

---

# **LT 500 kV ESTREITO – FERNÃO DIAS CD**

## **PROJETO BÁSICO**

### **CAPÍTULO 5**

#### **VELOCIDADES DE VENTO E CARREGAMENTOS DEVIDOS AO VENTO**

---

## **CONTEÚDO**

- 1 INTRODUÇÃO
  - 1.1 Determinação da Velocidade de Referência para Projeto e da Ação do Vento nos Diversos Componentes
- 2 VELOCIDADES E PRESSÕES DE VENTO DE PROJETO
  - 2.1 Vento Extremo
  - 2.2 Vento Máximo
  - 2.3 Vento de Alta Intensidade
  - 2.4 Pressões de Vento Finais
- 3 VENTOS PARA CÁLCULO DO BALANÇO DAS CADEIAS E DETERMINAÇÃO DA FAIXA DE SERVIDÃO
- 4 SUMÁRIO FINAL

ANEXO 1 - Isótacas Máximas para a LT 500 kV Estreito – Fernão Dias CD

## VELOCIDADES DE VENTO E CARREGAMENTOS DEVIDO AO VENTO

### 1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentadas as velocidades de vento e as pressões associadas para a LT 500 kV Estreito – Fernão Dias CD. Os dados meteorológicos foram obtidos por meio das medições de vento disponíveis para a região onde se localizará as linhas de transmissão em pauta, conforme mostrado em [3].

#### 1.1 DETERMINAÇÃO DA VELOCIDADE DE REFERÊNCIA PARA PROJETO E DA AÇÃO DO VENTO NOS DIVERSOS COMPONENTES

##### a) Definições básicas

- Velocidade de Vento Meteorológica  $V$ .  
Velocidade do vento durante um período de 10 min, a uma altura de 10m do solo, em terreno aberto (rugosidade B).
- Velocidade de vento máxima anual  $V_m$ .  
É o valor máximo de  $V$  medido em um ano.

##### b) Determinação da velocidade de vento máximo $V_M$

$V_M$  é determinado a partir da velocidade média  $\bar{V}_m$ , das velocidades máximas anuais  $V_m$  e do desvio padrão  $\sigma_{V_m}$ , a partir da distribuição estatística dessas velocidades.

A relação  $V_M/\bar{V}_m$  depende do desvio padrão das velocidades anuais  $\sigma_{V_m}$  e do nível de confiabilidade desejado.

##### c) Determinação da velocidade de referência para projeto $V_R$

A velocidade de referência  $V_R$ , a ser adotada para o projeto, é função de  $V_M$  e do fator de rugosidade  $K_R$ .

$$V_R = K_R \cdot V_M$$

##### d) Ação Unitária do Vento

$$a = q_0 C_x G$$

sendo  $q_0$  a pressão dinâmica de referência igual  $q_0 = 1/2 \mu \cdot \tau \cdot V_R^2$  sendo:

- $\mu$  = massa volumétrica do ar (igual a 1,119, à temperatura de 10°C e à pressão atmosférica normal de 910 mbar);
- $C_x$  = Coeficiente de arrasto (ou de pressão), depende da forma do elemento em consideração (cilíndrica, plana etc);
- $G$  = Fator combinado de vento que leva em consideração a turbulência deste último;
- $\tau$  = Fator de correção da densidade do ar.

## 2 VELOCIDADES E PRESSÕES DE VENTO DE PROJETO

A determinação das velocidades de vento para o projeto foi feita através do estudo detalhado indicado em [3]. Das análises estatísticas feitas, e ainda com base nas figuras do Anexo 1 (isótacas e cortes respectivos) [3], as velocidades de vento da Tabela 1 podem ser recomendadas; todas as velocidades sendo referidas a 10 m de altura de medição, em terrenos do tipo B.

**Tabela 1 - Velocidades de Projeto para Carregamento Estrutural, Ângulos de Balanço e Coordenação de Isolamento**

Período de Retorno (anos)	Tempo de Média	Velocidades de Vento (km/h)	Velocidades de Vento (m/s)
250	10 minutos	110	30,56
250	3 segundos	170	47,22
50	10 minutos	90	25,00
50	30 segundos	120	33,33
2	30 segundos	80	22,22

Para a determinação das velocidades de vento acima adotaram-se posturas cuidadosas e conservadoras, consistentes com a importância da LT 500 kV Estreito – Fernão Dias CD, dentro do sistema em pauta. Dessa forma, tais velocidades são as mais elevadas a serem esperadas na região em apreço. Entretanto, face às incertezas inerentes aos procedimentos estatísticos, a utilização de velocidades moderadamente superiores pode ficar a critério do projetista, inclusive porque os períodos de retorno ou são os mínimos exigidos pela ANEEL, ou correspondem a práticas específicas ainda não passíveis de consenso.

