



Ação dos Ventos Tipo *Downburst* em Torres de Linhas de Transmissão de Energia Elétrica

Luiz Fernando Marcelino Gomes¹, Michèle Schubert Pfeil², Ronaldo Carvalho Battista³

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro/ COPPE / Programa de Engenharia Civil / luiz.gomes@coc.ufri.br

² Universidade Federal do Rio de Janeiro / DES-POLI e PEC-COPPE / mpfeil@coc.ufri.br

³ Universidade Federal do Rio de Janeiro / COPPE / Programa de Engenharia Civil / battista@coc.ufri.br

Resumo

Os *downbursts* são fenômenos originados de tormentas elétricas (TS) e caracterizados por uma corrente descendente de ar que, ao se chocar com o solo, produz ventos divergentes de alta intensidade. No Brasil, os ventos extremos são produzidos por *downbursts* e por ciclones extratropicais. Entretanto, a maior parte dos códigos e normas de projeto orientados para as ações do vento nas estruturas se baseia nas características do vento de ciclones extratropicais, também conhecido por vento de camada limite atmosférica (CLA). As linhas de transmissão, por sua grande extensão horizontal, apresentam alta probabilidade de serem atingidas por fenômenos locais como *downbursts* e a carência de um modelo de cálculo previsto em norma para essas ações aumenta a incerteza sobre a margem de segurança dessas estruturas. O presente estudo compara a modelagem das forças aerodinâmicas de ventos TS e CLA e a resposta estrutural de um modelo numérico de trecho de linha de transmissão (LT). Para o vento TS adota-se um modelo analítico e uma proposta de modelo simplificado da literatura, focalizando a distribuição das forças ao longo da LT. Conclui-se, com os modelos adotados e admitido o mesmo valor de velocidade básica do vento, que a ação do vento TS é mais desfavorável do que a do vento CLA. Além disso, os resultados apontam para uma revisão nas dimensões representativas da atuação do vento TS na citada proposta da literatura.

Palavras-chave

Torres; Linha de transmissão; Vento; Downburst; Perfis de velocidade vertical.

Introdução

Os fenômenos meteorológicos associados a ventos fortes são classificados de acordo com a escala espacial e sua duração. Em geral, os ventos intensos no Brasil são produzidos por ciclones extratropicais ou por tormentas convectivas locais. Os ciclones extratropicais se enquadram na escala denominada sinótica (macro-escala) e, por isso, os ventos são chamados de sinóticos, além de serem também conhecidos como ventos de camada limite atmosférica (CLA). As tormentas convectivas pertencem à meso-escala e os ventos decorrentes são denominados não sinóticos ou também ventos TS (do inglês *thunderstorms*). Os *downbursts* e os tornados são exemplos de ventos não sinóticos. Enquanto os ventos sinóticos possuem comportamento conhecido e são previstos na maioria dos códigos e normas, as características dos ventos não-sinóticos, como os *downbursts*, ainda são objeto de estudo e debate na comunidade científica.

Os *downbursts* são correntes descendentes de ar que se chocam bruscamente com o solo, produzindo vento de alta intensidade. Sua ocorrência se dá a partir da formação de nuvens *cumulonimbus*, que podem atingir grandes alturas e baixas temperaturas. É possível ainda que os ventos não sinóticos ocorram simultaneamente a um ciclone extratropical. Fujita (1981) distinguiu os

downbursts estacionários daqueles que se transladam juntamente com as nuvens das quais se originaram.

A literatura apresenta alguns modelos empíricos, baseados em experimentos de jatos de ar sobre superfície plana, para descrever os perfis verticais e radiais da componente radial da velocidade do *downburst* estacionário, além da sua variação ao longo do tempo. Xhelaj, Burlando e Solari (2020) introduziram o conceito de combinação de 3 parcelas para compor o vetor velocidade do vento de *downburst* em translação. À velocidade do *downburst* estacionário são somadas as velocidades de transporte da nuvem que origina a corrente descendente e do vento CLA junto à superfície em que o fenômeno está imerso.

A escassez de dados de *downbursts*, devido ao seu efeito localizado, é um desafio para a elaboração de modelos de cálculo de forças aerodinâmicas destinados ao projeto de estruturas. Observa-se, na literatura, um esforço no sentido de estabelecer procedimentos visando a determinação das respostas estática e dinâmica de estruturas sob a ação de vento *downburst*. Com vistas a incorporar a ação desse tipo de vento na norma NBR-6123 (ABNT, 2023), Riera (2016) propõe um procedimento simplificado para caracterizar a velocidade do vento de projeto a partir de um valor conhecido da velocidade básica V_0 , conforme definida pela citada norma.

