
LT 500 kV ESTREITO – FERNÃO DIAS CD

PROJETO BÁSICO

CAPÍTULO 13

FAIXA DE PASSAGEM E DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA

CONTEÚDO

- 1 INTRODUÇÃO
- 2 DEFINIÇÃO DA LARGURA DE FAIXA
 - 2.1 Critério de Balanço dos Condutores
 - 2.2 Critério de área Atingida pelas Torres
 - 2.3 Critério de Rádio-Interferência (RI)
 - 2.4 Critério de Ruído-Audível (RA)
 - 2.5 Campos Elétrico e Magnético

- 3 CONCLUSÕES

REFERÊNCIAS

ANEXO 1 – CÁLCULO DOS CAMPOS ELÉTRICO E MAGNÉTICO

ANEXO 2 – DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA

FAIXA DE PASSAGEM E DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA

1. INTRODUÇÃO

Para a determinação da faixa de servidão de uma linha de transmissão devem ser considerados os critérios de balanço de cabos condutores e pára-raios de forma que não venham a tocar entre si e não atinjam obstáculos vizinhos, colocando em risco a segurança da linha e dos obstáculos. Quando da utilização de torres estaiadas, como no caso presente, deve-se também conferir a área atingida pelos cabos estais, pois estes, em certos casos, podem exigir um acréscimo na largura da faixa, pelo menos na área de atuação das torres. Além do mais, devem-se conferir os efeitos elétricos que a linha possa vir a causar no meio ambiente, ou seja, campos elétrico e magnético, Ruído Audível (RA) e Rádio Interferência (RI). Até algum tempo atrás, verificava-se que, de um modo geral, quando era atendido o critério de RI, dentro de uma relação sinal-ruído aceitável, os outros critérios elétricos também eram automaticamente atendidos, com alguma margem de segurança. No entanto, após a entrada em vigor da Resolução Normativa nº 398 da ANEEL, que mais tarde foi revisada na Resolução Normativa nº 616 em 2014, o campo elétrico operacional no interior da faixa passou a exigir alturas condutor-solo mais elevadas, o que vem aumentando os custos dos projetos. No presente caso, será determinada a largura de faixa pelo critério de balanço dos cabos condutores e dos efeitos elétricos máximos aceitáveis, de forma a definir não só a largura de faixa como também a altura mínima de locação da linha.

2. DEFINIÇÃO DA LARGURA DE FAIXA

Será admitida no caso a configuração da torre típica da linha que, para a LT 500 kV Estreito - Fernão Dias CD é a torre de suspensão tipo estaiada, nomenclatura CEL. Para o cálculo dos efeitos elétricos, será considerada a tensão operativa máxima de 550 kV.

2.1 Critério de Balanço dos Condutores

Para o caso específico, serão considerados os seguintes dados da linha e do condutor ACAR 1000 MCM (30/7), que será utilizado em feixe quádruplo na LT em pauta, para fins de cálculo da flecha, dos ângulos de balanço e dos efeitos elétricos.

Dados básicos

- Vão: 500 m (vão geométrico para fins de faixa);
- Espaçamento horizontal do eixo da torre à fase mais baixa de um dos lados da torre típica = 13,70 m, ou seja, há uma envergadura total de 27,4 m;
- Vento p/ balanço: será tomado o vento de 33,33 m/s (120 km/h) com período de integração 30 segundos e com período de retorno 50 anos, definido no capítulo 5.

Corrigido à altura média dos condutores, resultará em uma pressão de vento de $864,26 \text{ Pa} = 88,13 \text{ kgf/m}^2$.

- Comprimento da cadeia: 4,90 m;
- Torre mais freqüente: CEL

Condutor ACAR 1000 MCM

- Tração de ruptura: 9254 kgf;
- Diâmetro: 29,24 mm;
- Peso: 1,397 kgf/m;
- Temperatura da condição EDS: 19 °C;
- Valor da tensão de maior duração (EDS): 2128 kgf;
- Vão: 500 m.

$$\text{Flecha (ACAR)} : f = \frac{500^2 \times 1,397}{8 \times 2128} = 20,6 \text{ m}$$

A flecha na condição EDS será:

Ou seja, $f_{EDS} \cong 20,6 \text{ m}$

Para o vão indicado e a pressão de vento de $864,24 \text{ Pa} = 88,13 \text{ kgf/m}^2$, determinam-se, através do programa de trações e flechas, os seguintes valores para a tração e a flecha à temperatura coincidente de 10°C:

$T = 4263 \text{ kgf}$

$f = 21,70 \text{ m}$

O ângulo de balanço do vão, calculado conforme o Método de Hornisgrinde ou do equivalente da NBR-5422 [5] para o pior caso, resulta no valor determinado a seguir:

Para o caso em questão, se obtém: $\text{tg} \beta_R = \frac{864,24 * 0,02924}{13,70 * 0,95} = 1,94$

A partir da Figura 7 de [5], se obtém $K = 0,33$ e, a partir daí se calcula o seguinte ângulo dinâmico de balanço:

$$\theta_d = \text{tg}^{-1}(0,33 * 1,94) = \text{tg}^{-1}(0,64) = 32,65^\circ \text{ (Será adotado } 33,0^\circ \text{)}$$

A distância de segurança do condutor em balanço a obstáculos externos será tomada conservativamente igual a: $c = 4,0 \text{ m}$

A determinação da largura mínima de faixa L para cobrir a condição de balanço dos condutores se faz conforme a seguir:

$$L = 2 \cdot E_{ff} + 2 \times [(\ell_c + f) \sin \theta + c]$$

$$L = 2 \cdot 13,70 + 2[(4,90 + 21,7) \sin 33^\circ + 4,0] = 27,4 + 2(14,49 + 4,0) \approx 27,4 + 36,98 = 64,5 \text{ m}$$

$L = 64,5 \text{ m}$ (Por este critério se adotaria um mínimo de **65 m**)

Onde:

E_{ff} → espaçamento horizontal entre fases próximas, igual a 13,70 m, correspondente à torre típica.

c → distância elétrica de segurança tomada como igual a 4,0 m.

ℓ_c → comprimento da cadeia, tomado igual a 4,9 m

2.2 Critério de Área Atingida pelas Torres

Para o caso da torre estaiada típica CEL, de altura útil máxima de 49,5 m, os estais nesta torre podem atingir na transversal uma largura da ordem de no máximo 62 m (31 m para cada semi-eixo). Dessa forma, a largura de faixa de 62 metros seria suficiente para atender todos os tipos de estruturas da série, mas adotou-se o valor de 65 m por segurança, atendendo assim a todos os critérios.

