fonte: ABNT (2024, p. 32).

- Valores para cálculo destas distâncias, o valor da parcela básica horizontal é obtida pela Tabela 10 da norma:

Tabela 10 - Valores para o cálculo da parcela horizontal de segurança

Tabela 7 – Valores para cálculo da parcela horizontal de segurança

Obstáculo próximo à linha	K_g	P_{bH}	Figura
Edificações	1,28	4,00	Figura 11
Veículos rodoviários e ferroviários	1,28	1,10	Figura 12
Vegetação de preservação permanente	1,28	3,00	Figura 13

Fonte: ABNT (2024, p. 33).

- Valores para cálculo destas distâncias da parcela elétrica P_e é calculada como a equação a seguir e o valor de K_{cs} é obtido pela Tabela:

Tabela 11- Valores para o cálculo da parcela elétrica da distância vertical de segurança

Tabela 6 – Valores para o cálculo da parcela elétrica da distância vertical de segurança

Descrição	Temperatura	
	Típica	Limite
K_{cs}	1,35	1,25

Fonte: ABNT (2024, p. 33).

Pela equação, a parcela elétrica é obtida aplicando os valores de K_{cs} indicados:

Figura 29 - Equação para cálculo da distância mínima entre fases

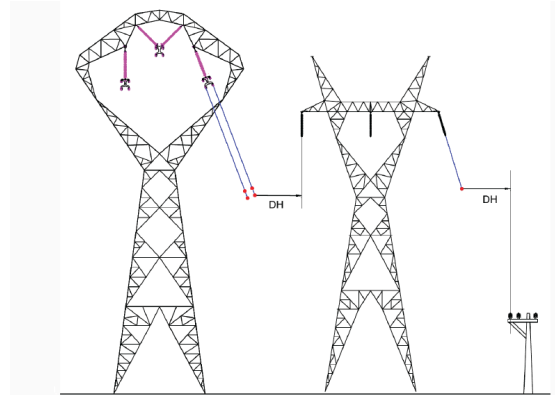
$$d_{ff,fl} = 2,174 \left[\exp \left(\frac{K_{cs} \sqrt{2} U_S F_{sfl}}{1080 k_{aff} k_{zfl} k_g} \right) - 1 \right] \quad (18)$$

Fonte: ABNT (2024, p. 55).

- Distância mínima entre condutores em diferentes suportes deve ser verificada com uma linha em

condição de balanço (a norma não especifica se médio ou máximo) e a outra linha em repouso:

Figura 30 - Distância entre condutores em suportes diferentes



Fonte: ABNT (2024, p. 35).

- Distância mínima entre condutores em diferentes suportes:
- A distância horizontal (DH) deve ser calculada de acordo com as distâncias mínimas entre fases como mostrado na equação abaixo:

Figura 31 - A distância mínima entre fases para diferentes suportes

Para $1 < d_{ff,fl} \leq 4$ m [8] [11] [12]:

$$d_{ff,fl} = 2,174 \left[\exp \left(\frac{K_{cs} \sqrt{2} U_S F_{sfl}}{1080 k_{aff} k_{zfl} k_g} \right) - 1 \right]$$

Para $4 < d_{ff,fl} < 10$ m [13] 4):

$$d_{ff,fl} = 15,3726 + 7,0846 \alpha - \sqrt{54,3115 \alpha^2 + 212,6589 \alpha - 0,1019 U_{50\%} + 286,0043} \quad (19)$$

Fonte: ABNT (2024, p. 55).

Em que as variáveis usadas são as seguintes:

Figura 32 - Variáveis consideradas para o cálculo da equação (19)

$d_{ff,fl}$ é a distância mínima fase-terra para sobretensões de frente lenta, expressa em metros (m);

K_{cs} é o fator de coordenação estatístico (ver o Anexo C), definido como a razão entre a suportabilidade, com probabilidade de 90 % de ser ultrapassada, e a sobretensão de frente lenta, com probabilidade de 2 % de ser ultrapassada ($U_{90\%/V2}$);

k_{aff} é o fator de correção das condições atmosféricas para sobretensão de frente lenta (Seção 4);

k_g é o fator de espaçamento fase-terra, calculados conforme o Anexo C;

U_S é a tensão entre fases nominal eficaz da linha, expressa em quilovolts (kV);

F_{sfl} é o fator de sobretensão de frente lenta fase-terra referido ao valor de pico da tensão fase-terra $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} U_S$, correspondente a um valor de 2 % de probabilidade de ser ultrapassado;

k_{zfl} é o fator de desvio para frente lenta, definido por

$$k_{zfl} = 1 - 1,3 z_{fl}$$

z_{fl} é o coeficiente de variação da distribuição de probabilidades da suportabilidade da distância em ar considerada, para sobretensões de frente lenta (σ_{fl}/U_{50fl}), cujo valor pode ser considerado igual a 0,06

Fonte: ABNT (2024, p. 53).

E. Travessias

- **ABNT NBR 5422 1985:**

A norma estabelece os espaçamentos mínimos para travessias sobre diferentes obstáculos, como vias de transporte (hidrovias, rodovias, ferrovias), edificações, florestas, áreas de preservação e até outras linhas aéreas, incluindo de telecomunicações. Nestes casos, é necessário obter autorização dos órgãos responsáveis pelo uso e preservação da área atravessada.

Na versão anterior, recomenda-se que, ao cruzar tubulações metálicas de grande porte, seja avaliada a influência eletromagnética da linha em condição de falta. A soma da tensão induzida por acoplamento magnético e da elevação de potencial de terra deve ser inferior à tensão de perfuração da proteção da tubulação. As travessias devem respeitar:

- Áreas de preservação permanente (florestas, parques e reservas) conforme a legislação ambiental vigente;
- Infraestruturas como hidrovias, rodovias, ferrovias, oleodutos e outras linhas de transmissão, conforme decretos e normas específicas.

Nos casos de travessias com duas cadeias de suspensão, ou com suspensão em uma extremidade e ancoragem na outra, deve-se verificar o deslocamento vertical do condutor em caso de rompimento da fase no vão adjacente.

Em travessias sobre outras linhas de energia elétrica, é obrigatória a verificação do deslocamento vertical dos cabos das duas linhas, devendo-se manter uma distância mínima de segurança de $Du/150$, com valor mínimo absoluto de 1,2 m, onde Du é a tensão da linha que permanece energizada.

Para ferrovias eletrificadas, aplica-se o mesmo critério utilizado para travessias sobre linhas de energia.

