



GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT

A NOVA NORMA NBR 5422 - PROJETO DE LINHAS AÉREAS DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - PRINCIPAIS AVANÇOS E MUDANÇAS

ATHANASIO MPALANTINOS NETO(1); CARLOS KLEBER DA COSTA ARRUDA(1); JOÃO CLAVIO SALARI FILHO(1); JULIAN LUIZ REIS(2); CLAUDIONOR KOSMANN(3); CARLOS RUY NUNEZ BARBOSA(1); ARTHUR LINHARES ESTEVES DOS REIS(1); JOÃO DANIEL DE ANDRADE CASCALHO(4); JOÃO IGNÁCIO DA SILVA FILHO(5); PAULO CÉSAR DE OLIVEIRA TEIXEIRA(6); AFONSO DE OLIVEIRA E SILVA(4)

CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELETRICA CEPEL(1); CGT ELETROSUL(2); KOSMANN ENGENHARIA(3); CONSULTOR(4); JISF1 ENGENHARIA E CONSULTORIA(5); ISA CTEEP(6)

RESUMO

A NBR 5422 é a principal referência para o projeto eletromecânico de linhas aéreas no Brasil, com última revisão datada de 1985. Este trabalho resume os principais pontos revisados nestes 37 anos, incorporando o estado da arte, novas leis, regulações e recomendações, além de boas práticas decorrentes de avanços tecnológicos e aspectos construtivos. Alguns destaques são o tratamento de parâmetros climáticos, distâncias de segurança, balanço de condutores, ampacidade, ação do vento, isolamento, campos eletromagnéticos, faixa de passagem e meio ambiente; alinhando-se assim às principais normas internacionais vigentes no setor.

PALAVRAS-CHAVE

Norma, Linha de transmissão, Projetos, Boas práticas.

1 INTRODUÇÃO

A atual norma NBR 5422 foi publicada em 1985, e sendo a principal referência para o projeto de linhas de transmissão (LTs), já foi considerada para revisão no ano seguinte. Desde então os trabalhos foram suspensos e retomados, por diversos motivos, havendo durante este período a participação de novos profissionais e coordenadores.

Em 2017 os trabalhos foram retomados sob a coordenação do Eng. Athanasio Mpalantinos do CEPEL. O trabalho a ser publicado inclui uma série de modificações, seja pela inclusão de novos capítulos ou por abordagens mais atualizadas.

Esta revisão se emparelha com outras normas internacionais, tais como a IEC 60826 [1] e EN 50341 [2], incorporando o estado da arte, novas tecnologias e demandas nos aspectos técnico-econômicos, mas mantendo as particularidades do Setor Elétrico Brasileiro. Ainda assim, muitos aspectos não foram abordados na versão final, seja por falta de consenso, ou por necessidade de maiores comprovações científicas.

Na data de publicação deste artigo, o texto da norma encontra-se em revisão final, a ser submetida para consulta pública. Os autores fizeram o melhor esforço possível de apresentar os principais avanços, mas não há garantia que aspectos específicos possam ser alterados no texto final.

2 PRINCIPAIS ALTERAÇÕES

2.1 Dados meteorológicos

Estão definidos os procedimentos obter os parâmetros climáticos, considerando medições em estações meteorológicas ou, na sua falta, dados obtidos através de simulações numéricas. Os dados meteorológicos utilizados no projeto da LT são: velocidade e direção do vento, temperatura e umidade do ar, radiação solar e condição de tempo presente (com ou sem chuva).

Para calcular o isolamento em ar considerando as tensões de frequência fundamental, impulso de frente lenta e impulso de frente rápida, foram incluídas fórmulas matemáticas para calcular a densidade relativa do ar (DRA) e os

fatores de correção atmosférico (FCA). No cálculo do FCA são considerados fatores e expoentes que consideram a DRA, a umidade do ar e a condição de tempo presente (com e sem chuva).

A ampacidade da LT e a temperatura dos cabos condutores passam a ser calculadas por metodologias estatísticas onde são consideradas medições horárias e simultâneas, por um período mínimo de 3 anos, da velocidade e direção do vento, da temperatura do ar e da radiação solar. Na metodologia estatística são observados os riscos térmicos e de falha, levando em conta as condições em que o conjunto de variáveis ambientais é desfavorável ao carregamento elétrico.

No cálculo mecânico, a ação do vento considera velocidades com período de integração da média de 10 minutos e de 3 segundos, oriundas de séries de velocidades máximas anuais de 10 minutos, medidas por um período mínimo de 10 anos. A estimativa da velocidade máxima anual do vento de 10 minutos para um dado período de retorno é calculada pela metodologia estatística de valores máximos de Gumbel. Os fatores de correção da velocidade do vento no que diz respeito a rugosidade do terreno e a altura permanecem os mesmos da norma em vigor.