2.3 Critério de Rádio-Interferência (RI)

Considerando a largura de faixa de 65m, verificar-se-á a relação sinal-ruído a ser obtida no limite da faixa com a tensão operativa máxima de 550 kV para efeito de Rádio-Interferência.

A determinação dos níveis de Rádio-Interferência é feita através do método indicado em [3]. Esse método é também proposto em [4] e constitui uma atualização da metodologia proposta em [3].

Distância da fase mais externa ao limite da faixa (na horizontal): $65 \times 0,5 = 32,5 \text{ m}$.

Para o caso em questão, será adotado, no limite da faixa, um sinal padrão de rádio igual a 66 dB, conforme estabelecido pelo DENTEL.

De acordo com as Referências [3] e [4], o nível de Rádio-Interferência, em dB referido a $1 \mu\text{V/m}$, para condições de tempo seco, em um ponto de observação situado a 1,5 m de altura do solo, pode ser calculado pela metodologia a seguir sinteticamente descrita.

Para o caso de circuito duplo, calcula-se o nível de RI para cada fase dos dois circuitos, aqui chamadas de A_1, B_1, C_1 para o 1º circuito e de A_2, B_2, C_2 para o 2º circuito.

$$RI_{A1} = 3,5E_{A1} + 12r - 33 \log D_{A1} / 20 - 30$$

$$RI_{A2} = 3,5E_{A2} + 12r - 33 \log D_{A2} / 20 - 30; \text{ e assim por diante.}$$

Calcula-se a tensão de RI em μV para cada fase e se somam os valores das mesmas fases correspondentes em um e no outro circuito, em quadratura, ou seja:

$$\mu V_A = (\mu V_{A1}^2 + \mu V_{A2}^2)^{1/2}$$

Daí se determina o nível de RI para cada fase resultante, em dB, aplicando-se a fórmula respectiva, ou seja:

$$RI_{dB} = 20 * \text{Log}(\mu)$$

Entre os valores resultantes obtidos para as três fases dos dois circuitos, se aplica a relação abaixo utilizando os dois valores mais elevados.

$$RI_{\text{total}} = (RI_1 + RI_2)/2 + 1,5$$

Onde RI_1 é o maior nível de RI obtido dentre as três fases e RI_2 é o segundo maior nível.

$$RI_1 = 3,5E_1 + 12r - 33 \log D_1 / 20 - 30$$

Para a outra fase se terá analogamente:

$$RI_2 = 3,5E_2 + 12r - 33 \log D_2 / 20 - 30$$

Nas fórmulas acima, E_1 e E_2 são os gradientes superficiais dos condutores das fases em questão e D_1 e D_2 são as distâncias dessas fases ao ponto de medição, situado no limite da faixa a 1,5 m do solo. Os gradientes individuais em kV/m e os níveis de RI calculados, em μV_A e em dB, segundo as Referências [3] e [4] constam da Tabela 1.

Tabela 1: Valores de RI individuais por fase nos dois circuitos

Hm -1,5(m)	G(kV/m)	Fase	dB	μV /fase
27,5	17,33	A ₁	40,89	110,75
38,4	14,65	B ₁	26,80	21,88
27,5	16,94	C ₁	37,75	77,14
27,5	17,33	A ₂	34,03	50,27
38,4	14,67	B ₂	24,42	16,64
27,5	16,94	C ₂	34,32	52,01

A Tabela 2 indica os resultados dos cálculos de RI total, do lado mais crítico dos Circuitos.

Tabela 2: Valor final de RI obtido

Fase	RI resultante em μV	RI res. em dB
A	121,63	41,70
B	27,49	28,78
C	93,04	39,37

Calculados os níveis de RI com as fórmulas acima, para a condição de tensão máxima operativa, chega-se aos resultados indicados abaixo para a LT 500 kV em pauta, onde os valores para as duas fases mais próximas são os seguintes:

Sendo $RI_1 = 41,70 \text{ dB}$ e $RI_2 = 39,37 \text{ dB}$, obtém-se:

$$RI_{\text{total}} = (RI_1 + RI_2)/2 + 1,5 = 42,04 \text{ dB}$$

Disso resultaria, portanto, para uma largura de faixa de 65 m, um nível de ruído máximo igual a 42,04 dB, válido para condições de tempo bom prevalente em cerca de 90% do tempo.

Admitindo-se cerca de 10% de tempo chuvoso ou com condutor molhado [3], haverá um acréscimo para a condição de 50% de todos os tempos da ordem de, no máximo, 1,5 dB no nível de ruído.

Portanto: $RI_{50\%} = 42,04 + 1,5 = 43,54 \text{ dB}$

O nível de rádio-interferência acima é calculado para resistividade de 100 $\Omega\cdot\text{m}$. Corrigindo para a resistividade considerada para a região, que para esse efeito será considerada variando entre 500 e 1000 $\Omega\cdot\text{m}$, conforme [1], obtém-se o seguinte nível de RI final no limite da faixa:

$$RI_{50\% \text{ cor}} = 43,54 - 3,0 = 40,54 \text{ dB } (\rho = 500 \Omega\cdot\text{m}).$$

$$RI_{50\% \text{ cor}} = 43,54 - 5,0 = \mathbf{38,54 \text{ dB}} (\rho = 1000 \Omega\cdot\text{m}).$$

Será adotado com $\rho = 1000 \Omega\cdot\text{m}$.

A saída da Rotina de Cálculo indica os resultados do cálculo de Rádio-Interferência (RI) na Tabela 5, simplificada, abaixo mostrada.

Tabela 3: Rádio-Interferência ($RI_{50\%}$) no limite da faixa de 65 m

RI(db) Tempo Bom	Ritot. ₅₀ (db)	Ritot-cor(db)	Sinal-Ruido
42,04	43,54	38,54	27,46

Conforme Edital da ANEEL, a relação sinal ruído mínima admissível é da ordem de 24 dB. Os níveis de sinal padrão do DENTEL são de 74 e 66 dB, respectivamente. Assim, obtém-se para o pior dos casos acima as seguintes relações sinal-ruído:

Relação sinal – ruído = 66 – 38,54 = **27,46 dB**.