Segundo a prática das empresas, normalmente, para o cálculo das cargas devidas aos ventos sobre cabos, estruturas e isoladores, a IEC60826 [1] ou a NBR-5422 [2] têm sido usadas extensivamente no Brasil. Há que se levar em conta, no entanto, que os fatores de rajada aqui verificados são mais elevados do que aqueles que a IEC sugere como representativos para uma determinação geral.

Tal fato já foi alertado por vários trabalhos do CEPEL e foi discutido amplamente no XVII SNPTEE, na apresentação de um de seus Informes Técnicos.

## 2.1 VENTO EXTREMO

Utilizando-se os dados do estudo [3], para o período de retorno de 250 anos e tempo de integração de 10 minutos, obtém-se para a velocidade de referência ( $V_{R250}$ ) o valor de 30,56 m/s (110 km/h) a 10 metros do solo. A pressão dinâmica de referência correspondente será a seguinte:

$$q_0 = 1/2 \mu \cdot V_R^2 = 1/2 * 1,119 * (30,56)^2 = 522,52 \text{ N/ m}^2 = 53,26 \text{ kgf/m}^2.$$

Com este valor serão determinados os carregamentos mecânicos nos diversos elementos para o cálculo das estruturas.

## 2.2 VENTO MÁXIMO

Utilizando-se os dados do estudo [3], para o período de retorno de 50 anos e tempo de integração de 10 minutos, obtém-se para a velocidade de referência ( $V_{R50}$ ) o valor de 25,00 m/s (90 km/h) a 10 metros do solo. A pressão dinâmica de referência correspondente será a seguinte:

$$q_0 = 1/2 \mu \cdot V_R^2 = 1/2 * 1,119 * (25,00)^2 = 349,69 \text{ N/ m}^2 = 35,65 \text{ kgf/m}^2.$$

Com este valor serão determinados os carregamentos mecânicos nos diversos elementos para o cálculo das estruturas.

## 2.3 VENTO DE ALTA INTENSIDADE

Para a LT em questão o valor da velocidade de vento de alta intensidade corresponde ao vento com tempo de integração de 3 segundos e período de retorno  $T= 250$  anos, constante com a altura, atuando integralmente sobre a estrutura e sobre 25% do vão médio. Conforme indicado em [3] o vento para período de retorno  $T = 250$  anos, 3 segundos é igual a 47,22 m/s (170 km/h). A pressão de vento atuante correspondente será a seguinte:

$$q_i = 1/2 \mu \cdot V_i^2 = 0,5 * 1,119 * (48,61)^2 = 1247,65 \text{ N/m}^2 = 127,2 \text{ kgf/m}^2$$

## 2.4 PRESSÕES DE VENTO FINAIS

### 2.4.1 PRESSÕES PARA VENTO EXTREMO

A pressão dinâmica de referência, conforme mencionado no item 2.1 é:

$$q_0 = \frac{1,119 * 30,56^2}{2} = 522,37 \text{ N / m}^2$$

**a) Condutores ( $V_{R250}$ )**

Vão básico = 550 m,  $H_m \cong 29,0$  m e  $G_L = 0,91$ ;  $G_C = 2,22$

A altura média dos condutores será, aproximadamente:

$H_c = H_{mín} + F_{máx} + df - 2/3 * F_{mín} = 13,0 + 27,3 + 4,0 - 2/3 * 23,8 = 28,4$ m  
(adotado 29,0m)

Onde:

- $H_c$ : altura média dos condutores;
- $H_{mín}$ : altura mínima cabo/solo;
- $F_{máx}$ : flecha máxima (70°C);
- $F_{mín}$ : flecha mínima (-3°C);
- $df$ : distância vertical entre fases;
- $G_L$ : fator de correção de vão [1];
- $G_C$ : fator de correção de altura [1];
- $q_0$ : pressão dinâmica de referência (N/m<sup>2</sup>)
- $C_X$ : coeficiente de arrasto para o cabo condutor.

Assim, para a altura média dos condutores (no caso 29,0 m), tem-se:

$$q_c = G_L * G_C * q_0 * C_X = 0,91 * 2,22 * 522,37 * 1 = 1055,29 \text{ N/m}^2 \text{ (107,68 kgf/m}^2\text{)}$$

**b) Pára-raios ( $V_{R250}$ )**

Vão básico = 550 m,  $H_m \cong 44,0$  m e  $G_L = 0,91$ ;  $G_{PR} = 2,39$

Como no item anterior, corrigindo-se para a altura média dos cabos pára-raios, tem-se:

$H_{pr} = H_{mín} + F_{máx} + dip - 2/3 * F_{mín} = 13,0 + 27,3 + 17,6 - 2/3 * 21,6 = 43,5$ m  
(adotado 44,0m)

Onde:

- $dip$ : distância vertical entre fase inferior e pára-raios.
- $F_{mín}$ : flecha mínima pára-raios (-3°C);

$$q_{pr} = G_L * G_{PR} * q_0 * C_X = 0,91 * 2,39 * 522,37 * 1 = 1136,10 \text{ N/m}^2 \text{ (115,92 kgf/m}^2\text{)}$$

**c) Isoladores ( $V_{R250}$ )**

Vão básico = 550 m,  $H_m \cong 47,0$  m e  $C_{xi} = 1,20$ ;  $G_t = 2,53$

$H_m = H_{mín} + F_{máx} + df + L_{cad}/2 = 13,0 + 27,3 + 4,0 + 4,90/2 = 46,75$  m  
(adotado 47,0m)

Onde:

-  $L_{cad}$ : comprimento da cadeia de isoladores (m).

$$q_i = G_t * q_0 * C_{Xi} = 2,53 * 522,37 * 1,2 = 1585,92 \text{ N/m}^2 = 161,66 \text{ kgf/m}^2$$

Onde:

-  $G_t$ : fator combinado de vento [1];  
-  $C_{Xi}$ : coeficiente de arrasto para o isolador.

#### d) Estrutura ( $V_{R250}$ )

$$q = G_{t10m} * q_0 * (H/10)^{0,16} = 1,94 * 522,37 * (H/10)^{0,16} \text{ N/m}^2$$

$$q = 1013,40 * (H/10)^{0,16} \text{ N/m}^2$$

$$q = 103,30 * (H/10)^{0,16} \text{ kgf/m}^2$$

Onde:

-  $G_{t10m}$ : fator combinado de vento para 10m de altura [1];  
- H: altura considerada para a pressão de vento (m).

### 2.4.2 PRESSÕES PARA VENTO MÁXIMO

A pressão dinâmica de referência, conforme mencionado no item 2.2 é:

$$q_0 = \frac{1,119 * 25,00^2}{2} = 349,69 \text{ N/m}^2$$

#### a) Condutores ( $V_{R50}$ )

Vão básico = 550 m,  $H_m \cong 29,0$  m e  $G_L = 0,91$ ;  $G_C = 2,22$

Para a altura média dos condutores (no caso 29,0 m), tem-se:

$$q_c = G_L * G_C * q_0 * C_X = 0,91 * 2,22 * 349,69 * 1 = 706,44 \text{ N/m}^2 \text{ (72,01 kgf/m}^2)$$

#### b) Pára-raios ( $V_{R50}$ )

Vão básico = 550 m,  $H_m \cong 44,0$  m e  $G_L = 0,91$ ;  $G_{PR} = 2,39$

Para a altura média dos P. Raios (no caso 44,0 m), tem-se:

$$q_{pr} = G_L * G_{PR} * q_0 * C_X = 0,91 * 2,39 * 349,69 * 1 = 760,54 \text{ N/m}^2 \text{ (77,53 kgf/m}^2)$$

### 3. VENTOS PARA CÁLCULO DO BALANÇO DAS CADEIAS E DETERMINAÇÃO DA FAIXA DE SERVIDÃO

Com a utilização dos mesmos dados fornecidos por [3] e do processamento efetuado nos itens anteriores, chega-se aos seguintes valores de velocidades de vento de referência:

- Velocidade de vento máximo, 30 segundos, 10 m do solo, com período de retorno 50 anos, para fins de determinação dos ângulos de balanço máximo das cadeias para sobretensões à frequência industrial: 33,33 m/s;
- Velocidade de vento reduzido, 30 segundos, 10 m do solo, com período de retorno 2 anos, para fins de determinação dos ângulos de balanço máximo das cadeias para sobretensões de manobra: 22,22 m/s;
- Velocidade de vento máximo, 30 segundos, 10 m do solo, com período de retorno 50 anos, para fins de determinação dos ângulos de balanço máximo das cadeias para determinação da largura da faixa de servidão: 33,33 m/s.