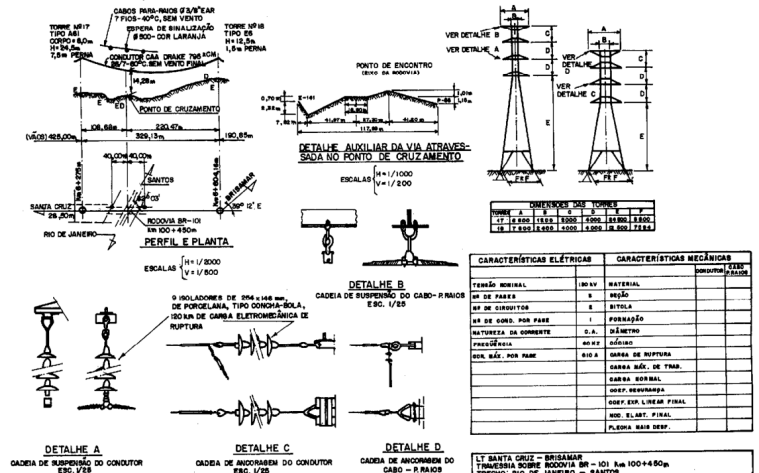
Quando não houver cálculo específico para o abaixamento no vão de travessia entre duas suspensões, pode-se adotar um valor padrão de $0,02b$, onde b é a distância horizontal do eixo do obstáculo até o suporte mais próximo.

Travessias sobre linhas aéreas de até 34,5 kV e de telecomunicações não exigem projeto de travessia, mas, caso solicitado pelo proprietário, deve ser apresentado o perfil e a planta da linha de transmissão, com as alturas dos cabos no ponto de cruzamento.

O projeto de travessia deve apresentar:

- Perfil e planta do vão da LT com identificação da travessia;
- Características da travessia;
- Esquema de fixação dos condutores e dos pára-raios, com suas características e as dos isoladores;
- Esquema dos suportes adjacentes, com indicação do tipo e das dimensões principais;
- Características mecânicas dos cabos da LT projetada;
- Características elétricas da LT projetada;
- Escalas vertical e horizontal;
- Esquema de sinalização.

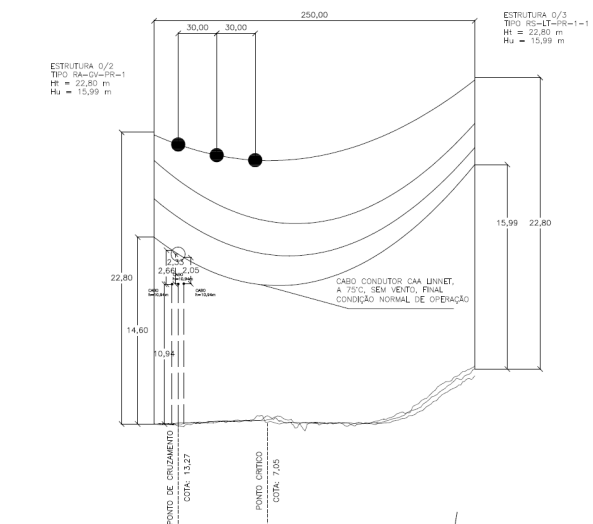
Figura 33 - Apresentação de projeto de Travessia



Fonte: ABNT (1985, p. 41).

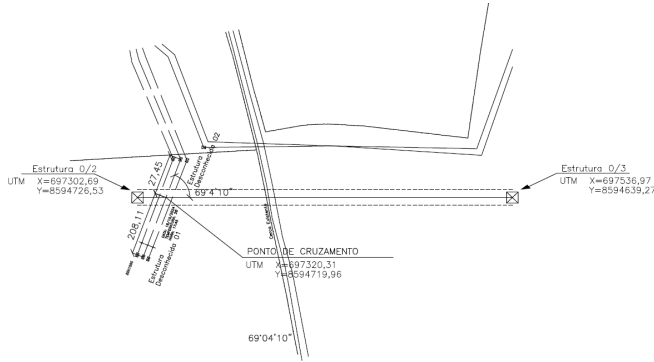
A seguir têm-se um exemplo de projeto elaborado pelo próprio autor demonstrando as aplicações da norma recente, na imagem da Figura 34 apresenta a vista em perfil de um projeto de travessia de linha de transmissão aérea, representando uma seção longitudinal da linha no trecho em que ela atravessa obstáculos de relevo e vegetação. São apresentados os condutores e os pára-raios estão representados por linhas curvas e retas, indicando suas posições em condição de catenária, que são a forma natural do cabo suspenso, causada pela força da gravidade. A linha do terreno natural está desenhada na parte inferior do esquema, com indicação de altimetrias (cotas) ao longo do eixo da travessia. São apresentados os suportes (torres) de ambos os lados da travessia, com detalhes das alturas e distâncias entre os pontos de ancoragem. O ponto mais baixo dos cabos (ponto de flecha máxima) está indicado, geralmente relacionado à verificação de distâncias mínimas de segurança ao solo ou ao obstáculo atravessado. Estão destacadas dimensões verticais, como a altura dos condutores em diferentes condições (normais, emergência, rompimento).

Figura 34 - Vista lateral de projeto de travessia seguindo as normas ABNT



Fonte: o próprio Autor, 2025.

Figura 35 - Vista superior do projeto de travessia seguindo normas ABNT



Fonte: o próprio Autor, 2025.

● ABNT NBR 5422 2024:

A nova versão mantém os tipos de elementos considerados como travessias, incluindo rodovias, ferrovias, hidrovias, tubulações metálicas, linhas aéreas, florestas e edificações. O critério de altura do condutor em relação ao objeto atravessado continua seguindo o capítulo específico de distâncias de segurança da norma.

Crítérios de Projeto:

As distâncias de segurança devem ser verificadas sob condições típicas e limites, considerando os regimes nominal e de sobrecorrente.

Permanece o critério de verificação de abaixamento do cabo em caso de rompimento, agora aplicado na temperatura limite em sobrecorrente. Este item não se aplica quando houver feixe de condutores.

A norma exige que o projeto executivo da travessia inclua os seguintes elementos:

- Documentação técnica geral;
- Projeto da travessia considerando todos os estados operacionais da linha e do obstáculo;
- Planta de localização georreferenciada, com pontos de referência (quando existentes);
- Detalhes esquemáticos dos suportes adjacentes, incluindo tipo e dimensões principais;
- Detalhes em escala 1:25 da fixação dos condutores e pára-raios, com características dos isoladores;
- Características mecânicas e elétricas dos cabos da linha projetada;
- Distância mínima de segurança para a condição mais crítica;
- Projeto de pintura e sinalização da travessia.

Na planta da travessia:

- Identificação da via ou instalação atravessada;
- Georreferenciamento e posição quilométrica;
- Ângulo de cruzamento com a linha de transmissão;
- Posição dos suportes;
- Limites da faixa de domínio atravessada.