2.4 Critério de Ruído Audível (RA)

Será aqui adotada a metodologia e rotina de cálculo (AN1 – Audible Noise of Transmission Lines 2-D) presente em [7].

a) Dados de entrada:

-----INPUT DATA-----

Bundle ID (#)	Number of Subconductors	Subconductor Diameter (cm)	Subconductor Spacing (cm)	Voltage-to-Ground (kV)	Phase Angle (degree)	Horizontal Coordinate (m)	Vertical Coordinate (m)
1A	4	2.92	60.0	317.5	0.0	-13.70	29.00
1B	4	2.92	60.0	317.5	-120.0	-6.70	39.90
1C	4	2.92	60.0	317.5	120.0	-6.70	29.00
2A	4	2.92	60.0	317.5	0.0	13.70	29.00
2B	4	2.92	60.0	317.5	-120.0	6.70	39.90
2C	4	2.92	60.0	317.5	120.0	6.70	29.00
3	1	0.95	0.0	0.0	0.0	-10.40	49.00
4	1	1.34	0.0	0.0	0.0	10.40	49.00

Altitude: 900.0 (m)

Height Above Ground: 1.5 (m)

----- SURFACE GRADIENT AND GENERATED ACOUSTIC POWER (db above 1µW/m) -----

Bundle ID (#)	Number of Subconductors	Subconductor Diameter (cm)	Surface Gradient (kV/cm)	L50 Rain EPRI	L50 Rain BPA	L5 Rain EPRI	Fair Weather Range
1A	4	2.92	17.3	-51.1	-49.5	-46.9	-80.0 -60.7
1B	4	2.92	14.7	-60.9	-58.3	-53.9	-104.2 -74.5
1C	4	2.92	16.9	-52.3	-50.7	-47.7	-82.9 -62.4
2A	4	2.92	17.3	-51.1	-49.5	-46.9	-80.0 -60.7
2B	4	2.92	14.7	-60.9	-58.2	-53.8	-104.1 -74.5
2C	4	2.92	16.9	-52.3	-50.7	-47.7	-82.9 -62.4
3	1	0.95	20.2	-71.7	-71.3	-62.5	-97.1 -80.0
4	1	1.34	15.0	-80.7	-78.6	-67.4	-131.5 -96.1

b) Dados de saída, considerando os valores de Gradiente Máximos:

----- AUDIBLE NOISE PROFILE -----

X (m)	L50 Rain EPRI (dbA)	L50 Rain BPA (*) (dbA)	L5 Rain EPRI (dbA)	Fair Weather Range (dbA)
-32.50	51.9	52.1	56.4	22.2 41.9
-31.50	51.9	52.2	56.5	22.2 42.0
-30.50	52.0	52.2	56.6	22.3 42.1
-29.50	52.1	52.3	56.7	22.4 42.2
-28.50	52.2	52.4	56.8	22.5 42.3
-27.50	52.3	52.5	56.8	22.6 42.4
-26.50	52.4	52.6	56.9	22.7 42.5
-25.50	52.4	52.6	57.0	22.7 42.5

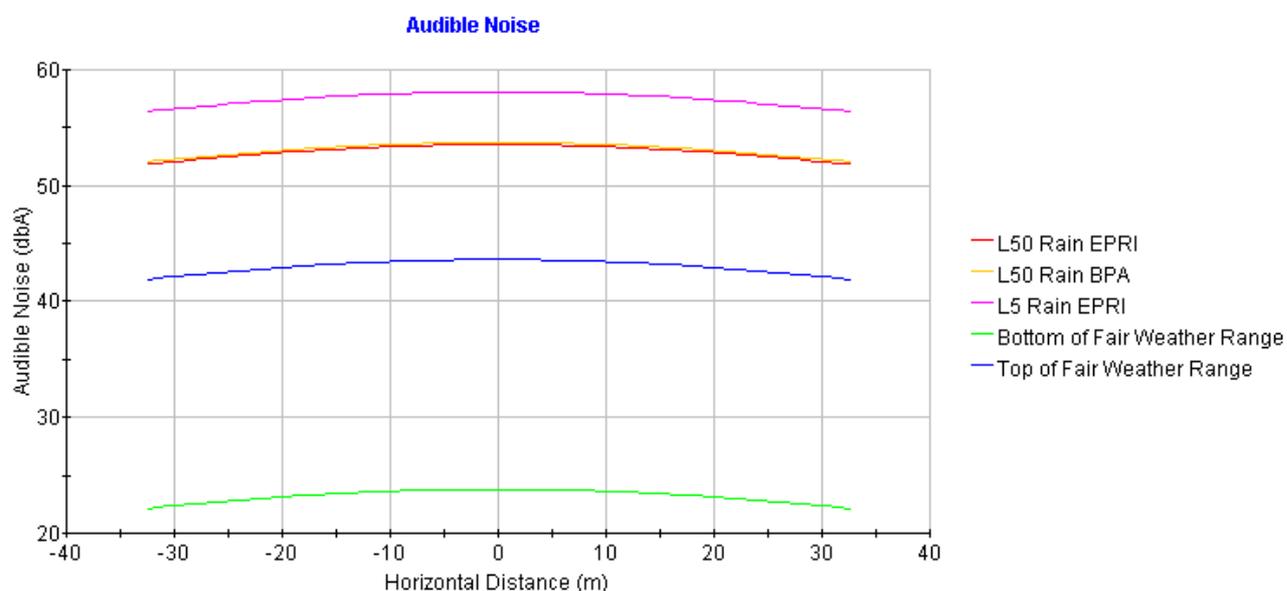
-24.50	52.5	52.7	57.1	22.8	42.6
-23.50	52.6	52.8	57.2	22.9	42.7
-22.50	52.7	52.9	57.2	23.0	42.8
-21.50	52.8	52.9	57.3	23.0	42.8
-20.50	52.8	53.0	57.4	23.1	42.9
-19.50	52.9	53.1	57.4	23.2	43.0
-18.50	53.0	53.1	57.5	23.2	43.0
-17.50	53.0	53.2	57.6	23.3	43.1
-16.50	53.1	53.3	57.6	23.4	43.2
-15.50	53.1	53.3	57.7	23.4	43.2
-14.50	53.2	53.4	57.7	23.5	43.3
-13.50	53.2	53.4	57.8	23.5	43.3
-12.50	53.3	53.5	57.8	23.6	43.4
-11.50	53.3	53.5	57.9	23.6	43.4
-10.50	53.4	53.5	57.9	23.6	43.4
-9.50	53.4	53.6	57.9	23.7	43.5
-8.50	53.4	53.6	58.0	23.7	43.5
-7.50	53.5	53.6	58.0	23.7	43.5
-6.50	53.5	53.7	58.0	23.7	43.6
-5.50	53.5	53.7	58.1	23.8	43.6
-4.50	53.5	53.7	58.1	23.8	43.6
-3.50	53.5	53.7	58.1	23.8	43.6
-2.50	53.5	53.7	58.1	23.8	43.6
-1.50	53.5	53.7	58.1	23.8	43.6
-0.50	53.5	53.7	58.1	23.8	43.6
0.50	53.5	53.7	58.1	23.8	43.6
1.50	53.5	53.7	58.1	23.8	43.6
2.50	53.5	53.7	58.1	23.8	43.6
3.50	53.5	53.7	58.1	23.8	43.6
4.50	53.5	53.7	58.1	23.8	43.6
5.50	53.5	53.7	58.0	23.8	43.6
6.50	53.5	53.7	58.0	23.7	43.6
7.50	53.5	53.6	58.0	23.7	43.5
8.50	53.4	53.6	58.0	23.7	43.5
9.50	53.4	53.6	57.9	23.7	43.5
10.50	53.4	53.5	57.9	23.6	43.4
11.50	53.3	53.5	57.9	23.6	43.4
12.50	53.3	53.5	57.8	23.6	43.4
13.50	53.2	53.4	57.8	23.5	43.3
14.50	53.2	53.4	57.7	23.5	43.3
15.50	53.1	53.3	57.7	23.4	43.2
16.50	53.1	53.3	57.6	23.4	43.2
17.50	53.0	53.2	57.6	23.3	43.1
18.50	53.0	53.1	57.5	23.2	43.0
19.50	52.9	53.1	57.4	23.2	43.0
20.50	52.8	53.0	57.4	23.1	42.9
21.50	52.7	52.9	57.3	23.0	42.8
22.50	52.7	52.9	57.2	23.0	42.8
23.50	52.6	52.8	57.2	22.9	42.7
24.50	52.5	52.7	57.1	22.8	42.6
25.50	52.4	52.6	57.0	22.7	42.5
26.50	52.4	52.6	56.9	22.7	42.4
27.50	52.3	52.5	56.8	22.6	42.4
28.50	52.2	52.4	56.8	22.5	42.3
29.50	52.1	52.3	56.7	22.4	42.2
30.50	52.0	52.2	56.6	22.3	42.1
31.50	51.9	52.2	56.5	22.2	42.0
32.50	51.9	52.1	56.4	22.2	41.9