Esses valores são de referência (10m do solo) para o cálculo dos ventos de coordenação de isolamento. No Capítulo 6 é apresentada a correção desses valores para a altura média dos cabos condutores.

### 4 SUMÁRIO FINAL

Diante do exposto e atendendo as exigências usuais para esse nível de tensão, a LT 500 kV Estreito – Fernão Dias CD, devem ser projetadas com níveis de confiabilidade correspondente a um período de retorno de 250 anos, sendo que neste nível de confiabilidade a velocidade de referência é de 30,56 m/s e a pressão dinâmica de referência correspondente igual a  $522,52 \text{ N/m}^2 = 53,26 \text{ kgf/m}^2$ . As pressões de vento atuantes em cada elemento decorrentes dos valores acima são apresentadas na tabela 3 abaixo.

Para vento de alta intensidade será adotada a velocidade de 47,22 m/s e pressão final constante em todos os elementos de  $1247,65 \text{ N/m}^2 = 127,2 \text{ kgf/m}^2$ .

As tabelas 2 e 3 mostram, respectivamente, os resumos das velocidades de vento e das pressões de vento a serem adotadas no projeto da LT 500 kV Estreito – Fernão Dias CD.

**Tabela 2: Resumo das Velocidades de Vento (a 10m do solo)**

Período de Retorno T(anos)	Tempo de Média	Velocidade de vento	
		m/s	km/h
2	30 seg	22,22	80,0
50	30 seg	33,33	120,0
50	10 min	25,0	90,0
250	10 min	30,56	110,0
250	3 seg	47,22	170,0



**Tabela 3: Resumo das Pressões de Vento**

ELEMENTO	PARÂMETRO	PRESSÃO VENTO ATUANTE
CONDUTOR ( $V_{R250}$ )	Pressão de vento ( $q_0 \cdot G_C \cdot G_L$ )	1055,29 N/m <sup>2</sup> (107,68 kgf/m <sup>2</sup> )
PÁRA-RAIOS ( $V_{R250}$ )	Pressão de vento ( $q_0 \cdot G_{PR} \cdot G_L$ )	1136,10 N/m <sup>2</sup> (115,92 kgf/m <sup>2</sup> )
ISOLADOR ( $V_{R250}$ )	Pressão de vento ( $q_0 \cdot G_t$ )	1585,92 N/m <sup>2</sup> = 161,66 kgf/m <sup>2</sup>
ESTRUTURA ( $V_{R250}$ )	Pressão de vento ( $q_0 \cdot G_t$ )	1013,40*(H/10) <sup>0,16</sup> N/m <sup>2</sup> 103,30*(H/10) <sup>0,16</sup> kgf/m <sup>2</sup>
ALTA INTENSIDADE ( $V_{R250}$ )	-	1247,65 N/m <sup>2</sup> (127,2 kgf/m <sup>2</sup> )
CONDUTOR ( $V_{R50}$ )	Pressão de vento ( $q_0 \cdot G_C \cdot G_L$ )	706,44 N/m <sup>2</sup> (72,01 kgf/m <sup>2</sup> )
PÁRA-RAIOS ( $V_{R50}$ )	Pressão de vento ( $q_0 \cdot G_{PR} \cdot G_L$ )	760,54 N/m <sup>2</sup> (77,53 kgf/m <sup>2</sup> )

---

**REFERÊNCIAS:**

- [1] IEC-60826 Ed. 3.0 (Maio/2003): Design Criteria of Overhead Transmission Lines.
- [2] NBR-5422: Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão.
- [3] Batávia Engenharia & Consultoria Ltda: Isótacas Máximas para a LT 500 kV Estreito-Fernão Dias CD.

---

**LT 500 kV ESTREITO – FERNÃO DIAS CD**

**PROJETO BÁSICO**

ANEXO 1

ISÓTACAS MÁXIMAS PARA A LT

---