- No perfil da travessia:
- Representação da catenária dos condutores na condição mais crítica;
- Indicação dos para-raios em condição normal;
- Cercas e eixos dos suportes próximos ao ponto de cruzamento.

Tabela 12 - Escalas mínimas recomendadas

20.9.2.1 O perfil e planta da travessia devem possuir as seguintes escalas mínimas.

Tabela 18 – Escalas mínimas recomendadas

Vão da travessia	Escala	
	Horizontal	Vertical
Igual ou inferior a 200 m	1:500	1:100
Entre 200 m e 1 000 m	1:2 500	1:500
Igual ou superior a 1 000 m	1:5 000	1:1 000

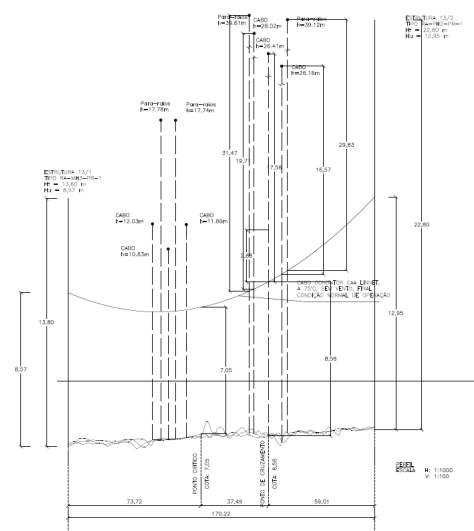
Fonte: ABNT (2024, p. 91).

- Travessias com linhas aéreas de transmissão e distribuição:

A linha de maior tensão nominal cruza por cima a linha com menor tensão nominal. Os condutores da linha superior são verificados nas condições de temperatura típica e limite dos regimes nominal e de sobrecorrente, enquanto a linha inferior na temperatura ambiente média.

A imagem apresentada na Figura 36 mostra a vista em perfil de um projeto de travessia de linha de transmissão, que configura o caso de travessia de linha de transmissão sob outra linha de transmissão existente, sendo a com maior distância vertical a de maior tensão. Na figura é possível verificar a catenária e a flecha máxima dos condutores da linha projetada, cruzando com segurança uma linha de transmissão existente abaixo. Os elementos representados possibilitam avaliar se a distância mínima vertical de segurança está garantida em todas as condições operacionais e de emergência, garantindo conformidade com a NBR 5422:2024 e com os critérios de integridade elétrica e mecânica do sistema.

Figura 36 - Vista lateral de projeto de travessia sob outra linha de transmissão seguindo as normas ABNT



Fonte: o próprio Autor, 2025.

- Travessia e aproximações de rodovias, ruas e avenidas:

Os suportes da linha devem ser colocados fora da faixa de domínio das rodovias. No entanto, pode-se colocá-las dentro da faixa de domínio desde que atendendo uma distância mínima das cristas dos cortes e das saias dos aterros. Locais onde possa haver choque de veículos com os pés ou estais dos suportes da linha os mesmos devem ser protegidos. Travessias sobre rodovia federal deve-se atender aos critérios do DNIT.

- Travessias com ferrovias:

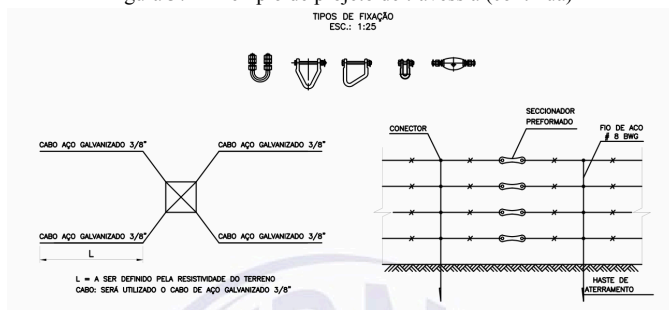
Os suportes da linha devem ser colocados fora da faixa de domínio das ferrovias. A distância de segurança do cabo com a ferrovia se refere aos trilhos. Travessia, aproximações e paralelismos com tubulações metálicas:

- Deve-se realizar estudo de interferência eletromagnética para verificar a integridade das tubulações e garantir a segurança das pessoas;
- No caso de travessia sobre tubulação aérea deve ser verificada a transferência de potencial em caso de queda do condutor sobre a tubulação;
- Caso as tubulações metálicas tenham proteção catódica, os estudos devem avaliar a integridade da linha.

- Travessia sobre águas navegáveis:

Considera-se no cálculo da distância de segurança a soma do nível da maior cheia ocorrida com o maior mastro permitido.

Figura 37 - Exemplo de projeto de travessia (continua)



Fonte: ABNT (2025, p. 93).

F. Faixas de segurança:

A largura da faixa de segurança de uma linha aérea de transmissão de energia elétrica deve ser determinada considerando o balanço dos cabos sob ação do vento, os efeitos elétricos associados e o posicionamento das fundações, suportes e estais. Essa faixa é essencial para garantir o funcionamento adequado da linha e a segurança de pessoas, instalações e propriedades próximas.

Figura 38 - Cálculo da largura mínima da faixa de segurança

$$L = 2 \cdot (b + d + D)$$

Onde:

- b = distância horizontal do eixo do suporte ao ponto de fixação do condutor mais afastado deste eixo, em metros;
- d = soma das projeções horizontais da flecha do condutor e do comprimento da cadeia de isoladores, em metros, após seu deslocamento angular β devido à ação do vento;
- D = $D_0/150$, em metros, no mínimo igual a 0,5 m;

(20)

Fonte: ABNT (1985, p. 32).

Além desse cálculo, deve-se verificar se o campo elétrico no limite da faixa está menor que 5 kV/m, caso negativo este critério governará em relação a largura L da faixa calculada.

O ângulo de balanço β da cadeia e condutor tem como condições para cálculo:

- Vento de no mínimo 10 anos e 30 segundos;
- Altura do vento corrigida para a altura média dos cabos;
- Temperatura coincidente.

Em linhas de tensão maior que 230 kV, deve ser feito estudo de rádio interferência, ruído audível, ignição de combustível, dentre outras interferências possíveis na região atravessada.

Figura 39 - Faixa de servidão - condutores dispostos horizontalmente

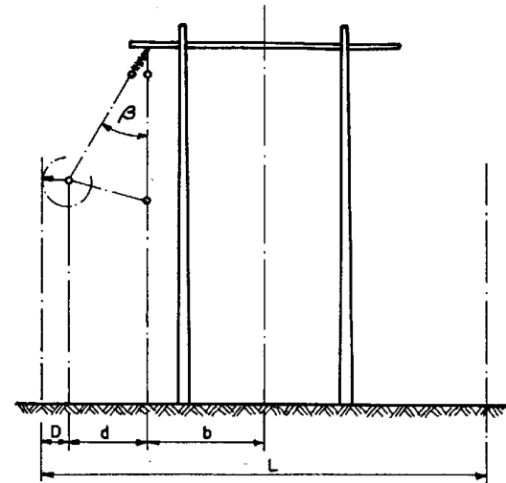


FIGURA 19 – Faixa de servidão – condutores dispostos horizontalmente

Fonte: ABNT (1985, p. 42).