(*) According to the BPA method the L5 rain is obtained by adding 3.5 dB to the L50 rain and the L50 fair weather value is obtained by subtracting 25 dB from the L50 rain value.

Tabela 4
Resumo dos cálculos do Ruído Audível (RA) na
borda de uma faixa de 65 m

Limite Semi-Faixa (m)	L50Rain EPRI (dB(A))	L5Rain EPRI (dB(A))	Fair Weather Range (dB(A))
32,5	51,9	56,4	22,2 a 40,0

Gráfico 1: Ruído Audível (RA) ao longo da faixa



O valor do Ruído Audível (RA) para condutor molhado no limite da faixa de 65 m (32,5m semi-eixo), será de **51,9 dBA**.

Foi estabelecido no Edital da ANEEL o valor de 58 dBA no limite da faixa, para condições de chuva fina. Verifica-se que o nível de RA atingido fica bem abaixo dessa ordem de grandeza no limite de uma faixa de 65 metros.

2.5 Campos Elétrico e Magnético

Calculam-se os campos elétrico e magnético para as condições previstas na Resolução Normativa da ANEEL nº 398 que são, basicamente, as seguintes:

- Configuração típica do circuito (torre típica CEL);
- Carregamento máximo: considerado o valor previsto para curta duração, ou seja, a corrente de 4285 A/fase
- Altura mínima condutor – solo, no caso aproximadamente 12,0 m, para condição de curta duração, pois abaixo deste valor os casos tentados resultaram em campos operacionais superiores ao máximo estabelecido na Resolução Normativa 398 da ANEEL [6].

Utilizou-se para tanto a metodologia e rotina de cálculo (*EMF-2 Electric Field of Transmission Lines 2D*) e (*EMF-6 Magnetic Field From Sets of Current Carrying Conductors 2D*) presentes em [7].

Os valores obtidos ao longo do perfil transversal da faixa estão mostrados no Anexo 1 deste documento. Ali se mostram os valores de campo elétrico (em V/m) e de campo magnético (em mG), bem como as figuras representativas desses campos. Nota que $1 \text{ mG} = 0,1 \mu\text{T}$.

Os campos elétrico e magnético foram determinados para a altura mínima de 12,0 m em condição de emergência, (equivalente a aproximadamente 13,0m para condição normal de operação) do condutor inferior ao solo, ou seja, na posição mais baixa possível do condutor, de forma que o campo elétrico máximo operacional no interior da faixa não ultrapassasse o valor de 8,33 kV/m, atendendo [6]. Foram utilizadas a tensão nominal e a máxima corrente por fase, na condição de curta duração (4285 A/fase) por fase de cada circuito.

3. CONCLUSÕES

Do exposto e como demonstrado anteriormente, recomenda-se que seja adotada uma **largura de faixa igual a 65 m para a LT 500 kV Estreito - Fernão Dias CD**. Esta largura atende satisfatoriamente os critérios de balanço dos condutores e pára-raios, o critério de área atingida pelos estais, bem como também os critérios de máxima Rádio-Interferência e máximo Ruído-Audível, campos elétrico e magnético nas bordas da faixa.

Deve-se lembrar ainda dois pontos básicos que freqüentemente tornam os critérios de máxima Rádio-Interferência e máximo Ruído-Audível de menor importância:

- Em muitos trechos da rota das linhas, não se registra a recepção de sinais suficientes de rádio, na faixa de AM. Em outras partes, o próprio ruído de fundo (*back-ground noise*), sem existência de linha de transmissão, seria maior que o nível de sinais de rádio receptor. Assim, não haveria sinal a proteger. Tampouco o Ruído Audível, em áreas como essas, terá muita importância.
- A baixa densidade populacional de alguns trechos e a pequena probabilidade de algum receptor de rádio estar situado no limite de faixa torna o fenômeno de RI pouco crítico.

Em resumo: foram verificados também os níveis máximos de campo elétrico e campo magnético, no interior da faixa e em seu limite, além da Rádio Interferência (RI) e do ruído audível (RA) no limite da faixa. Os valores desses efeitos situam-se abaixo das recomendações brasileiras e internacionais a respeito, bem como das condições estabelecidas no Edital da ANEEL, como mostra a Tabela 5.