A Figura 1a ilustra o eixo de uma linha de transmissão (LT) na coordenada X_c e um ponto de observação P genérico posicionado ao longo deste. Considera-se que o *downburst* toca o solo no ponto O e que os vetores velocidade de transporte da nuvem e do vento de CLA estão alinhados na direção perpendicular ao eixo da LT (vetor resultante V_{tr}). No instante t , o centro da tormenta ocupa a posição C produzindo uma velocidade radial $v_r(r, t)$ no ponto P a 10 metros de altura, a qual combinada ao vetor V_{tr} resulta na velocidade V_P . A Figura 1b ilustra o gráfico em formato de sino da variação da componente na direção X da velocidade no ponto P , V_{Px} , ao longo do eixo da LT e uma aproximação trapezoidal. A figura indica que, apesar do caráter local, o vento pode mobilizar diversos vãos entre torres da LT.

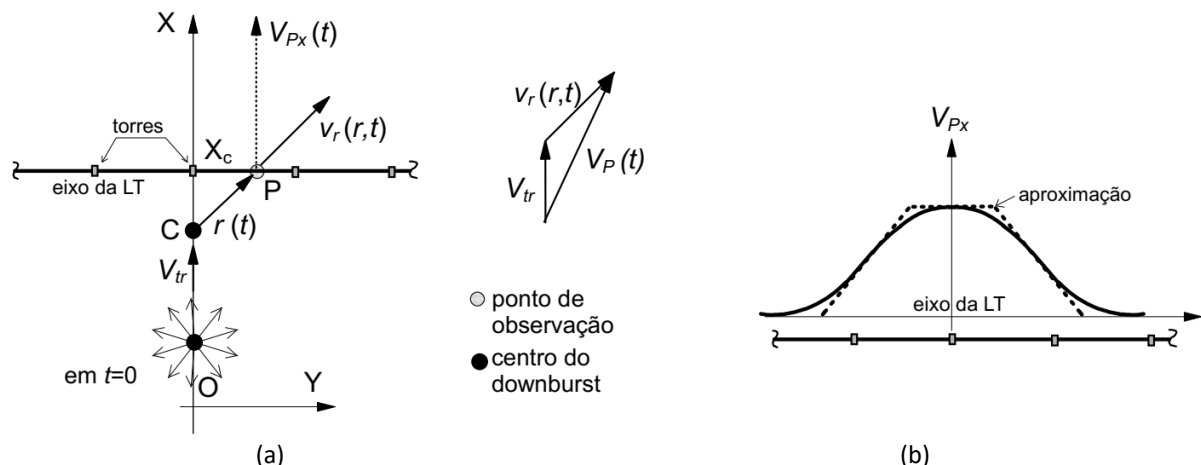


Figura 1 – (a) Componente horizontal da velocidade produzida por um downburst em translação; (b) variação de V_{Px} ao longo da LT (Pfeil et al, 2024).

Atualmente, as empresas projetistas, para simplificar o cálculo das forças aerodinâmicas sobre uma torre, adotam como largura de atuação dos ventos TS, a distância de 25% do vão de vento utilizado para ventos CLA, para cada lado da torre, conforme mostrado na Figura 2. Este procedimento é arbitrário já que as dimensões do *downburst* não estão, de forma alguma, atreladas à configuração do sistema cabo-torres.

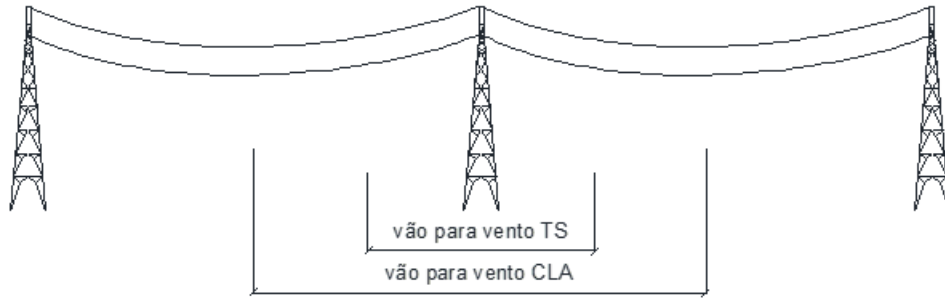


Figura 2 – Áreas de exposição consideradas pelas empresas projetistas para ventos TS e ventos CLA.

Entretanto, o estudo de Périssé (2023; Pfeil *et al.*, 2024), indica que os parâmetros de largura de atuação para *downbursts* propostos carecem de reformulação e ajustes baseados em medições reais. Ademais, o correto dimensionamento das torres depende do perfil vertical da velocidade capaz de representar o comportamento dos ventos originados por tormentas TS.

O objetivo deste trabalho é apresentar os resultados da implementação de um modelo computacional de um trecho de uma linha de transmissão (LT) submetido às ações de vento CLA e de vento TS, associados à mesma velocidade básica V_0 , permitindo a comparação entre as respostas obtidas para estes dois tipos de vento em termos de esforços solicitantes na base e identificando a dimensão de atuação do *downburst* ao longo da LT. Para a simulação do vento TS foram aplicados os modelos descritos por Xhelaj *et al.* (2020) e por Riera (2016) a um *downburst* estacionário.