A limpeza da faixa é feita retirando vegetação, algumas culturas e possíveis obstáculos por onde a linha irá passar de acordo com a imagem ao lado, onde:

Figura 40 - A altura mínima da vegetação para a faixa de segurança

$$H = 4,0 + 0,01 \left(\frac{D_U}{\sqrt{3}} - 50 \right), \text{ se } U > 87 \text{ kV}$$

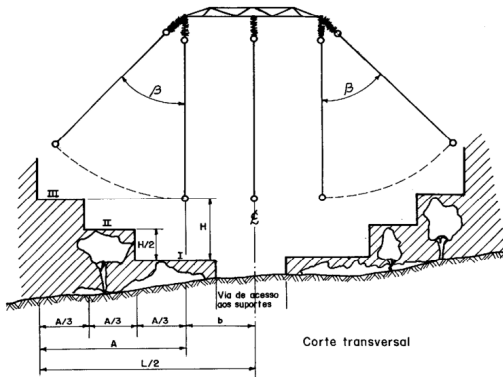
ou

$$H = 4,0 \quad \text{se } U \leq 87 \text{ kV}$$

Fonte: ABNT (1985, p. 34).

Em algumas áreas de proteção ambiental, onde não é permitido o desmatamento, é realizada a supressão superficial e incrementada a altura dos cabos de maneira que a vegetação continue a uma distância segura prevista pela norma e pela legislação vigente.

Figura 41 - Corte transversal para demonstrar as alturas mínimas de segurança para a cobertura vegetal



Fonte: ABNT (1985, p. 44).

A norma de 2024 passou a adotar terminologia mais precisa e segmentada, definindo:

- Faixa de Passagem:

A faixa de passagem corresponde à área de terra ao longo do eixo da linha de transmissão e pode estar sob domínio ou servidão. Em todos os casos, sua largura deve ser, no mínimo, igual à da faixa de segurança. A faixa de domínio é aquela adquirida pelo proprietário da linha (como concessionárias), após sua declaração de utilidade pública. Já a faixa de servidão permanece sob propriedade privada, mas com restrições de uso — por exemplo, são permitidas algumas atividades rurais, mas não é permitida a construção de edificações residenciais, comerciais ou industriais.

- Faixa de Segurança: área necessária para garantir a segurança de terceiros.

A faixa de segurança, por sua vez, tem como objetivo garantir o desempenho adequado da linha e a proteção contra riscos elétricos, mecânicos e ambientais. Ela assegura que os limites de campos elétricos e magnéticos estejam dentro dos padrões normativos e que haja espaço suficiente para acomodar o movimento dos condutores, isoladores e pára-raios, especialmente em condições adversas.

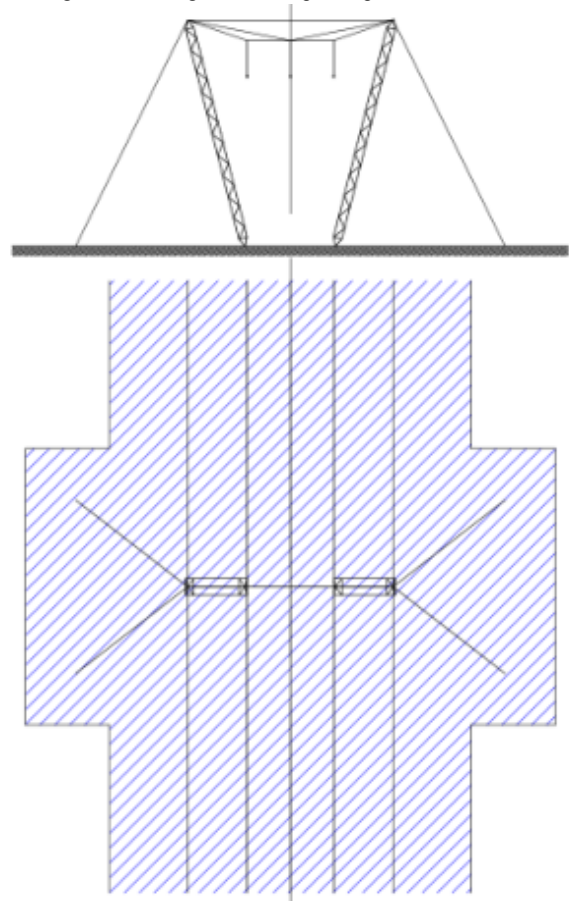
- Faixa de Servidão: área legalmente instituída com restrições de uso.

Dentro da faixa de servidão e segurança, são permitidas algumas atividades agrícolas, como o plantio de culturas de baixo porte — soja, feijão, arroz, milho, mandioca, hortaliças — e frutas como abacaxi, melão, melancia, além de cítricos como laranja e tangerina. Contudo, a preparação do solo não deve ultrapassar 40 cm de profundidade, pois nessa camada são instalados os fios contrapesos, responsáveis por conduzir à terra as descargas elétricas captadas pelos para-raios da linha.

- Faixa de Serviço: parte da faixa de passagem usada para inspeção e lançamento de cabos

A norma define que a Faixa de Passagem deve ser maior ou igual a faixa de segurança.

Figura 42 - A largura da faixa para suportes estaiados



Fonte: ABNT (2024, p. 76).

O cálculo da largura da faixa de segurança continua com a mesma estrutura:

Figura 43 - Cálculo para determinação do eixo da faixa de segurança

17.2.2.5.1 No caso de suportes com fases dispostas de forma simétrica com relação ao seu eixo:

$$L = 2(b + d + D)$$

onde

- L é a largura da faixa de passagem, expressa em metros (m);
- b é a distância horizontal do eixo do suporte ao ponto de fixação do condutor mais afastado deste eixo, expressa em metros (m);
- d é a soma das projeções horizontais da flecha do condutor e do comprimento da cadeia de isoladores considerando o ângulo de balanço calculado de acordo com 17.2.2.1 e 17.2.2.2, expressa em metros (m);
- D é a distância horizontal de segurança, calculada de acordo com 7.3.

Fonte: ABNT (2024, p. 77).