Assim sendo, a largura de faixa de 65 metros proposta atende satisfatoriamente todos os limites máximos de influências elétricas aplicáveis, inclusive o referente à área atingida pelos estais. Ressalte-se que os valores dos campos elétrico e magnético calculados estão muito abaixo dos valores máximos permissíveis no limite da faixa de servidão, mas no interior da faixa, chegam próximo aos limites operativos máximos estabelecidos em [6].

Tabela 5
Efeitos Elétricos no Limite da Faixa (65 m) para 60 Hz

Efeitos Elétricos	Máx. Limite Faixa	Máximo Interior Faixa
Campo Elétrico	1,49 kV/m (limite 4,17 kV/m)	8,30 kV/m (limite 8,33 kV/m)
Campo Magnético	16,02 μT (limite 200,0 μ T)	53,40 μT (limite 1000,0 μ T)
Ruído Audível	51,9 dBA (limite 58,0 dBA)	-
Rádio-Interferência	27,46 dB (mínimo de 24,0 dB)	-

REFERÊNCIAS

- [1] EHV Transmission Line Reference Book 345 kV and Above – EPRI 1982
- [2] EHV Transmission Line Reference Book – EPRI – 1968
- [3] Livro “Overhead Power Lines” - Capítulo 2 – Item 2.3.3.4 (Página 39 e seguintes) – F. Kiessling et al - Springer Verlag 2003
- [4] H. Happoldt and D. Oeding: Elektrische Kraftwerke und Netze (Electrical Power Plants and Systems). Springer Verlag, 1978
- [5] NBR-5422: Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão
- [6] Resolução Normativa da ANEEL nº 398, de 23 de março de 2010, revisada na Resolução Normativa nº 616 em 2014.
- [7] EPRI AC – Transmission Line Reference Book 200kV and Above - Third Edition

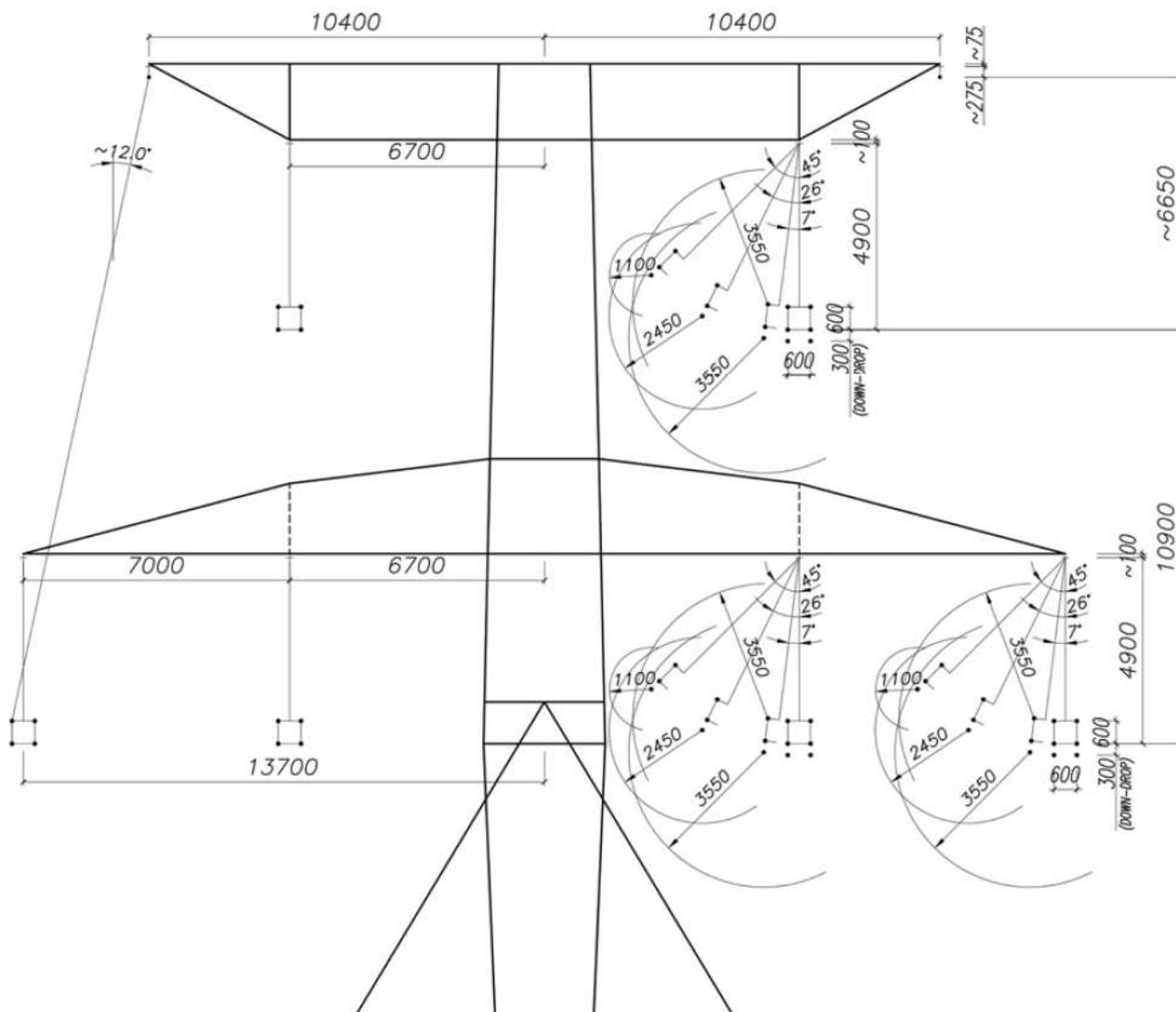


Figura 1
Croqui da Torre Típica CEL

LT 500 kV ESTREITO – FERNÃO DIAS CD

PROJETO BÁSICO

ANEXO 1

CÁLCULO DOS CAMPOS ELÉTRICO E MAGNÉTICOS

Campo Elétrico

1. Dados de Entrada:

---- List of Conductors ----

ID#	Diameter (cm)	Voltage (kV)	Phase Angle (degree)	Horizontal Coordinate X(m)	Height above Ground H(m)
1A	51.70	288.68	0.0	-13.7	12.5
1B	51.70	288.68	-120.0	-6.7	23.4
1C	51.70	288.68	120.0	-6.7	12.5
2A	51.70	288.68	0.0	13.7	12.5
2B	51.70	288.68	-120.0	6.7	23.4
2C	51.70	288.68	120.0	6.7	12.5
3	0.95	0.00	0.0	-10.4	33.9
4	1.34	0.00	0.0	10.4	33.9

Electric Field and Space Potential are calculated at 65 points uniformly distributed along a straightline that starts at X = -32.5(m) and H = 1.5(m) and ends at X = 32.5(m) and H = 1.5(m).