Para adequar as velocidades máximas anuais de 10 minutos às características climáticas dos dados de 10 minutos medidos no Brasil, considera-se, com base na prática atual, fatores de majoração aplicados aos dados medidos nas estações meteorológicas. Esses fatores estão definidos por região geopolítica e são: sul 1,08, sudeste e centro-oeste 1,12 e norte e nordeste 1,16. A velocidade máxima anual de 3 segundos, usada para calcular os esforços mecânicos causados por ventos de alta intensidade, é obtida multiplicando a velocidade máxima anual com o seu respectivo período de retorno pelos seguintes fatores definidos por região geopolítica: sul 1,48, sudeste e centro-oeste 1,61 e norte e nordeste 1,72.

Para calcular o ângulo de balanço ainda está em discussão a metodologia de cálculo a ser recomendada. Porém, nas metodologias a velocidade do vento é calculada pela estatística de valores máximos de Gumbel. O que muda é o tempo de integração da média que pode ser de 30 segundos, 1 minuto ou 10 minutos. Dependendo do tempo de integração da média serão especificados os fatores de correção tendo como base o tempo de 10 minutos.

2.2 Ação do vento

Neste capítulo são definidos os procedimentos para cálculo da ação mecânica do vento sobre os suportes, cabos e isoladores e para cálculo dos ângulos de balanço das cadeias de isoladores e cabos.

$$A = q_0 C_x G G_L S \quad (1)$$

Onde A é a força em N, q_0 é a pressão dinâmica de referência, em Pa, C_x é o coeficiente de arrasto, G é o fator combinado de vento, G_L é o fator de efetividade, considerado apenas no cálculo da força sobre cabos e S é a área efetiva, em m².

Os coeficientes de arrasto são agora definidos para diversos tipos de suportes, conforme a norma IEC 60826 [1].

Para o dimensionamento dos suportes, as cargas devidas ao vento sobre o suporte, cabos e isoladores são calculadas para os ventos de 10 minutos e de 3 segundos para projeto. Para este cálculo, a norma não define o período de retorno para a velocidade do vento.

Para o vento de 10 minutos, os fatores G e G_L são os definidos na IEC 60826 [1]. Para o vento de 3 s o fator G é considerado igual a 1 e o fator G_L está em discussão se vai ser considerado igual a 0,3, conforme é feito atualmente ou se será aumentado para 0,5, para ficar mais condizente com os estudos realizados sobre a resposta dos cabos de uma LT sob a ação de uma microexplosão.

Este procedimento tem algumas diferenças consideráveis com relação à atual NBR 5422, mas já vem sendo usado há diversos anos, ao menos nos projetos de LTs que atendem aos editais da ANEEL.

No que diz respeito ao cálculo das cargas de vento usadas para o dimensionamento das estruturas podemos destacar que a NBR 5422 define o período de integração de 2 segundos para cálculo da carga de vento sobre o suporte e de 30 segundos para o caso dos cabos, e um período de retorno mínimo de 50 anos.

2.3 Condutores

Estão sendo definidas as hipóteses de carregamento de acordo com as condições de vento e temperatura definidas.

Foi eliminada a tabela de valores limites para a carga de tração de maior duração e introduzidos os limites de H/w para condutores singelos sem proteção contra vibrações eólicas. Não são definidos valores limites do parâmetro da catenária para cabos com amortecedores nem para condutores em feixe, uma vez que, para estes casos, o desempenho dependerá, também, do sistema de amortecimento adotado.

2.4 Ângulo de balanço

A metodologia para calcular os ângulos de balanço dos cabos condutores e das cadeias de isoladores ainda está em discussão. As discussões estão sendo balizadas pelos possíveis impactos que a mudança pode causar no dimensionamento da cabeça da torre e na largura da faixa de passagem. Outra importante consideração é que os

ângulos calculados pela metodologia da atual NBR 5422 resultam em valores considerados pequenos pelos projetistas e em muitos projetos são majorados de acordo com a experiência de cada projetista, sem um critério definido.

Estão sendo estudadas 3 metodologias: da atual NBR 5422, a baseada nos testes de Hornisgrinde [3] e a da Força Tarefa do CIGRE **Erro! Fonte de referência não encontrada.** As duas primeiras são as utilizadas atualmente pelos projetistas no Brasil. As diferenças entre as metodologias dizem respeito ao tempo de integração da velocidade do vento e do “fator de efetividade do vento”. Os tempos de integração são 30 segundos, 1 minuto e 10 minutos, respectivamente, para as metodologias da atual NBR 5422, Hornisgrinde e FT CIGRE. Os fatores de efetividade do vento da atual NBR 5422 e de Hornisgrinde estão associados velocidade do vento e da FT CIGRE ao comprimento do vão. Na metodologia de Hornisgrinde são considerados dois fatores, um para as solicitações elétricas de frente lenta e outra para solicitações de frente rápida. Na FIGURA 1 estão apresentados gráficos para obtenção dos fatores; o gráfico da NBR 5422 foi modificado para considerar a velocidade de 1 minuto.

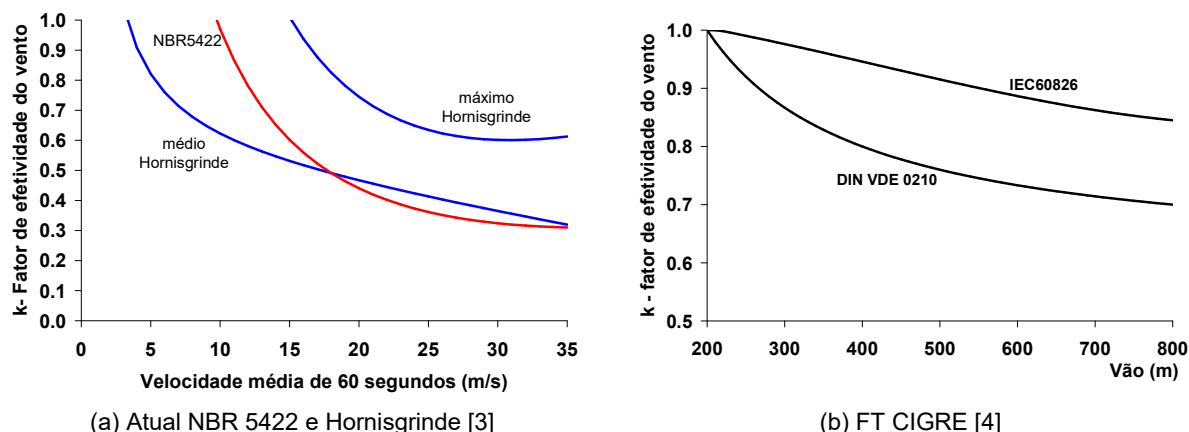


FIGURA 1 – Fatores de efetividade do vento

Para exemplificar, os ângulos calculados por cada metodologia para o condutor DOVE em um vão de 450 m, com a relação vão de peso / vão de vento igual a 0,7 e altura média do condutor igual a 20 m estão apresentados na FIGURA 2.

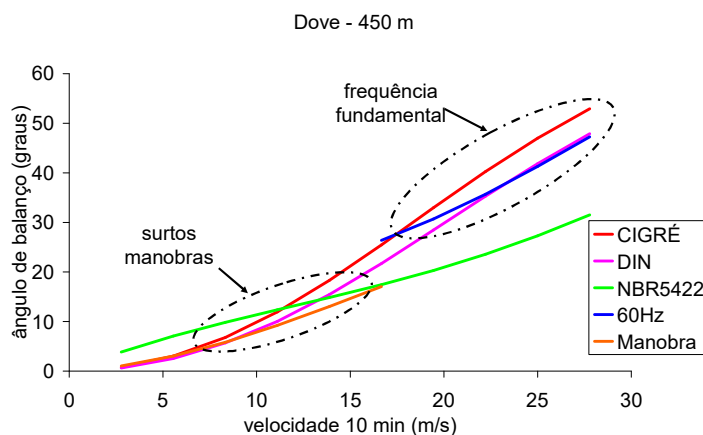


FIGURA 2 – Ângulos de balanço calculados pelas 3 metodologias

Um primeiro olhar nas figuras chama a atenção para a grande diferença entre os ângulos calculados pelas metodologias. Todavia, um olhar mais atento, ao considerar as faixas de valores de velocidades separadas por aplicação, isto é, frequência fundamental (17 a 31 m/s) e manobra (8 a 18 m/s), faixas identificadas nas figuras por elipses tracejadas, verifica-se que as diferenças não são exageradas, a menos dos ângulos calculados pela NBR 5422 para manobras. Desses resultados, faz-se os seguintes comentários:

- A metodologia da NBR 5422 aplicada para frequência fundamental apresenta ângulos bem menores que as outras metodologias, diferenças que chegam a 50%.
- A outra metodologia praticada no Brasil, baseada nos testes de Hornisgrinde (60 Hz e Manobra), apresenta diferenças entre 5 e 10% em relação aos valores do WG CIGRE [4].

Na Comissão Técnica está-se analisando projetos de LTs para definir a metodologia que melhor representa a prática atual, visto que, em termos teóricos há uma diferença entre as metodologias.

2.5 Isolamento

Um capítulo relativo ao projeto de isolamento está sendo proposto nessa revisão da norma. A justificativa para tal é que existe uma variada gama de equações de descargas disruptivas críticas (CFO – *critical flashover voltage*) obtidas através de ajuste das curvas a partir de ensaios em laboratório realizados por diversos pesquisadores. Devido a isso, percebe-se também uma grande variação de aplicação destas equações nos projetos de linhas de transmissão atuais, notadamente relativo aos cálculos ou verificações dos espaçamentos da cabeça de torre. O grupo da atual revisão da norma propõe a partir da análise das equações disponíveis na bibliografia internacional juntamente com as metodologias de coordenação de isolamento, as seguintes premissas para calcular os espaçamentos devido aos diferentes tipos de solicitações:

- Isolamento para tensões a frequência fundamental: a quantidade mínima de isoladores na cadeia é definida de acordo com a tensão máxima do sistema e os requisitos da norma NBR IEC 60815 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** O comprimento do espaçamento para tensões fase-terra e fase-fase é definido de acordo com as equações propostas pela IEC 60071-2 [5] com as devidas correções atmosféricas, de fator de espaçamento e fator de desvio aplicados;
- Isolamentos para sobretensões de frente lenta: o comprimento do espaçamento para tensões fase-terra é calculado a partir da equação de Kishizima et. al [7] associado ao método estatístico simplificado que admite um risco de falha previamente escolhido pelo projetista afim de obter um fator de coordenação estatístico a ser aplicado na equação geral em [7]. O comprimento do espaçamento para tensões fase-fase, além das considerações anteriores, faz uso do método alpha (α) e ambos os espaçamentos também são corrigidos para as condições atmosféricas, fator de espaçamento e fator de desvio;
- Isolamento para sobretensões de frente rápida: a análise aqui concentra-se na solicitação imposta à cadeia de isoladores ou condutor a qualquer parte aterrada. Além disso, optou-se por separar as solicitações de polaridade positiva e negativa, a primeira com espaçamentos calculados a partir da equação de Hileman [8] e a segunda calculados segundo equação da IEC 60071-2 [5].

Alguns critérios para verificação dos espaçamentos foram abordados no fim do capítulo. Outra observação importante foi a criação de um novo anexo para determinação dos fatores de espaçamento de acordo com a configuração da cabeça de torre e também para a obtenção do fator de coordenação estatístico (aplicado para sobretensões de frente lenta) através de ábacos desenvolvidos para tal.

2.6 Distâncias de segurança

O novo capítulo está em discussão perante o grupo, avaliando a aderência entre os projetos normalmente aplicados e a metodologia proposta. A nova metodologia para cálculo das distâncias de segurança inclui a soma de três parcelas, a saber:

- Parcela básica vertical ou horizontal, que é dependente do tipo de obstáculo e se assemelha conceitualmente às parcelas básicas existentes na NBR 5422-1985;
- Parcela de segurança, que é definida para a condição típica e limite de operação, respectivamente, sob regime permanente e em condições de emergência;
- Parcela elétrica, igual ao espaçamento necessário para suportar uma sobretensão de frente lenta, que é calculada de acordo com a equação do capítulo de coordenação de isolamento, mas para três condições denominadas típica nominal, típica sobrecorrente e limite, onde cada uma dessas está associada a um risco de falha.

A condição típica nominal se assemelha ao usado pela NBR 5422-1985, denominado de longa duração e típica sobrecorrente é similar à curta duração (ou emergência). Cada condição de operação é mais bem detalhada no capítulo sobre critérios comuns e são relativas a nova metodologia para cálculo de ampacidade (estatística a partir da análise do risco térmico).

2.7 Temperatura do condutor – Risco Térmico

A temperatura do cabo condutor para a plotar a LT é determinada pelo conceito de risco térmico. Para calcular o risco térmico é levantada a distribuição estatística da temperatura do condutor considerando medidas simultâneas, a cada hora, por um período mínimo de 3 anos da velocidade e direção do vento, temperatura do ar e radiação solar. Serão calculadas quatro temperaturas, cada uma correspondendo ao regime e condição de operação apresentados na Tabela 1.

TABELA 1 – Combinações de estados referentes à temperatura de projeto

Regime Nominal - Condição típica	Regime Nominal - Condição limite
Regime de Sobrecorrente - Condição típica	Regime de Sobrecorrente - Condição limite

As condições típicas são similares às recomendadas na versão atual da NBR 5422 – a necessidade de introdução das condições limites é justificada pelos valores elevados que as temperaturas dos condutores podem atingir, notadamente quando as variáveis ambientais apresentarem valores desfavoráveis ao carregamento.

As Figuras 3 e 4 mostram o comportamento térmico dos condutores, que assumem temperaturas acima da denominada “de projeto”. É ilustrado na figura o conceito de Risco Térmico.

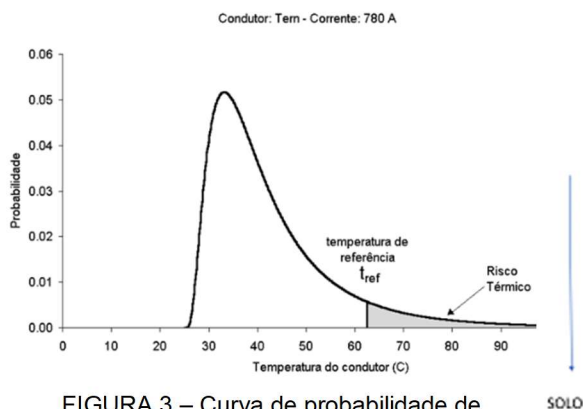


FIGURA 3 – Curva de probabilidade de temperatura

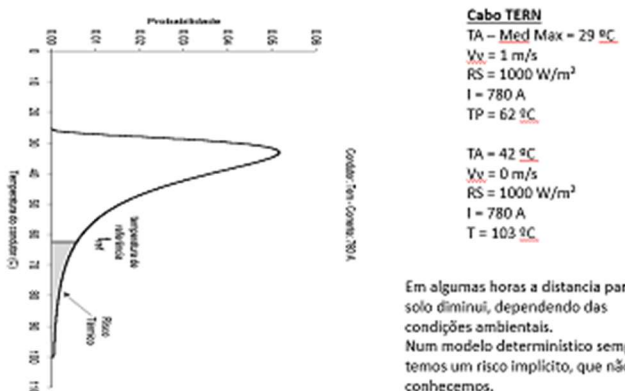


FIGURA 4 – Correlação com distância cabo-solo

As condições típica e limite são ilustradas na FIGURA 5:

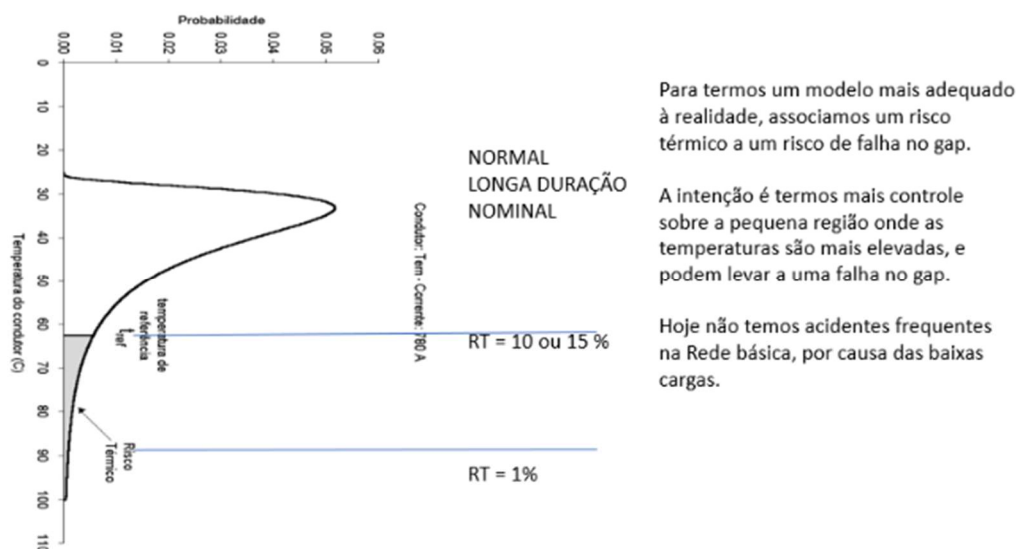


FIGURA 5 – Determinação gráfica do risco térmico

2.8 Ampacidade e distancias de segurança

As temperaturas utilizadas para plotar as torres são calculadas para os regimes nominal e de sobrecorrente, que correspondem às atuais condições normal e de emergência. Em cada regime são consideradas as condições típicas e limite, com riscos térmicos e de falha para cada condição conforme TABELA 2:

TABELA 2 – Riscos térmicos e de falha por condição

Regime	Condição típica		Condição limite	
	Risco térmico	Risco de falha	Risco térmico	Risco de falha
Nominal	15%	10 ⁻⁶	1 %	10 ⁻⁴
Sobrecorrente	5%	10 ⁻⁴	1 %	10 ⁻⁴

Essa metodologia passa a ter quatro conjuntos de plotação (temperatura e distância). O objetivo é levar em conta as condições em que o conjunto de variáveis ambientais é desfavorável ao carregamento elétrico, mantendo a segurança necessária.