A largura da faixa de passagem segue quase os mesmos critérios de cálculo da faixa de segurança da versão de 1985. Aqui as condições da flecha e do ângulo de balanço são:

Figura 44 - Critério do ângulo de balanço dos condutores

17.2.2.2 A força exercida pelo vento sobre o condutor para cálculo da flecha e do ângulo de balanço deve ser calculado considerando:

- a) temperatura do condutor igual a temperatura ambiente máxima;
- b) altura média das fases no suporte;
- c) velocidade do vento com período de retorno de 50 anos e tempo de integração de 30 s.

Fonte: ABNT (2024, p. 77).

Nos grandes vãos da linha, a largura da faixa deve ser reavaliada de forma a garantir a segurança.

Figura 36 - Fatores considerados sobre as interferências eletromagnéticas das linhas para a faixa de passagem

17.2.3 Critério de campos elétrico e magnético

Os níveis de campos elétrico e campo magnético, dentro e fora da faixa, devem atender ao disposto em 10.2 e 10.3.

17.2.4 Critério dos níveis de rádio interferência e ruído audível

Os níveis de radiointerferência e ruído audível, no limite da faixa de passagem, devem atender a disposto em 10.6 e 10.7.

Fonte: ABNT (2024, p. 81).

- **Destques do Capítulo 18 da NBR 5422 de 2024: Uso e Ocupação da Faixa de Passagem**

Em comparação a antiga norma, aqui é feito uma divisão mais detalhada do uso da faixa, separando-a em 4 partes chamadas Zonas e definidas como a seguir:

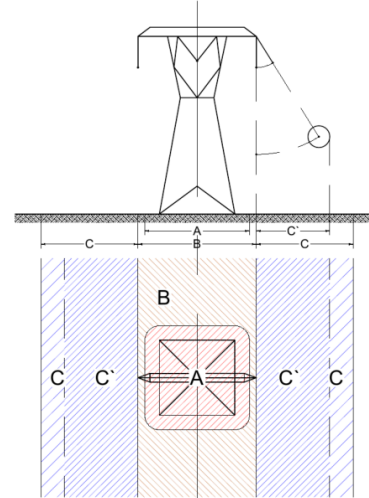
— **ZONA A:** Localiza-se no entorno dos suportes da linha de transmissão e se destina a permitir o acesso do pessoal da manutenção com seus respectivos veículos e equipamentos e servir para colocação de proteção contra abalroamentos aos suportes. É definida por uma área no entorno do piquete central da estrutura que contemple ao menos o limite da superfície de arrancamento da fundação da sua perna ou estai mais afastado;

— **ZONA B:** É a faixa de terreno, excluída a zona A, entre as projeções verticais dos cabos mais afastados do eixo, em repouso, ao longo da linha de transmissão;

— **ZONA C:** É a porção da faixa de passagem cujos limites externos são os limites da faixa de passagem, excluindo-se as zonas A e B;

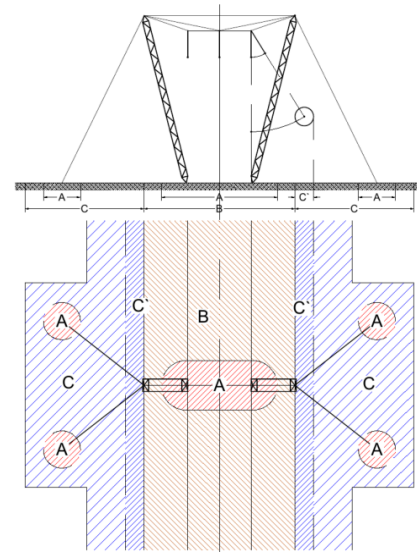
— **ZONA C':** É a porção da Zona C a ser excluída de compartilhamento envolvendo estradas, rodovias, ferrovias, ruas e avenidas, associada às projeções no solo dos cabos mais afastados do eixo, para condição de balanço máximo, conforme definido na seção 18.

Figura 45 - Zoneamento da faixa de torre autoportante



Fonte: ABNT (2024, p. 82).

Figura 46 - Zoneamento da faixa de torre estaiada



Fonte: ABNT (2024, p. 83).

- **Manutenção de Faixa de Passagem e Implantação de estradas de acesso:**

A NBR 5422 de 2024 traz um maior detalhamento de como deve ser tratada a limpeza da faixa, do entorno dos suportes e dos acessos atravessados pela linha. A norma atual exige um estudo das condições específicas das áreas atravessadas visando identificar locais com risco operacional ou limitação à manutenção.

A vegetação pode ser remanejada ou suprimida em casos em que há possibilidade de incêndio, queda de árvore ou aproximação suficiente dela para ser considerada risco operacional. O remanejamento pode ultrapassar a faixa de passagem onde necessário. Passa a ser obrigatório um estudo que informe a possibilidade de ocorrência de incêndio na região atravessada pela LT.

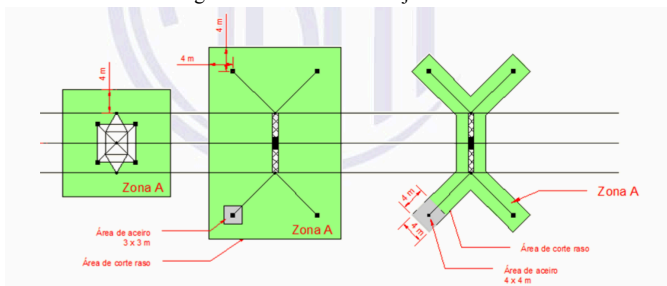
Figura 49 - Definição de risco de incêndio pela presença de vegetação na faixa de passagem da linha

19.1.5 Deve ser apresentado na fase de projeto o desempenho da linha em função do risco de incêndio, com base de registros ao longo do ano de acordo com cada região e bioma através da linha, baseado em amostragens de pelo menos 5 anos, obtidas em um período recente, por técnicas de sensoriamento remoto utilizando como base os dados do satélite de referência a no Brasil.

Fonte: ABNT (2024, p. 86).

A NBR 5422 de 2024 traz um maior detalhamento de como deve ser tratada a limpeza da faixa, do entorno dos suportes e dos acessos atravessados pela linha. Os suportes devem ter dimensões de roço de quatro metros a partir da projeção das fases laterais. Também deve ser feito um aceiro no entorno das áreas de fundações de 4x4 metros. Torres estaiadas podem ter roço ao longo da projeção horizontal de no mínimo 2 metros. Neste caso, o aceiro é de 4x4 metros.

Figura 47 - Áreas de manejo mínimas



Fonte: ABNT (2024, p. 87).

Áreas de Preservação Permanente estão sujeitas a corte seletivo quando houver riscos operacionais. A abertura de clareiras em APPs deve se restringir ao mínimo necessário e sempre obedecendo a legislação dos órgãos ambientais responsáveis.

Culturas poderão permanecer na faixa de passagem desde que suas alturas máximas não ultrapassem a distância mínima do cabo-solo, e que não tenham possibilidade de haver queimadas, intencionais ou não. Não pode haver cultivo de cana-de-açúcar.

A limpeza de estradas de acessos deve ter menor impacto ambiental possível e de preferência implantada sobre a Zona B. A implementação de acessos deve ser realizada de maneira a impedir processo erosivo no local.

- 1985: Tratava da limpeza de forma pontual, com foco na retirada de vegetação.
- 2024: Define com muito mais rigor:
 - Roço obrigatório de 4 metros ao redor da projeção das fases laterais;

- Aceiros de 4x4 metros ao redor das fundações;
- Tratamento específico para torres estaiadas;
- Estudo prévio obrigatório para identificar riscos operacionais;
- Permissão de supressão superficial em APPs com risco comprovado;
- Culturas permitidas somente se não ultrapassem a distância cabo-solo e sem risco de queimadas (proibido cultivo de cana-de-açúcar).

V. RESULTADOS

A. Parâmetros Meteorológicos e Correções

Neste ponto são estabelecidos quadros comparativos com resumos das principais diferenças observadas entre as edições da norma, em que se pode verificar os pontos que inovaram e acrescentaram positivamente ajustes e formas de se obter parâmetros para desenvolvimento dos projetos. A seguir verifica-se o quadro comparativo dos aspectos climáticos sintetizando pontos levantados mais significativos sobre a atualização.

Um dos pontos mais relevantes diz respeito ao fato do primeiro texto tratar das condições climáticas de forma pré-estabelecida com os mapas com parâmetros regionais. O que prejudica a fidelidade do projeto ao ambiente onde será instalada a linha, haja vista por exemplo a dissertação de Elvys Dias Reis, sobre critérios de projeto de estruturas de linhas aéreas de transmissão em Minas Gerais, trata da análise e proposição de critérios técnicos e normativos aplicáveis ao dimensionamento de estruturas utilizadas examinando aspectos como ações do vento, esforços mecânicos e condições regionais específicas, com base em normas nacionais e internacionais, propondo ajustes que garantam maior segurança, desempenho estrutural e adequação às particularidades climáticas e geográficas locais [23].

Tabela 13 - Quadro comparativo das Condições Climáticas consideradas nas duas normas

Condições Climáticas	NBR 5422:1985	NBR 5422:2024
Fonte dos dados meteorológicos	Determinação através de mapas climáticos, com dados fixos de temperatura e vento.	Não fornece mais os dados diretamente, orienta o tratamento estatístico dos dados meteorológicos.
Temperatura	Eram adotados valores determinados, sem tratamento estatístico.	Utiliza o conceito de risco térmico, com base em séries horárias de dados meteorológicos.

Velocidade do vento	Calculada a partir da velocidade básica e ajustada por: - Rugosidade do terreno (K_r) - Período de retorno (α, β de Gumbel) - Período de integração (K_d) - Altura (H) e categoria de terreno (n)	Obtida por análise estatística de: - Séries horárias, usadas para cálculo da temperatura do condutor - Séries de máximos anuais, usadas para esforços. Usa a distribuição de Gumbel para obter a velocidade de referência (VR) com tempo de retorno T .
Tratamento dos dados	Aplicava fórmulas de correção direta baseadas nos mapas da norma.	Requer tratamento estatístico prévio dos dados climáticos, com possibilidade de ajustes semelhantes à versão.
Novos parâmetros meteorológicos	Pouco detalhado.	A norma atual traz maior foco em variáveis do ar, como: - Densidade relativa - Umidade absoluta - Massa específica do ar - Com suas médias e desvios-padrão aplicáveis em cálculos elétricos e mecânicos.

Fonte: o próprio Autor, 2025.

B. Cálculo da Temperatura do Condutor em Regime Permanente

Sobre a especificação de condutores, com a versão de 2024 também se observou o tratamento particular das condições dos condutores para levantar riscos térmicos mais prováveis. No estudo de projeto de linhas de transmissão trifásicas aéreas com ênfase nos cálculos elétricos, elaborado por Leonardo Luiz Peres e Rafael Kalucz, verifica-se os principais fundamentos e etapas envolvidas no dimensionamento elétrico de linhas de transmissão, que abordam elementos essenciais como resistências, perdas elétricas e desempenho da linha em regime permanente, para oferecer uma visão clara e aplicada dos critérios que orientam o projeto dessas infraestruturas [22]. Nesse caso são tratados principalmente fatores que conferem riscos da perda de fases, como a temperatura de risco que pode gerar interrupção de corrente, a temperatura do condutor é obtida com base no risco térmico, derivado de análise estatística de séries horárias meteorológicas, também trata do conceito de balanço de condutores, permitindo uma avaliação mais realista dos deslocamentos, sobretensões conforme o tipo de obstáculo.

Tabela 14 - Quadro comparativo das Temperatura do Condutor consideradas nas duas normas

Temperatura do Condutor	Versão de 1985	Versão de 2024
Temperatura considerada	Adotava valores fixos de temperatura ambiente e do condutor, sem relação direta com condições reais de operação.	A temperatura do condutor é obtida com base no risco térmico, derivado de análise estatística de séries horárias meteorológicas.
Balanço dos cabos	Considerava balanço simétrico e conservador, sem tratar efeitos de oscilação dinâmica específica.	Introduz o conceito de balanço assíncrono, especialmente relevante em linhas compactas, permitindo uma avaliação mais realista dos deslocamentos.
Distância vertical	Calculada com base em tabelas e fórmulas fixas, associadas a poucos cenários operacionais.	Considera múltiplos fatores: - Temperatura real do condutor - Regime de operação - Sobretensões e fatores de gap conforme o tipo de obstáculo.
Distância horizontal	Baseada apenas no balanço estimado convencional.	Considera o ângulo de balanço do cabo, incluindo movimentos assíncronos que afetam a distância a obstáculos laterais.
Fatores elétricos adicionais	Não havia integração direta com o comportamento elétrico da linha (sobretensão, arco, etc.).	Integra fatores elétricos como regimes de tensão, sobretensões e parâmetros de gap na definição de distâncias mínimas.
Flexibilidade e adaptação	Critérios fixos, pouco adaptáveis a variações climáticas e topográficas.	Critérios ajustáveis a diferentes zonas climáticas, tipos de obstáculos e condições operacionais reais.

Fonte: o próprio Autor, 2025.

C. Projetos de Travessias

As especificações de travessia integram o projeto executivo da linha de transmissão e são fundamentais para detalhar a instalação e o cruzamento da linha sobre obstáculos específicos, como rodovias, ferrovias, cursos d'água ou áreas de preservação ambiental. Esse tipo de travessia exige atenção especial, pois envolve interferências com outras infra

estruturas e órgãos reguladores, sendo necessária a aprovação de entidades como o DNIT, a ANTT ou órgãos ambientais.