2. Saída:

---- Results ----

Point	X(m)	H(m)	E(V/m)	Vsp(V)
0	-32.50	1.50	1493.23	2228.76
1	-31.50	1.50	1646.28	2456.44
2	-30.50	1.50	1819.98	2714.71
3	-29.50	1.50	2016.51	3006.80
4	-28.50	1.50	2238.03	3335.81
5	-27.50	1.50	2486.42	3704.43
6	-26.50	1.50	2763.06	4114.57
7	-25.50	1.50	3068.49	4566.84
8	-24.50	1.50	3401.92	5059.81
9	-23.50	1.50	3760.66	5589.10
10	-22.50	1.50	4139.35	6146.38
11	-21.50	1.50	4529.31	6718.18
12	-20.50	1.50	4917.85	7285.07
13	-19.50	1.50	5288.11	7821.34
14	-18.50	1.50	5619.70	8296.01
15	-17.50	1.50	5890.64	8675.79
16	-16.50	1.50	6081.14	8930.71
17	-15.50	1.50	6179.11	9042.65
18	-14.50	1.50	6187.02	9015.71
19	-13.50	1.50	6127.84	8885.94
20	-12.50	1.50	6046.83	8725.01
21	-11.50	1.50	6004.49	8630.07
22	-10.50	1.50	6057.70	8694.16

23	-9.50	1.50	6235.60	8965.81
24	-8.50	1.50	6526.02	9425.79
25	-7.50	1.50	6883.87	10001.13
26	-6.50	1.50	7253.25	10601.86
27	-5.50	1.50	7587.33	11152.91
28	-4.50	1.50	7858.11	11608.51
29	-3.50	1.50	8056.77	11952.02
30	-2.50	1.50	8188.56	12187.97
31	-1.50	1.50	8265.70	12331.42
32	-0.50	1.50	8300.55	12398.30
33	0.50	1.50	8300.60	12398.38
34	1.50	1.50	8265.85	12331.65
35	2.50	1.50	8188.82	12188.35
36	3.50	1.50	8057.14	11952.59
37	4.50	1.50	7858.62	11609.28
38	5.50	1.50	7588.00	11153.94
39	6.50	1.50	7254.10	10603.18
40	7.50	1.50	6884.94	10002.78
41	8.50	1.50	6527.33	9427.83
42	9.50	1.50	6237.15	8968.24
43	10.50	1.50	6059.48	8696.97
44	11.50	1.50	6006.45	8633.17
45	12.50	1.50	6048.93	8728.31
46	13.50	1.50	6130.02	8889.37
47	14.50	1.50	6189.27	9019.22
48	15.50	1.50	6181.41	9046.22
49	16.50	1.50	6083.47	8934.34
50	17.50	1.50	5893.01	8679.45
51	18.50	1.50	5622.08	8299.70
52	19.50	1.50	5290.49	7825.03
53	20.50	1.50	4920.22	7288.73
54	21.50	1.50	4531.64	6721.78
55	22.50	1.50	4141.62	6149.88
56	23.50	1.50	3762.84	5592.47
57	24.50	1.50	3403.99	5063.00
58	25.50	1.50	3070.42	4569.83
59	26.50	1.50	2764.84	4117.32
60	27.50	1.50	2488.03	3706.91
61	28.50	1.50	2239.45	3338.00
62	29.50	1.50	2017.72	3008.67
63	30.50	1.50	1820.96	2716.24
64	31.50	1.50	1647.04	2457.61
65	32.50	1.50	1493.75	2229.57