As distâncias de segurança levam em conta as distribuições de sobretensões e suportabilidades conforme Kishizima [7], bem como as alturas e dimensões dos obstáculos próximos a LT.

2.9 Critérios de campo eletromagnético, efeito corona e interferências

Com relação aos campos elétricos e magnéticos em 50 Hz, 60 Hz e corrente contínua a Norma passa a abordar os limites para exposição humana, para tais campos, estabelecidos na Lei 11934/ 2009 [9] e regulamentada pela resolução normativa da ANEEL 915/ 2021 [10], em vigor, que substitui as resoluções 398, 413 e 616, anteriores.

Os valores definidos na resolução da ANEEL para exposição ocupacional, no interior e no limite da faixa, devem ser atendidos para qualquer condição operativa, a 1,5 m do solo. Para corrente contínua e exposição ocupacional, no interior da faixa o campo elétrico também deve ser atendido ao nível do solo.

Os limites definidos para exposição para todo o público, em áreas edificadas a partir do limite da faixa, devem ser atendidos para qualquer altura.

Para as demais interferências devem ser observadas as resoluções regulamentadoras da ANATEL e CONAMA e a Norma ABNT específica em vigor. Os valores limites para correntes de contato em pessoas devido à indução provocada pela linha de transmissão são os estabelecidos pela ICNIRP.

2.10 Aspectos de faixa de passagem e meio ambiente

No capítulo específico sobre Limpeza de Faixa, para fins de manejo de vegetação, a norma proposta recomenda que sejam consideradas as condições específicas de cada local, o risco operacional de desligamento por incêndio, com manejo da vegetação podendo extrapolar os limites da faixa de passagem, inclusive com disponibilização de metodologia para avaliação de áreas para intervenção.

Para fins orientativos, a proposta de norma traz ainda o resultado da análise espacial de risco de queimada por densidade de *kernel* para o ano de 2018 de modo a evidenciar a importância do tema.

Foi ainda elaborado capítulo específico que traz os critérios ambientais recomendados para as fases de planejamento, implantação, operação e manutenção da linha de transmissão, sendo por exemplo recomendado que, já na fase de projeto, seja avaliado o desempenho ambiental da linha de transmissão visando a redução de impactos ambientais e proporcionando a segurança de pessoas e instalações na faixa de passagem e no seu entorno.

A proposta de norma trouxe ainda um capítulo para a discussão de um tema recorrente associado a linhas de transmissão até então não tratado de forma explícita na norma anterior: Uso e Ocupação de Faixa de Passagem.

O capítulo proposto apresenta as recomendações gerais sobre o uso da faixa de passagem, de modo que não se verifiquem obstáculos, vegetação ou execução de atividade por terceiros e que caracterizem a permanência de pessoas e veículos, riscos a terceiros ou risco de riscos de desligamento ou de dano à linha de transmissão.

A proposta de norma traz uma lista não exaustiva de situações a serem evitadas (nas quais se vislumbram os maiores riscos), além de propor critérios de utilização segundo zoneamento (A, B e C), destacando as condições gerais a serem observadas.

2.11 Suportes

Neste capítulo são definidas as hipóteses de carregamento mínimas a serem consideradas para o dimensionamento dos suportes e os critérios para definição das cargas mecânicas de cada hipótese.

É observado que um suporte poderá ser utilizado com parâmetros diferentes dos utilizados no projeto, devendo ser verificado se as cargas resultantes são compatíveis com as árvores de carregamento e/ou com a memória de cálculo e que os novos ângulos de balanço e distâncias de segurança são compatíveis com as dimensões do suporte.

As hipóteses de carregamento são estabelecidas para os estados limites de falha, aplicáveis a todos os tipos de suportes, e de utilização, aplicáveis aos suportes sujeitos a deslocamentos ou deformações consideráveis, sob a ação de cargas permanentes e/ou ventos de baixa intensidade que possam comprometer as distâncias de segurança ou o seu aspecto visual.

Para o estado limite de falha são definidas hipóteses de carga com vento de 10 minutos e de 3 segundos para projeto, construção e manutenção e contenção de falha.

As hipóteses de carga de vento consideram ventos perpendiculares e oblíquos, com carga vertical máxima e reduzida, contemplando cargas aplicáveis a todos os tipos de suportes, cargas adicionais aplicáveis aos suportes de suspensão e ancoragem intermediária em ângulo e cargas adicionais aplicáveis aos suportes de ancoragem terminal.

As hipóteses de carregamento para o estado limite de utilização deverão considerar combinações adequadas das cargas permanentes, cargas de vento associadas ao projeto do isolamento e cargas de tração dos cabos.

2.12 Travessias

No tocante a Travessias, a nova proposta de Norma aborda de uma forma estruturada, as normas de referência atuais, requisitos gerais associados a travessia entre linhas aéreas, travessia e aproximação envolvendo rodovias, ruas e avenidas, travessias sobre ferrovias, travessia, aproximações e paralelismos com tubulações metálicas, travessia sobre águas navegáveis, travessia sobre florestas e vegetações de preservação permanente além das condições gerais para apresentação de projetos.

Com a revisão, buscou-se explicitar requisitos que antes dependiam grandemente de experiência dos projetistas e concessionárias quanto a percepção de riscos associados, nesse sentido, por exemplo, em situações envolvendo travessia, aproximações e paralelismos de tubulações metálicas, é destacada a necessidade de realização de estudos de interferência eletromagnética (acoplamentos capacitivo, magnético e resistivo); assim como em situações de travessias sobre águas navegáveis, é destacada a necessidade de que sejam considerados no projeto de travessias, nível da maior cheia ocorrida e a altura do maior mastro fixado pela autoridade responsável pela navegação na via navegável considerada.

3 CONCLUSÕES

Como mencionado, a revisão proposta incorporou diversos avanços, mas muitos aspectos não foram considerados. Espera-se que um novo ciclo de revisão se inicie logo após a publicação, esperando inclusive o feedback da sociedade de forma geral.

4 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à ABNT e a todos que contribuíram, diretamente e indiretamente, ao longo destes anos, e em particular a todos os coordenadores que estiveram a frente desta tarefa.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEC 60826: Overhead Transmission Lines – Design Criteria, ed. 4.0, 2017
- [2] EN 50341-1: Overhead Electrical Lines exceeding AC 45kV - Part 1: General Requirements- Common Specifications (EN or CLC), 2001
- [3] MORS, H. *Wind Pressure on Overhead Transmission Line Conductors – Hornisgrinde Testing Station*. CIGRE Report 220, 1956.
- [4] CIGRE WG 22.06. Probabilistic Design of Overhead Transmission Lines, Technical Brochure 178, February 2001.
- [5] ABNT IEC/TS 60815-1. Seleção e dimensionamento de isoladores para alta-tensão para uso sob condições de poluição, Parte 1: Definições, informações e princípios gerais, 2014
- [6] IEC 60071-2. Insulation co-ordination - Part 2: Application guidelines, ed. 4.0, 2018.
- [7] KISHIZIMA, I., MATSUMOTO, K., WATANABE, Y. *New Facilities for Phase-to-phase Switching Impulse Tests and Some Test Results – IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-103, N° 6, June 1984*.
- [8] HILEMAN, A.R. *Insulation Coordination for Power Systems – CRC Press Taylor & Francis Group, 1999*.
- [9] BRASIL. Lei nº 11934, de 5 de maio de 2009
- [10] ANEEL, Resolução Normativa nº 915 de 23 de fevereiro de 2021

DADOS BIOGRÁFICOS

**ATHANASIO MPALANTINOS NETO**

Graduado em Engenharia Elétrica - Sistemas Elétricos de Potência - pela Universidade Federal Fluminense (1987) e mestrado em Engenharia Civil - Modelagem Numérica - pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2005). Pesquisador do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL - desde 1987. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Transmissão de Energia Elétrica, em Medições e Modelagem Numérica de Campos Eletromagnéticos em Linhas de Transmissão, Subestações e Equipamentos e Exposição a Campos Elétricos e Magnéticos de Baixa Frequência.

(2) JOÃO DANIEL DE ANDRADE CASCALHO

Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Goiás, mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade de Brasília e Especialista em Políticas Públicas e Gestão Governamental nos Setores Energético e Mineral pela PUC-RIO. Profissional com experiência no setor de infraestrutura, sendo atualmente servidor público, lotado na Casa Civil da Presidência da República, tendo trabalhado também na Secretaria de Governo da Presidência da República, no Ministério de Minas e Energia e no Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS.

(3) CARLOS KLEBER DA COSTA ARRUDA

Formado em Engenharia Industrial Elétrica pelo CEFET-RJ (1999), mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica pela UFRJ (2003, 2012). Atualmente é pesquisador do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel). Tem experiência em pesquisa de modelos computacionais aplicados em linhas de transmissão e equipamentos, campos eletromagnéticos, aterramento, descargas atmosféricas e confiabilidade aplicada a subestações.

(4) JOÃO CLAVIO SALARI FILHO

Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense (1988), e mestrado (1993) e doutorado (2006) em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. É pesquisador do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel), com experiência na área de Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica, especialmente em: cálculo bidimensional e tridimensional de campos e transitórios eletromagnéticos; linhas de transmissão em CA/CC convencionais e não convencionais (LPNE, LNC); subestações de energia elétrica; aterramento elétrico em regime de baixa e alta frequência; análise técnico-econômica de transmissão de energia; propagação de descargas atmosféricas; e ampacidade e efeito corona em condutores.

(5) JOÃO IGNÁCIO DA SILVA FILHO

Engenheiro civil pela UFRJ e mestre pela COPPE/UFRJ. Especialização em análise e processamento de dados pela Escola Nacional de Ciências Estatísticas. Trabalhou na área de meteorologia da Diretoria de Eletrônica e Proteção ao Voo e na área de hidrologia na COPETEC-UFRJ. Trabalhou no CEPEL (1981 a 2013) e como consultor independente (desde 2014) nas áreas de otimização de LTs, banco de dados meteorológicos, efeitos do ambiente em LTs, impacto ambiental de LTs e aproveitamento eólico. Publicou técnicos no SNPTee, CIGRE, IEEE, ERLAC, ERIAC, RBE, CIER, BRACIER etc. É membro de diversos grupos de trabalhos e comissões técnicas.

(6) JULIAN LUIZ REIS

Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Regional de Blumenau (FURB), Mestre em Engenharia Elétrica na área de concentração Sistemas de Energia Elétrica com ênfase em transitórios eletromagnéticos pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Já atuou como engenheiro de projetos de subestações na Companhia de Geração e Transmissão de Energia Elétrica do Sul do Brasil (CGT Eletrosul). Atualmente, atua como engenheiro de estudos elétricos de potência na mesma empresa. Interessa-se por Linhas de Transmissão, Transitórios Eletromagnéticos, Modelagem e Campos Eletromagnéticos.

(7) CLAUDIONOR KOSMANN

Graduado em Engenharia Elétrica pela UFSC em 1974 – trabalha com projetos de LTs e LDs na empresa Kosmann Engenharia.

(8) PAULO CÉSAR DE OLIVEIRA TEIXEIRA

Profissional com mais de 30 anos de carreira como engenheiro eletricista atuando no setor de transmissão de energia elétrica, desempenhando atividades como análise e aprovação de projetos, gestão da manutenção, além de outras de natureza normativa e consultiva, com vasta experiência nas áreas de aterramento, campos elétricos, campos magnéticos, interferências eletromagnéticas, segurança em faixas de linhas de transmissão, tratamento anticorrosivo, avaliação de saúde de ativos e sua gestão, gestão da manutenção participação em fóruns de discussão normativa, regulatória de temas associados ao setor elétrico, inspeção em fábrica (nacional e internacional).

(9) CARLOS RUY NUNEZ BARBOSA

Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal Fluminense (1987) e mestrado em Engenharia Civil pela COPPE/UFRJ (2005). Atualmente é pesquisador III do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Cálculo de Campos Eletromagnéticos, atuando principalmente nos seguintes temas: campo elétrico, campo magnético aplicado a subestação, linhas de transmissão e na geração de energia.

(10) ARTHUR LINHARES ESTEVES DOS REIS

Arthur Linhares Esteves dos Reis é pesquisador do Departamento de Gestão de Ativos (DGA) do Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL), desde 2014, trabalhando na área de otimização de projetos de linhas de transmissão. Possui mestrado em Sistemas de Energia pela Coppe/UFRJ (2018) e graduação em Engenharia Elétrica pela UFJF (2014). Participou de intercâmbio pelo Ciência sem Fronteiras na Universidade de Brunel, Reino Unido (2012/13). Foi bolsista de iniciação científica, dando continuidade ao estágio na Universidade de Uppsala, Suécia (2012).

(11) AFONSO DE OLIVEIRA E SILVA

Engenheiro Civil e Eletricista, Universidade Federal de Juiz de Fora, 1965, pós-graduação em Sistemas de Potência, EFEI 1973, e COPPE UFRJ, na área de Alta Tensão, 1990. Trabalhou na CEMIG, PTEL, Light, EngeRio e Furnas na área de projeto e

estudos de linhas de transmissão. Foi professor dos cursos de engenharia elétrica da Universidade Veiga de Almeida e do CEFET-RJ.