Modelos de velocidade do vento CLA

A NBR 6123 (ABNT, 2023) prevê uma metodologia de cálculo para as velocidades e as forças de vento atuando em estruturas de maneira geral, entretanto, para ações de vento em torres de linhas de transmissão, a norma mais utilizada, mesmo no Brasil, é a norma internacional IEC 60826 (IEC, 2003).

As duas normas preveem procedimentos distintos para a obtenção da pressão dinâmica e consequentemente para a força de vento. A norma IEC utiliza a lei logarítmica para o perfil vertical da velocidade; já a NBR-6123 utiliza a lei de potência. Além disso, a IEC é formulada para a velocidade do vento medida em um intervalo de tempo de 10 minutos (V_{RB}), enquanto a NBR-6123 define a velocidade básica (V_0) como o valor médio em intervalo de 3 segundos.

Destaca-se ainda que a IEC aplica os fatores G_C e G_L na pressão para levar em consideração o valor de pico da velocidade do vento em conjunto com a turbulência da região e o efeito das dimensões do vão vencido pelos cabos da LT. Já a NBR-6123 aplica essas considerações através da ponderação da velocidade básica V_0 pelo fator S_2 , para a determinação da velocidade característica V_k . A Tabela 1 apresenta um quadro comparativo entre as principais expressões adotadas pelas duas metodologias.

Tabela 1 – Comparação entre metodologias de cálculo

IEC 60826	NBR 6123
$q_0 = \frac{1}{2} \cdot \tau \cdot \rho \cdot (K_R \cdot V_{RB})^2$	$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$
$F = q_0 \cdot C_{XC} \cdot G_C \cdot G_L \cdot d \cdot L \cdot \sin^2 \Omega$	$q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_k^2$
$F_a = C_a \cdot q \cdot L \cdot d \cdot \sin^2 \Omega$	$F_a = C_a \cdot q \cdot L \cdot d \cdot \sin^2 \Omega$

As expressões 2 e 5 da Tabela 1 se referem ao cálculo da força no cabo de diâmetro d e comprimento L para ação do vento com incidência de ângulo Ω em relação ao eixo do cabo. Em ambos os casos, o coeficiente de arrasto indicado (C_{XC} , na norma IEC e C_a na NBR) é igual a 1,0 para cabos de LT. Para fins de comparação entre os procedimentos das duas normas, foi feito o cálculo do produto dos termos que expressam a pressão dinâmica ($q_0 \cdot G_C \cdot G_L$ na norma IEC e q na NBR). Tomou-se como exemplo uma altura de 40 metros, terreno plano de categoria de rugosidade similar, com a mesma massa específica do ar $\rho = 1,226 \text{ kg/m}^3$, obtendo-se os valores mostrados na Tabela 2 e na Tabela 3. A velocidade do vento associada à média em 10 minutos foi tomada igual a $0,69 V_0$, conforme a NBR-6123. Conclui-se que ambas as metodologias apresentam resultados próximos, com diferença de **13%**, sendo o maior valor apresentado pela IEC. No presente trabalho foi aplicado o procedimento da NBR-6123.

Tabela 2 – Cálculo da pressão dinâmica na altura de 40 metros de acordo com a IEC 60826.

$z \text{ (m)}$	$V_{RB} \text{ (m/s)}$ (10 min)	$q_0 \text{ (N/m}^2\text{)}$	G_C	G_L	$q_0 \cdot G_C \cdot G_L \text{ (N/m}^2\text{)}$
40	27,6	467	2,34	0,92	1005

Tabela 3 - Cálculo da pressão dinâmica na altura de 40 de acordo com NBR 6123 ($S_1 = 1$).

$z \text{ (m)}$	$V_0 \text{ (m/s)}$ (3 s)	b	F_r	p	S_2	$V_k \text{ (m/s)}$	$q \text{ (N/m}^2\text{)}$
40	40	1	0,787	0,132	0,945	37,8	875

Modelo de Xhelaj *et al* (2020) para a determinação do campo de velocidades de um *downburst*

Trata-se de um modelo analítico em que a velocidade horizontal é a soma vetorial de três parcelas independentes: velocidade radial do *downburst* isolado ($\mathbf{v}_r$), velocidade de translação da tormenta ($\mathbf{v}_t$) e velocidade do vento de CLA ($\mathbf{v}_b$):

$$\mathbf{v} = \mathbf{v}_r + \mathbf{v}_t + \mathbf{v}_b \quad (6)$$

A velocidade radial v_r é dada por:

$$v_r(r, t) = V_r(r) \cdot \Pi_r(t) \quad (7)$$

sendo $\Pi_r(t)$ uma função de decaimento de intensidade do *downburst* ao longo do tempo cujos parâmetros são o intervalo de tempo da tormenta T entre o instante inicial até atingir a máxima velocidade e o tempo T_f para o qual a velocidade do vento se reduz a 10% do seu valor máximo. A função $v_r(r)$ é dada por (Holmes & Oliver, 2000):

$$V_r(r) = \begin{cases} V_{r,max} \cdot \left(\frac{r}{R_{max}}\right) & , \quad 0 \leq r \leq R_{max} \\ V_{r,max} \cdot \exp\left[-\left(\frac{r - R_{max}}{R_s}\right)^2\right] & , \quad r > R_{max} \end{cases} \quad (8)$$

em que r é a distância entre o ponto em que o *downburst* estacionário toca o solo e o ponto de observação P (ver a Figura 1a), R_{max} é o valor de r no qual a velocidade do vento é máxima, sendo tomado igual ao dobro do raio R do jato vertical da corrente descendente e R_s é um comprimento de escala tomado igual a R . No presente trabalho admitiu-se a ocorrência de um *downburst* estacionário, portanto, apenas a parcela $\mathbf{v}_r$ da Equação 6 foi aplicada.

Proposta de Riera (2016)

Riera (2016, 2018) propôs uma metodologia de cálculo em que os ventos *downbursts* são classificados em categorias conforme a sua intensidade, com o intuito de permitir a sua aplicação em normas de projeto, em especial a NBR-6123. Nessa metodologia, a velocidade do vento possui componente perpendicular a uma direção radial (V_{Px}) variando conforme a aproximação trapezoidal indicada na Figura 1b. A Tabela 4 apresenta as classificações e geometrias sugeridas por Riera (2016, 2018) para cada categoria, sendo V_0 a velocidade básica definida na NBR-6123 (a 10m de altura), as dimensões w e d ilustradas nas Figuras 3a e 3b respectivamente para *downburst* estacionário e *downburst* em translação, e Z_{max} a altura em que ocorre a velocidade máxima.

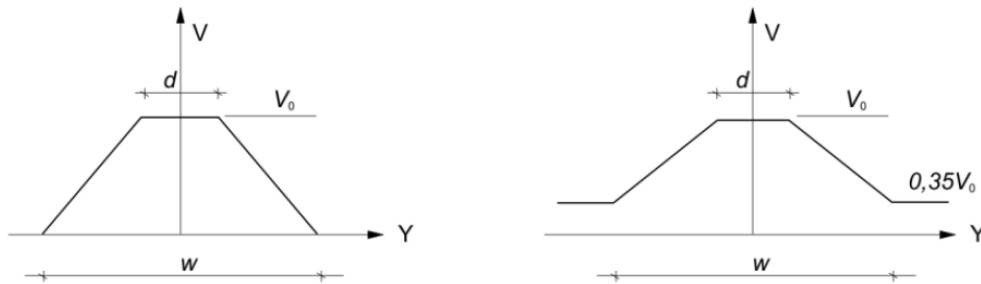


Figura 3 – (a) Variação da velocidade do vento *downburst* a 10m de altura, na direção perpendicular a uma direção radial do *downburst* estacionário e (b) na direção perpendicular à translação do *downburst*

Tabela 4 - Parâmetros das cinco categorias de *downburst* ou correntes descendentes (CD) (Riera, 2016, 2018).

Categoria	V_0 (m/s)	d (m)	w (m)	$Z_{máx}$ (m)	T (s)
CD 1	$V_0 \leq 30$	10	40	20	60
CD 2	$30 < V_0 \leq 40$	20	60	40	120
CD 3	$40 < V_0 \leq 50$	40	100	80	180
CD 4	$50 < V_0 \leq 60$	60	160	120	300
CD 5	$60 \leq V_0$	80	240	160	480

Perfil vertical da velocidade do vento

A velocidade básica V_0 prevista na NBR-6123 (ABNT, 2023) é obtida a partir de medições realizadas por anemômetros instalados a altura de 10 metros do solo. Os perfis verticais de velocidade são utilizados para obter a velocidade correspondente em outra altura z , $V(z)$.

Para ventos sinóticos, as normas de projeto utilizam a lei logarítmica ou a lei de potência, sendo esta última adotada pela NBR-6123, através da equação:

$$\frac{V(z)}{V_0} = \left(\frac{z}{10}\right)^p \quad (9)$$

Para ventos não sinóticos, ainda não há um consenso entre os pesquisadores, porém destaca-se o perfil de V_r proposto por Vicroy (1992) e, posteriormente aplicado por Savory *et al.* (2001) no estudo de torres de LT, aqui apresentado adimensionalizado em relação à velocidade a 10m de altura:

$$\frac{V_r(z)}{V_0} = 1,22 \cdot \left[e^{-0,15(z/z_{max})} - e^{-3,2175(z/z_{max})} \right] \quad (10)$$

A Figura 4 apresenta um comparativo entre os perfis verticais da velocidade das Equações 9 e 10, tomando a velocidade do vento a 10m de altura igual a V_0 . Para o vento TS admitiu-se que a

velocidade máxima ocorre à altura z_{max} de 40m. Observa-se que, nesse caso, o perfil para vento não sinótico é mais desfavorável do que o de vento CLA para estruturas até 80m (pelo menos).

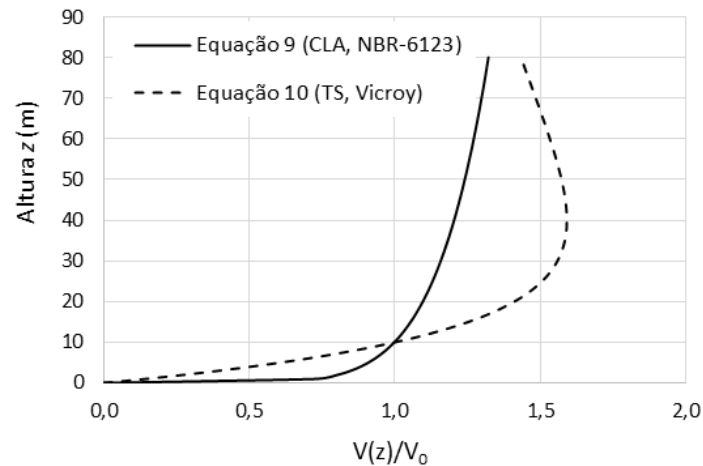


Figura 4 – Perfis verticais de velocidade para ventos sinóticos e não sinóticos normalizados em relação à velocidade básica V_0 para alturas até 80 metros.

Estudo de um trecho de linha de transmissão de energia elétrica

Para o presente trabalho, foram modeladas em um software computacional cinco torres autoportantes de suspensão alinhadas ao longo de um trecho de uma linha de transmissão sem deflexão. As torres são idênticas, possuindo a mesma geometria e materiais, entretanto, para permitir a apresentação dos resultados, as torres são denominadas como torre central (TC), intermediárias (TI) e extremas (TE), de acordo com a posição em que se encontram.

As torres são treliçadas em aço com perfis cantoneira de abas iguais, com 52,33 metros de altura e com base retangular de 9 x 12 metros sendo o eixo de maior inércia localizado na direção longitudinal à LT. Elas suportam três feixes de condutores elétricos, cada um com dois cabos, além de dois cabos para-raios em cada extremidade, abrangendo um vão de 500 metros entre cada torre.

Os cabos condutores são do tipo CAL (AAAC) de Liga 1120, com diâmetro total de 26,53 mm e peso unitário de 11,29 N/m por cabo. Os cabos para-raios são do tipo CAA (Cabo de Alma de Aço) Dotterel, com diâmetro de 15,42 mm e peso unitário de 6,45 N/m por cabo. As cadeias de isoladores possuem diâmetro de 254 mm, comprimento de 2,60 m e peso total de 5,88 kN. As torres são constituídas de dois tipos de aço: ASTM A-572 Gr. 50 para as barras em geral e ASTM A-572 Gr. 60 para as barras montantes.

As torres foram modeladas como elementos de pórtico espacial. O peso próprio da estrutura foi calculado automaticamente pelo programa com um fator multiplicador de 1,15 para representar elementos de ligação não modelados, como parafusos e chapas. Os cabos foram modelados como 100 elementos de pórtico em cada um dos vãos em formato de catenária. Para representar a continuidade da linha de transmissão nas torres de extremidade foram incorporadas ao modelo estrutural as devidas condições de contorno elásticas, cinemáticas e inerciais. A Figura 5 mostra, em detalhes, as barras da torre e dos cabos modelados como elementos de pórtico.

Carregamento e análise estrutural das torres compreendidas no trecho de LT

A estrutura foi submetida ao carregamento de peso próprio, protensão dos cabos e vento em análise estática com não linearidade geométrica. Para o vão entre torres do exemplo e a ação do vento

incidindo perpendicularmente ao eixo da LT, o amortecimento aerodinâmico dos cabos é significativamente alto, o que permite que a estrutura possa ser analisada estaticamente.

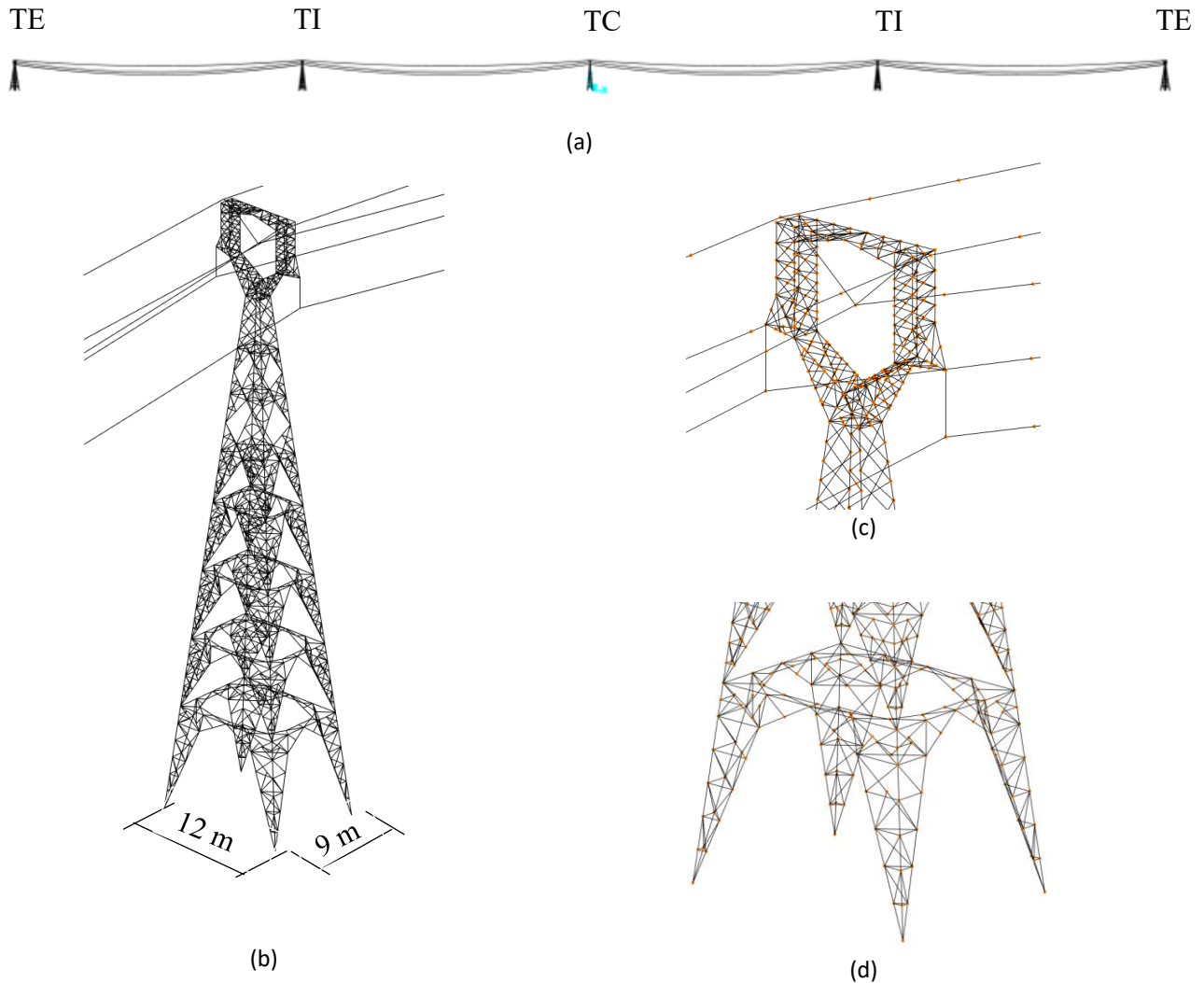


Figura 5 – (a) Vista Longitudinal do trecho da LT; (b) Vista 3D da torre típica; (c) Vista da cabeça da torre; (d) Vista da parte inferior da torre.

Para fins de cálculo das forças aerodinâmicas, os vãos entre as torres foram discretizados em faixas de 50 metros e foi adotada a altura média dos nós contidos em cada faixa para o cálculo da força na faixa, sendo distribuída entre seus respectivos nós. A Figura 6 apresenta o esquema da divisão em faixas. Adotou-se o valor de V_0 igual a 40 m/s. Em ambos os casos de vento, o cálculo da força aplicada a cada faixa de cabos foi feito com base na Equação 5.

Para os ventos sinóticos, foi adotada a metodologia prevista na NBR-6123 (ABNT, 2023). Considerou-se que o vento ocorre no cenário mais desfavorável, isto é, incide perpendicularmente ao traçado da LT.

Para o vento *downburst*, as velocidades horizontais ao longo da linha foram calculadas através do modelo analítico proposto por Xhelaj *et al.* (2020) a partir do perfil de velocidades proposto por Vicroy (1992), conforme a equação 10. Para este campo de velocidade, foi considerado que o centro da tempestade está posicionado no eixo perpendicular à LT que intercepta a torre central - conforme Figura 1a - e que o *downburst* é estacionário, ou seja, não está imerso em um vento de CLA ou vento

de transporte da nuvem. Em outras palavras, os valores de v_b e v_t da Equação 6 são iguais a zero. A distância entre o eixo da LT e o ponto de contato do *downburst* com o solo na direção X (ver a Figura 1a) foi tomada igual a R_{max} da Equação 8 e as hipóteses adotadas para a determinação de R estão descritas em Pfeil *et al.* (2024).

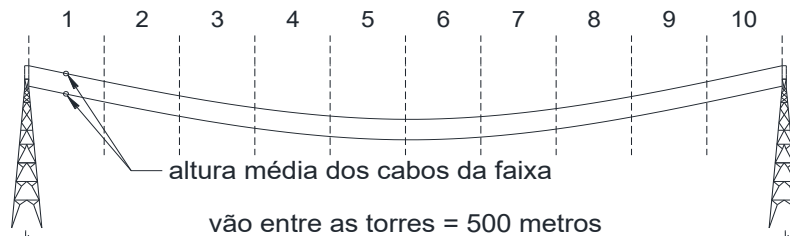


Figura 6 – Divisão do vão entre as torres em 10 faixas iguais de 50 metros.

À título de comparação, a Figura 7 apresenta os valores de carga nos nós do topo das torres ao longo do tempo para as torres central, intermediária e extrema obtidos para ventos de *downburst*. Em linhas cheias são apresentadas as curvas de força na direção transversal ao eixo da LT e em linha tracejada, as forças longitudinais. Observa-se que ao longo da LT, os valores máximos das forças ocorrem no mesmo instante de tempo para o caso de modelo de *downburst* estacionário, o que permite uma única análise estática. Por se tratar de um evento localizado e com característica axissimétrica, verifica-se que a magnitude das forças se reduz da torre central (TC) em direção às torres extremas. Nota-se também que não há forças longitudinais aplicadas na TC, ao contrário das TIs.

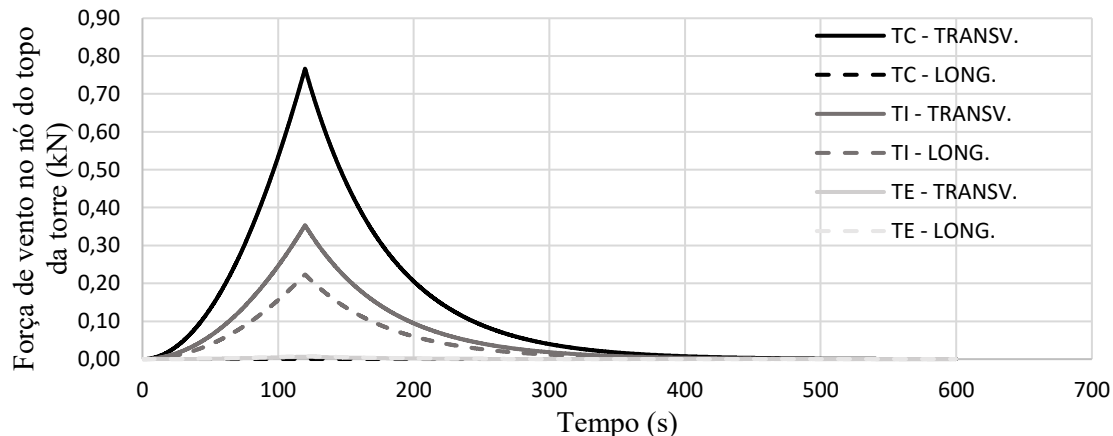


Figura 7 – Força de vento nos nós no topo das torres ao longo do tempo nas direções transversal e (transv.) e longitudinal (long.) à LT.

Distribuição da força aerodinâmica do vento *downburst* nos cabos

A Figura 8 apresenta a distribuição normalizada, ao longo do eixo da LT, dos valores máximos da componente transversal da força do vento nos cabos. Verifica-se que o vento mobiliza os dois vãos de 500 m adjacentes à torre central com valores de força por unidade de comprimento superiores a 40% da máxima. Observa-se que, para o caso analisado, a distribuição dessa força pode ser aproximadamente representada por um trapézio com as dimensões mostradas em metros. Estas dimensões não podem ser diretamente comparadas aos valores de d e w da Figura 3a e da Tabela 4 por se tratar de gráfico de força, a qual é proporcional ao quadrado da velocidade do vento. O mesmo tipo de gráfico da Figura 8 traçado para a componente transversal à LT da velocidade do vento

conduziria às dimensões d e w iguais a 580 m e 2000 m, respectivamente. Esses valores são muito superiores aos apresentados na Tabela 4, conforme já indicado em Pfeil et al. (2024).

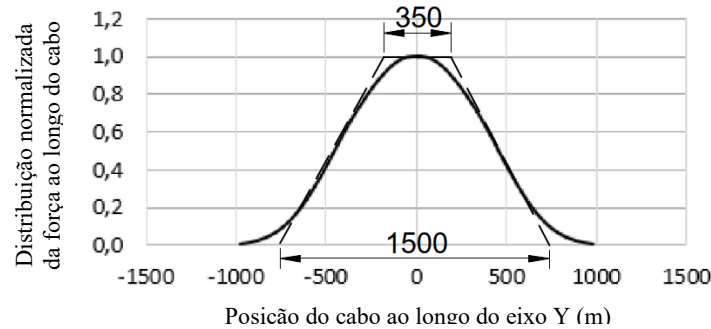


Figura 8 – Distribuição normalizada dos valores máximos da componente transversal da força nos cabos, para velocidade $V_0 = 40$ m/s.

Resultados em termos de esforços na base das torres

A Tabela 5 apresenta os esforços na base das torres central, intermediária e extrema do modelo devidos à ação dos ventos CLA e TS. O resultado é mostrado em termos de binários em torno do eixo longitudinal (ML), em torno do eixo transversal (MT), momento de torção (T) e resultantes de força do vento nas direções longitudinal e transversal à LT, FL e FT, respectivamente. Observa-se que a TC apresenta flexão em torno do eixo longitudinal, com ML devido ao vento TS cerca de 60% maior do que o devido ao vento CLA. As torres TI e TE também apresentam apenas flexão ML por ação do vento CLA. O vento TS promove flexão em torno dos eixos longitudinal e transversal à LT nas torres TI e TE, sendo que os valores dos binários na TI são bastante expressivos. A ação do vento TS se mostrou muito mais desfavorável do que a do vento CLA, para um mesmo valor de V_0 .

Tabela 5 – Resultados das reações na base da torre central.

Torre	Vento	ML (MN.m)	MT (MN.m)	T (MN.m)	FT (kN)	FL (kN)
TC	CLA	6,88	0,00	0,00	-176	0
	TS	11,17	0,00	0,10	-280	0
TI	CLA	6,86	-0,17	0,02	-176	3
	TS	6,18	-1,23	0,08	-163	-2
TE	CLA	6,53	-0,64	0,07	-169	13
	TS	0,34	0,13	0,10	-6	1

Conclusões

O presente trabalho aplicou o modelo empírico de Xhelaj *et al.* (2020) para obter o campo de velocidades horizontais à altura de 10 metros, a partir da velocidade básica V_0 , para um *downburst* estacionário classificado como CD 2 ($V_0 = 40$ m/s), conforme proposto por Riera (2016, 2018). Para a correção das velocidades ao longo da altura da estrutura, foi utilizado o perfil vertical proposto por Vicroy (1992). Os resultados obtidos foram comparados com os valores dos esforços na base das torres para um carregamento para ventos sinóticos, a partir do procedimento descrito na NBR 6123



(ABNT, 2023). Previamente à adoção deste procedimento, um estudo comparativo indicou diferença de apenas 13% nas forças aerodinâmicas nos cabos em relação à metodologia da norma IEC 60826 (IEC, 2003).

Os resultados em termos de esforços solicitantes nas bases das torres indicam que o momento de tombamento da torre central em torno do eixo longitudinal (ML) no caso de vento TS é cerca de 60% maior do que o do vento CLA. Sob a ação do vento TS, as torres intermediárias sofrem flexão em dois planos, sendo o valor de ML próximo ao do vento CLA.

Da distribuição da componente transversal à LT de força nos cabos devida ao *downburst*, verifica-se que o vento mobiliza os dois vãos de 500m adjacentes à torre central do exemplo considerado com valores de força por unidade de comprimento superiores a 40% da máxima. O resultado mostra que não condiz com a adoção de uma porcentagem de 25% dos vãos da torre para definir a largura de aplicação do valor máximo de força, como tem sido praxe pelas empresas projetistas de torres de LT. Isto é evidente, uma vez que o evento climático não se limita às condições geométricas do projeto, mas sim às características do fenômeno natural.

A diferença significativa entre a dimensão de atuação do vento TS obtida pelo modelo de Xhelaj *et al.* (2020) e a indicada por Riera (2016) em sua proposta de procedimento normativo, aponta para um expressivo aumento dos valores da citada proposta, como apresentado em Pfeil *et al.* (2024), ressaltando-se que algumas premissas adotadas na aplicação do modelo precisam ser validadas.

Referências Bibliográficas

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, ABNT - NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações – Procedimento, Rio de Janeiro, 2023.
- FUJITA, T. T. Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales. J. Atmos. Sci., 38, 1511–1524, 1981.
- HOLMES, J.D., OLIVER, S.E. An empirical model of a downburst, Engineering Structures, 22(9):1167-1172, 2000.
- INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION, IEC. IEC 60826: Design criteria of overhead transmission lines, Geneva, 2003.
- PERISSÉ, J.P.G.A. Estudo paramétrico de modelos de vento downburst aplicado a edifícios, Projeto de Graduação, Escola Politécnica/UFRJ, Rio de Janeiro, 2023.
- PFEIL, M.S., PÉRISSÉ, J.P.G.A, BATTISTA, R.C., Estudo paramétrico de modelos de vento downburst, Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, Bucaramanga, Colômbia, 2024.
- RIERA, J. D. Sobre a definição do vento para projeto estrutural na ABNT NBR 6123 (1988) e outras normas sulamericanas, Revista Sul-Americana de Engenharia Estrutural, 2016.
- RIERA, J. D. Sobre el Perfil Vertical de la Velocidad Inducida por Corrientes Descendentes, Jornadas Sudamericanas de Ingeniería Estructural, pags. 27 a 37, Lima, 2018.
- SAVORY E., PARKE G.A.R., ZEINODDINI M., TOY N., DISNEY P. Modelling of tornado and microburst-induced wind loading and failure of a lattice transmission tower, Eng Struct 23, pp. 267-375, 2001.
- VICROY, D.D. Assessment of microburst models for downdraft estimation. Journal of Aircraft, 1992.
- XHELAIJ, A., BURLANDO, M., SOLARI, G. A general-purpose analytical model for reconstructing the thunderstorm outflows of travelling downbursts immersed in ABL flows, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol. 207, 2020.