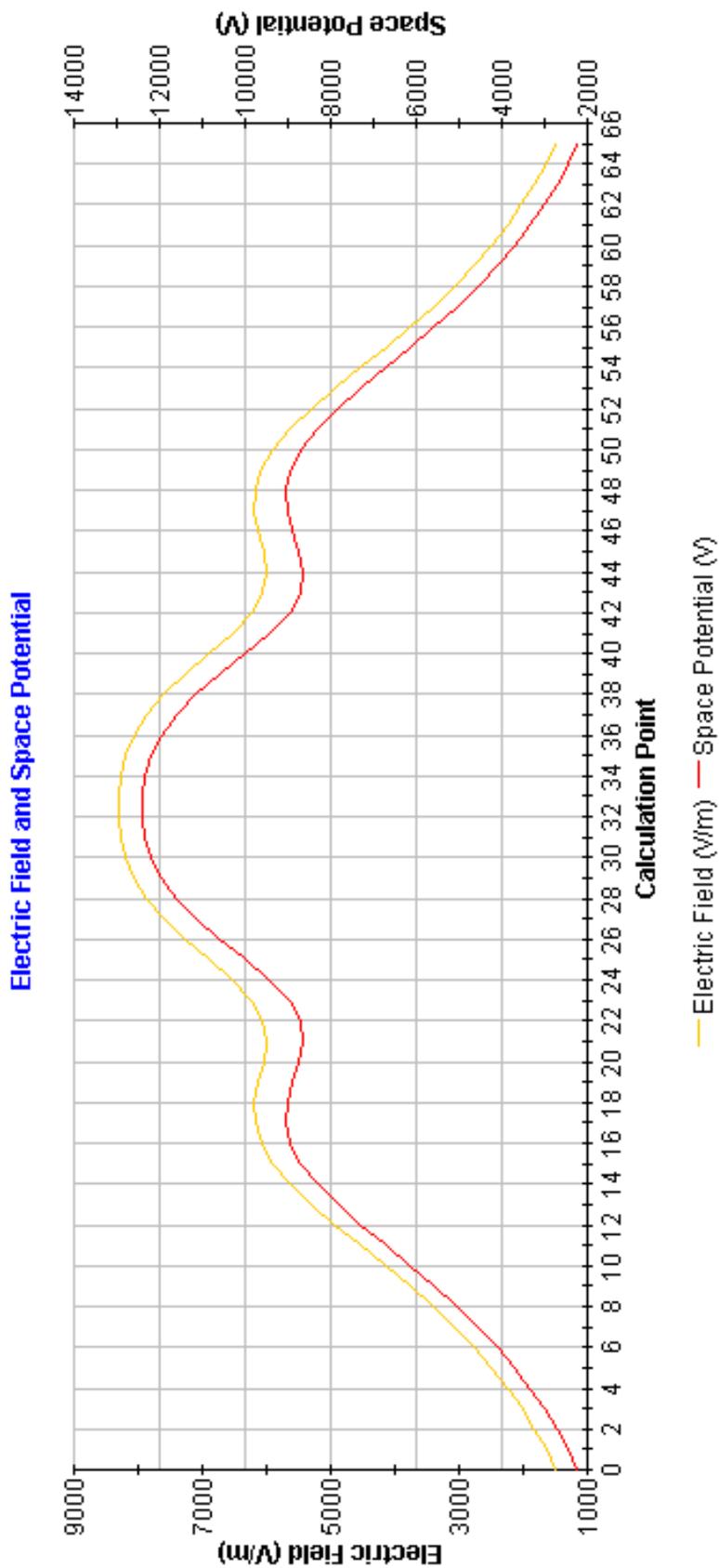


Figura 1
Perfil Transversal do Campo Elétrico

Campo Magnético

1. Dados de Entrada:

---- List of Conductors ----

Conductor ID#	Current (A)	Phase Angle (degree)	Horizontal Coordinate X(m)	Height above Ground H(m)
1	4285.00	0.0	-13.70	12.50
2	4285.00	-120	-6.70	23.40
3	4285.00	120.0	-6.70	12.50
4	4285.00	0.0	13.70	12.50
5	4285.00	-120	6.70	23.40
6	4285.00	120.0	6.70	12.50
7	0.00	0.0	-10.40	33.90
8	0.00	0.0	10.40	33.90

Magnetic Field are calculated at 65 points uniformly distributed along a straight line that starts at X = -32.5(m) and H = 1.5(m) and ends at X = 32.5(m) and H = 1.5(m).

2. Saída:

Results -----

Calculation			--- Magnetic Field ---		
Point(#)	X(m)	H(m)	Bmin (mG)	Bmax (mG)	Bresultant (mG)
0	-32.50	1.50	61.00	148.13	160.19
1	-31.50	1.50	66.74	155.57	169.29
2	-30.50	1.50	73.20	163.47	179.11
3	-29.50	1.50	80.46	171.83	189.73
4	-28.50	1.50	88.64	180.65	201.22
5	-27.50	1.50	97.87	189.92	213.65
6	-26.50	1.50	108.29	199.63	227.10
7	-25.50	1.50	120.06	209.71	241.65
8	-24.50	1.50	133.34	220.10	257.34
9	-23.50	1.50	148.32	230.69	274.25
10	-22.50	1.50	165.13	241.30	292.40
11	-21.50	1.50	183.92	251.73	311.76
12	-20.50	1.50	204.74	261.72	332.29
13	-19.50	1.50	227.50	271.00	353.83
14	-18.50	1.50	251.61	279.61	376.15
15	-17.50	1.50	273.48	290.42	398.91
16	-16.50	1.50	282.97	312.62	421.67
17	-15.50	1.50	284.71	340.53	443.87
18	-14.50	1.50	282.41	369.30	464.91
19	-13.50	1.50	276.51	397.39	484.13
20	-12.50	1.50	267.18	423.71	500.92

21	-11.50	1.50	254.69	447.27	514.70
22	-10.50	1.50	239.43	467.22	525.00
23	-9.50	1.50	221.85	482.96	531.48
24	-8.50	1.50	202.41	494.13	533.98
25	-7.50	1.50	181.53	500.72	532.61
26	-6.50	1.50	159.52	503.09	527.77
27	-5.50	1.50	136.61	501.94	520.20
28	-4.50	1.50	112.95	498.32	510.96
29	-3.50	1.50	88.65	493.41	501.31
30	-2.50	1.50	63.79	488.43	492.57
31	-1.50	1.50	38.47	484.44	485.97
32	-0.50	1.50	12.86	482.24	482.41
33	0.50	1.50	12.86	482.24	482.41
34	1.50	1.50	38.47	484.44	485.97
35	2.50	1.50	63.79	488.43	492.57
36	3.50	1.50	88.65	493.41	501.31
37	4.50	1.50	112.95	498.32	510.96
38	5.50	1.50	136.61	501.94	520.20
39	6.50	1.50	159.52	503.09	527.77
40	7.50	1.50	181.53	500.72	532.61
41	8.50	1.50	202.41	494.13	533.98
42	9.50	1.50	221.85	482.96	531.48
43	10.50	1.50	239.43	467.22	525.00
44	11.50	1.50	254.69	447.27	514.70
45	12.50	1.50	267.18	423.71	500.92
46	13.50	1.50	276.51	397.39	484.13
47	14.50	1.50	282.41	369.30	464.91
48	15.50	1.50	284.71	340.53	443.87
49	16.50	1.50	282.97	312.62	421.67
50	17.50	1.50	273.48	290.42	398.91
51	18.50	1.50	251.61	279.61	376.15
52	19.50	1.50	227.50	271.00	353.83
53	20.50	1.50	204.74	261.72	332.29
54	21.50	1.50	183.92	251.73	311.76
55	22.50	1.50	165.13	241.30	292.40
56	23.50	1.50	148.32	230.69	274.25
57	24.50	1.50	133.34	220.10	257.34
58	25.50	1.50	120.06	209.71	241.65
59	26.50	1.50	108.29	199.63	227.10
60	27.50	1.50	97.87	189.92	213.65
61	28.50	1.50	88.64	180.65	201.22
62	29.50	1.50	80.46	171.83	189.73
63	30.50	1.50	73.20	163.47	179.11
64	31.50	1.50	66.74	155.57	169.29
65	32.50	1.50	61.00	148.13	160.19