Além disso, esse tema está diretamente relacionado à distribuição das torres ao longo da linha, definida a partir do perfil topográfico da faixa de servidão. A posição de cada estrutura considera variáveis como a topografia local, a altura das torres, as distâncias mínimas de segurança e a flecha máxima dos condutores. O projeto pode ser elaborado por meio de métodos manuais ou computacionais, sempre com o objetivo de otimizar o posicionamento das estruturas, reduzindo os custos com fundações e materiais.

Dessa forma, o planejamento adequado das travessias pode influenciar diretamente a definição do traçado e da implantação da linha. Na versão mais recente da NBR 5422, alguns critérios de projeto relacionados às travessias foram atualizados, o que possibilita uma comparação técnica conforme demonstrado na Tabela 15.

Tabela 15 - Quadro comparativo do projeto de Travessia consideradas nas duas normas

Travessia	NBR 5422:1985	NBR 5422:2024
Cobertura das travessias	Mencionava travessias sobre águas navegáveis, rodovias, ferrovias, edificações, etc., mas com critérios mais genéricos.	Mantém as travessias anteriores, mas com diretrizes mais detalhadas e específicas para diferentes tipos de obstáculos.
Critério para águas navegáveis	A altura mínima do condutor deveria considerar o maior mastro e a maior cheia dos últimos 10 anos, segundo a autoridade de navegação.	Mantém esse critério, mas reforça a necessidade de consulta formal à autoridade competente e exige considerar cenários estatísticos de cheias, se disponíveis.
Referência de altura do obstáculo	Apenas o maior mastro era considerado como referência.	A norma de 2024 incorpora outros parâmetros, como a categoria de embarcação, o tipo de navegação e a altura crítica determinada por órgão regulador.
Vento nas travessias	Não tratava com profundidade o impacto do vento.	Considera ação do vento com base em séries históricas e cálculos com risco estatístico (período de retorno, integração de 30 s), sobretudo em vão de travessias longas.

Sobretensões e coordenação de isolamento	Não abordava diretamente.	Exige verificação da coordenação de isolamento nas travessias, especialmente próximas a outras instalações.
Normas internacionais	Seguimento geral de práticas técnicas brasileiras.	A versão atual alinha-se com normas internacionais (como IEC 60826) e incorpora práticas modernas, como análise de risco e modelagem numérica.
Precisão dos critérios	Fórmulas fixas e parâmetros determinísticos.	Parâmetros são estatísticos, regionais e flexíveis, aumentando a confiabilidade e adequação ao ambiente local.

Fonte: o próprio Autor, 2025.

Outros aspectos também se destacam como avanços relevantes na nova versão da norma, como a exigência de maior detalhamento nos projetos de fundações das torres, nos suportes estruturais e em critérios mecânicos de avaliação de risco de curto-circuito, entre outros. Neste trabalho, optou-se por focar na discussão de fatores relacionados ao risco elétrico, dada sua importância técnica e normativa no desenvolvimento de projetos de linhas de transmissão.

VI. CONCLUSÃO

As atualizações da NBR 5422 trazem justificativas técnicas plausíveis, especialmente pela necessidade de adequação às condições meteorológicas reais das regiões onde as linhas são implantadas. O uso de dados estatísticos locais, como séries horárias de vento e temperatura, permite que os projetos reflitam com maior precisão os riscos associados ao clima, resultando em maior robustez e segurança estrutural. O novo conceito de risco térmico adotado no cálculo da temperatura dos condutores representa um avanço significativo, substituindo os antigos critérios fixos por métodos baseados em medições reais, o que evita subdimensionamentos e falhas térmicas.

A incorporação de séries estatísticas mais longas e representativas também reduz a incerteza no dimensionamento, já que os valores extremos passam a ser estimados com métodos probabilísticos mais refinados. A inclusão de parâmetros como rugosidade do terreno, período de integração e altitude amplia o controle sobre os esforços ambientais, permitindo que projetos localizados em áreas urbanas, rurais, serranas e litorâneas possam ser calculados de

forma diferenciada e tecnicamente fundamentada. Esses avanços aproximam os procedimentos da norma da realidade climática brasileira, cuja diversidade regional exige critérios flexíveis, porém cientificamente robustos.

Além disso, os critérios atualizados para o dimensionamento de condutores e estruturas consideram variações regionais de vento com fatores de turbulência diferenciados por região do país, o que torna os projetos mais adequados ao contexto brasileiro e contribui para maior durabilidade e estabilidade das instalações. No aspecto ambiental, o uso racional de materiais, a redução de falhas e o melhor planejamento das travessias minimizam intervenções corretivas e impactos sobre o meio ambiente.

A modernização introduzida pela norma também aprimora a modelagem eletromecânica do comportamento dos cabos, incorporando critérios para flechas máximas e mínimas com maior rigor matemático, bem como limites para estados excepcionais de carregamento. Ao considerar não apenas a condição permanente, mas também contingências de operação, a norma fortalece a capacidade de resiliência das linhas, reduzindo riscos de desligamentos e colapsos estruturais diante de eventos extremos. Esse enfoque preventivo eleva a confiabilidade do sistema e reduz custos de manutenção corretiva.

As novas definições para distâncias de segurança, tanto verticais quanto horizontais, passaram a considerar aspectos como sobretensões, balanço assíncrono e coordenação de isolamento, aumentando a proteção de pessoas, estruturas próximas e do próprio sistema elétrico. Por fim, os critérios utilizados para projetos de travessia, como sobre corpos d'água e rodovias, incorporam elementos como nível da maior cheia histórica e altura máxima de mastros autorizados, elevando os padrões de segurança e de compatibilidade com outras infraestruturas. Esses aprimoramentos refletem uma evolução alinhada com práticas internacionais e necessidades específicas do sistema elétrico brasileiro.

A ampliação metodológica em áreas como interferência eletromagnética, avaliação de riscos ambientais, determinação de faixas de servidão e requisitos cartográficos demonstra que a versão 2024 busca não apenas corrigir lacunas da versão anterior, mas integrar a norma a um contexto moderno de engenharia, onde se exige compatibilidade com demandas ambientais, regulatórias e sociais. A introdução de critérios mais detalhados para análise de travessias sobre tubulações metálicas, ferrovias e redes de telecomunicação reforça a exigência de compatibilidade eletromagnética e de proteção cruzada entre infraestruturas essenciais.

A convergência da norma com diretrizes internacionais não implica mera importação de práticas estrangeiras; ao contrário, o texto incorpora estudos e medições realizadas no território brasileiro, conciliando a experiência nacional com padrões globalmente aceitos. Assim, a NBR 5422:2024 se posiciona como documento contemporâneo, equilibrando exigências técnicas, segurança operacional e sustentabilidade, ao mesmo tempo em que oferece um arcabouço mais completo para o

desenvolvimento de projetos eletromecânicos de linhas aéreas de transmissão.

REFERÊNCIAS

- [1] *AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). Regras dos Serviços de Transmissão de Energia Elétrica: Módulo 4 – Acesso ao Sistema de Transmissão. Brasília, DF: ANEEL, [2022]. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br>. Acesso em: 10 Mar. 2025.*
- [2] *ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. História da normalização brasileira. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 112 p. ISBN 978-85-07-02528-3.*
- [3] *SANTOS, Márcia Oliveira; MORAES, Cláudia Regina Cabral. A importância da normalização técnica na engenharia: um estudo sobre as normas ABNT e seu papel na padronização de processos. Revista Engenharia em Foco, v. 8, n. 1, p. 1–10, 2019. Disponível em: [link do periódico, se houver]. Acesso em: 16 out. 2025.*
- [4] *NUNES, João Paulo; PIOTROVSKI, Murillo Caporal; BAZZO, Walter Antonio; PEREIRA, Luiz Teixeira do Vale. Educação tecnológica, normalização e sociedade. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, 2003.*
- [5] *ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Ato 3 – Linhas de Transmissão – CEPEL Carlos Kleber. Disponível em: <https://abrate.org.br/wp-content/uploads/2023/09/Ato-3-Linhas-de-Tranmissao-CEPEL-Carlos-Kleber.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2025.*
- [6] *ABRACOPEL. As normas técnicas. [S.l.]: Abracopel, [s.d.]. Disponível em: <https://abracopel.org/download/as-normas-tecnicas/>. Acesso em: 29 maio 2025.*
- [7] *ABRACOPEL. Por que existem normas técnicas? [S.l.]: Abracopel, [s.d.]. Disponível em: <https://abracopel.org/download/por-que-existem-normas-tecnicas/>. Acesso em: 29 maio 2025.*
- [8] *CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. Cepel coordena a atualização da principal norma técnica do segmento de transmissão no país. 2024. Disponível em: <https://www.cepel.br/2024/02/26/cepel-coordena-atualizacao-da-principal-norma-tecnica-do-segmen-to-transmissao-no-pais>. Acesso em: 7 jan. 2025.*
- [9] *COSTA, J. F.; SOUZA, V. C. Implantação de Linhas de Transmissão. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10022649.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2025.*
- [10] *FERRAZ, J. C.; SILVA, R. A. Roteiro e Estudo de Caso para a Elaboração de Projeto Eletromecânico de Linhas de Transmissão de Alta e Extra Alta Tensão. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/46121>. Acesso em: 7 jan. 2025.*
- [11] *GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo (Orgs.). Métodos de pesquisa. Porto Alegre: UFRGS, 2009. Disponível online: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/52806>*
- [12] *GOMES, P. R.; ALMEIDA, T. S. Estudo de Projeto de Linha de Transmissão. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2023. Disponível em: <https://www.eletrica.ufpr.br/p/arquivostccs/335.pdf>. Acesso em: 7 jan. 2025.*
- [13] *IEEE. IEEE Guide for Overhead AC Transmission Line Design. IEEE Std 1863™-2019. New York: IEEE Standards Association, 2020. ISBN 978-1-5044-6319-5 (PDF).*

- [14] IEEE. *IEEE Guide for the Parameter Measurement of AC Transmission Lines*. IEEE Std 1870™-2019. New York: IEEE Standards Association, 2019. v. 19, p. 203-217, jul./dez. 2016. ISSN 1980-055X (impresso); 2237-8642 (eletrônico).
- [15] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60826: *Design criteria of overhead transmission lines*. 3rd ed. Geneva: IEC, 2017. 270 p.
- [16] LABEGALINI, Paulo Roberto; LABEGALINI, José Ayrton; FUCHS, Rubens Dario; ALMEIDA, Márcio Tadeu de. *Projetos mecânicos das linhas aéreas de transmissão*. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1992. LIPKA, Paula A. et al. *Constructing transmission line current constraints for the IEEE and Polish systems*. *Energy Systems*, Berlin, v. 8, p. 199-216, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12667-016-0194-8>.
- [17] LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. *Fundamentos de metodologia científica*. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- [18] MENDES, R. F.; LIMA, G. A. *Projeto Eletromecânico de Linhas Aéreas de Transmissão*. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2023. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/bitstreams/535c872d-557c-4162-8b40-c7efabe3ff13/download>. Acesso em: 7 jan. 2025.
- [19] O SETOR ELÉTRICO. *Revisão da norma NBR 5422: uma jornada de 39 anos*. 2024. Disponível em: <https://www.osetoreletrico.com.br/revisao-da-norma-nbr-5422-uma-jornada-de-39-anos>. Acesso em: 7 jan. 2025.
- [20] OLIVEIRA, A. B.; SILVA, M. T. *Conhecimentos Mínimos Necessários para Elaboração de Projeto Mecânico de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia: Uma Abordagem Abrangente*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/257680>. Acesso em: 7 jan. 2025.
- [21] PEREIRA, S. C.; OLIVEIRA, J. M. *Projeto de Fundações de Linhas de Transmissão Baseado em Metodologias de Cálculo de Capacidade de Carga à Tração*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/PASA-8MUGBV>. Acesso em: 7 jan. 2025.
- [22] PERES, Leonardo Luiz; KALUCZ, Rafael. *Estudo de projeto de linhas de transmissão trifásicas aéreas com ênfase nos cálculos elétricos*. Curitiba, 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Elétrica. Orientador: Clodomiro Unsihuay Vila.
- [23] REIS, Elvys Dias. *Critérios de projeto de estruturas de linhas aéreas de transmissão em Minas Gerais*. 2020. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020. Orientador: Hermes Carvalho. Coorientador: João Antônio de Vasconcelos.
- [24] NETO, Athanasio Mpalantinos. *A nova norma NBR 5422 – principais avanços e mudanças*. 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/360867174_A_nova_norma_NBR_5422_-_Projeto_de_linhas_aereas_de_transmissao_de_energi_a_eletrica_-_principais_avancos_e_mudancas. Acesso em: 7 jan. 2025.
- [25] SANTOS, M. A.; PEREIRA, L. F. *Projeto de Linhas de Transmissão: Aspectos Conceituais, Leilões e Regulação*. Niterói: Universidade Federal Fluminense, 2023. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/25955>. Acesso em: 7 jan. 2025.
- [26] COTTA, Higor Henrique Aranda; CORREA, Wesley de Souza Campos; ALBUQUERQUE, Taciana Toledo de Almeida. *Aplicação da distribuição de Gumbel para valores extremos de precipitação no município de Vitória-ES*. *Revista Brasileira de Climatologia*, ano 12,