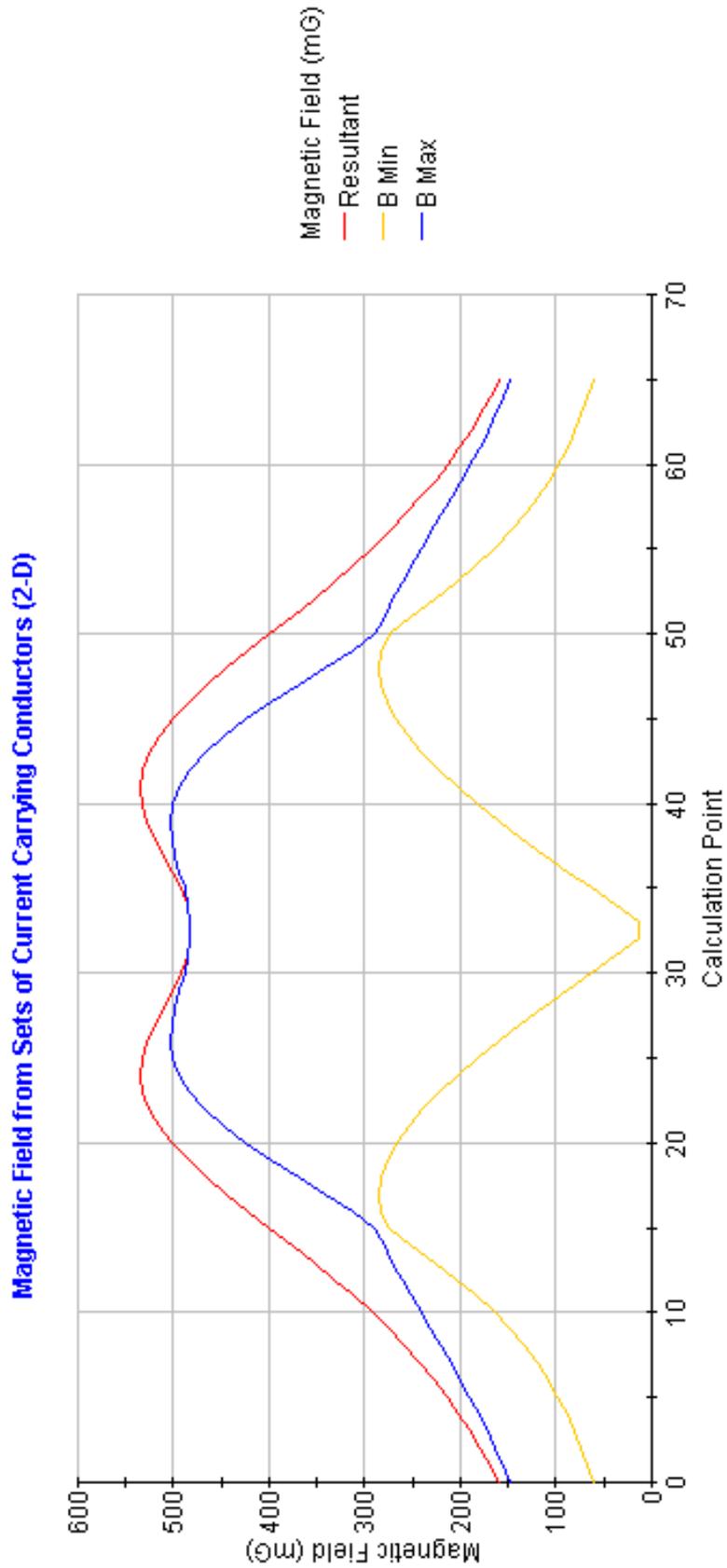


Figura 2
Perfil Transversal do Campo Magnético
Capítulo 13 – Pág.20/23

LT 500 kV ESTREITO – FERNÃO DIAS CD

PROJETO BÁSICO

ANEXO 2

DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA

DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA

As distâncias de segurança a serem adotadas no projeto da a LT 500 kV Estreito - Fernão Dias CD, foram calculadas conforme as recomendações da norma NBR-5422, sendo as mesmas listadas a seguir:

- a) Distâncias horizontais mínimas de aproximações a obstáculos, em metros, na condição de máximo deslocamento dos cabos condutores (condição de vento máximo).

NATUREZA DO OBSTÁCULO EM QUE A LINHA SE APROXIMA	ABNT- NBR 5422	ADOTADO
Paredes de edificações	5,68	6,00
Paredes cegas de edificações	4,39	5,00
Aos gabaritos dos veículos de rodovias e ferrovias, ou à instalação destas	5,68	6,00

- b) Distâncias verticais mínimas dos cabos condutores aos obstáculos, em metros, na condição de flecha máxima.

NATUREZA DO OBSTÁCULO ATRAVESSADO	ABNT- NBR 5422	ADOTADO
Cruzamento sobre locais acessíveis a pedestres	8,68	13,00 ⁽¹⁾
Cruzamento sobre locais acessíveis a máquinas agrícolas	9,18	13,00 ⁽¹⁾
Cruzamento sobre rodovias, ruas e avenidas	10,68	13,00 ⁽¹⁾
Trecho urbano	10,68	13,00 ⁽¹⁾
Cruzamento sobre ferrovias eletrificadas ou eletrificáveis	14,68	15,00
Cruzamento sobre superfícies de águas não navegáveis	8,68	13,00 ⁽¹⁾
Cruzamento sobre superfícies de águas navegáveis, sendo "H" a altura do maior mastro fixado pela autoridade responsável	4,68 + H	5,00 + H
Cruzamento sobre linhas elétricas, 13,8 kV ou linhas com pára-raios	3,88	4,00
Cruzamento sobre linhas de telecomunicações	4,48	5,00
Cruzamento sobre suportes da linha pertencente à ferrovia	6,68	7,00
Cruzamento sobre edificações	6,68	7,00
Cruzamento sobre vegetação de preservação permanente	6,68	7,00

(1) Valores compulsórios para atender a Resolução Normativa da ANEEL nº 398

NATUREZA DO OBSTÁCULO ATRAVESSADO	ABNT- NBR 5422	ADOTADO
Cruzamento sobre linhas de transmissão 500 kV	6,55	7,00
Cruzamento sobre linhas de transmissão 345 kV	5,57	6,00
Cruzamento sobre linhas de transmissão 230 kV	4,84	5,00
Cruzamento sobre linhas de transmissão 138 kV	4,25	4,50
Cruzamento sobre linhas de transmissão 69 kV	3,88	4,00

c) Distâncias verticais mínimas dos cabos condutores aos obstáculos, em metros, na condição de emergência.

NATUREZA DO OBSTÁCULO EM QUE A LINHA SE APROXIMA	Distância Adotada
Locais acessíveis apenas a pedestres	12,00 ⁽¹⁾
Locais onde circulam máquinas agrícolas	12,00 ⁽¹⁾
Rodovias, ruas e avenidas	12,00 ⁽¹⁾
Ferrovias não eletrificadas	12,00 ⁽¹⁾

(1) Valores compulsórios para atender a Resolução Normativa da ANEEL nº 398

RECOMENDAÇÕES

Na locação das estruturas da Linha de Transmissão, deverão ser verificadas e atendidas as Distâncias Mínimas de Segurança definidas neste documento.

Nos casos de rodovias e ferrovias, os suportes devem se situar sempre fora das faixas de domínio da via atravessada e a uma distância tal que a eventual queda da estrutura não atinja a borda do acostamento (no caso de rodovias) ou trilho mais próximo (no caso de ferrovias).

REFERÊNCIAS:

ABNT – NBR 5422/85 – Projetos de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica