

# ENERGISA




LEILÃO ANEEL 004/2018 - LOTE 4

LINHAS DE TRANSMISSÃO 230 kV CIRCUITO SIMPLES

DIANÓPOLIS II / BARREIRAS II C1  
DIANÓPOLIS II / GURUPI C1  
DIANÓPOLIS II / PALMAS C1

TORRE TIPO E2EL

CÁLCULO ESTRUTURAL

00	FGS	RCM	PRRLS	13/01/20	APROVADO				
REV.	FEITO	VERIF.	APROV.	DATA	DESCRIÇÃO				
PROJETO ESTRUTURAL:						CLIENTE:			
						 			
FEITO	VERIF.	V. PROJ.	APROV.	DATA	O.S.	Nº ENGETOWER	Nº CLIENTE	REV.	TOT. FOLHAS
FGS	RCM	RCM	PRRLS	24/10/19	1723	154.43-C1001	ETT1-3000-PE-576-0001	00	1/38

## ÍNDICE

1 NOTAS GERAIS DE CÁLCULO	Pág.	3		
2 ESQUEMA ESTRUTURAL	Pág.	4		
3 HIPÓTESES DE CARGA	Pág.	5	a	22
4 CARGAS DEVIDAS AO VENTO SOBRE A TORRE	Pág.	23	a	24
5 DIMENSIONAMENTO DE BARRAS E CONEXÕES	Pág.	25	a	32
6 CARGAS ÚLTIMAS SOBRE FUNDAÇÃO DO MASTRO	Pág.	33	a	36
7 DIMENSIONAMENTO DOS ESTAIS E DE SUAS CONEXÕES À TORRE	Pág.	37		
8 CÁLCULO DO APOIO DA BASE DO MASTRO	Pág.	38		

# 1 NOTAS GERAIS DE CÁLCULO

## 1.1 PARÂMETROS BÁSICOS DA TORRE

Tensão	230 kV	
Circuito	SIMPLES, COM 2 PÁRA-RAIOS	
Aplicação	SUSPENSÃO	
Vão básico (m)	500	
Ângulo de deflexão	0°	1°
Vão médio (m)	600	570
Vão gravante sem vento (m)	390 a 750 (condutor) e 390 a 800 (pára-raios)	
Vão gravante com vento (m)	195 a 900 (condutor) e 195 a 960 (pára-raios)	
Cabo pára-raios	cabo OPGW Ø15.5 mm ou cabo OPGW Ø14.1 mm ou CAA "DOTTEREL" 176.9 kcmil ou cabo de aço galvanizado Ø3/8" EAR	
Cabo condutor (2 cabos/fase)	CAL 823 kcmil (Al 1120)	

## 1.2 MATERIAIS EMPREGADOS

Aço estrutural:

ASTM A36	Fy = 2531 kgf/cm <sup>2</sup> (Tensão de fluência) Fu = 4077 kgf/cm <sup>2</sup> (Tensão de ruptura)
ASTM A572 GRAU 50	Fy = 3515 kgf/cm <sup>2</sup> (Tensão de fluência) Fu = 4570 kgf/cm <sup>2</sup> (Tensão de ruptura)
ASTM A572 GRAU 60	Fy = 4218 kgf/cm <sup>2</sup> (Tensão de fluência) Fu = 5273 kgf/cm <sup>2</sup> (Tensão de ruptura)

Parafusos (rosca excluída da seção de corte):

ASTM A394 TIPO "0"	Fv = 2620 kgf/cm <sup>2</sup> (Tensão admissível ao corte)
--------------------	--

Estais:

ASTM A475 (Ø11/16")	CR = 25000 kgf (Carga mínima de ruptura)
---------------------	--

## 1.3 NORMAS E ESPECIFICAÇÕES PARA DIMENSIONAMENTO

O dimensionamento da torre (barras e ligações) foi feito de acordo com a Norma ASCE 10-15 ("Design of Latticed Steel Transmission Structures"), adotando-se um coeficiente de minoração de resistências igual a 0.93. Isto significa que as tensões admissíveis utilizadas no dimensionamento estrutural foram obtidas multiplicando-se as tensões limites recomendadas pela ASCE pelo fator 0.93.

## 1.4 SOFTWARE USADO NO CÁLCULO

O cálculo estrutural foi feito com a utilização de programas de computador desenvolvidos por ENGETOWER, baseados no método dos elementos finitos e que fazem a análise estática não-linear de estruturas reticuladas. O modelo estrutural empregado foi o de treliça espacial.

## 2 ESQUEMA ESTRUTURAL

O desenho ENGETOWER n° 154.43-D1000 apresenta a silhueta da torre. Nesse desenho estão indicadas as barras carregadas (traço cheio) e respectivas denominações de cálculo, as barras redundantes (traço interrompido) e os painéis/níveis de aplicação das cargas devidas ao vento sobre a estrutura.

### 3 HIPÓTESES DE CARGA

#### 3.1 DEFINIÇÕES BÁSICAS

##### 3.1.1 CARACTERÍSTICAS DOS CABOS

- CABO CONDUTOR (2 cabos / fase):
  - CAL 823 kcmil (Al 1120)
  - A = área da seção transversal =  $4.1742 \text{ cm}^2$
  - $\emptyset$  = diâmetro =  $2.6530 \text{ cm}$
  - $\rho$  = peso =  $1.1508 \text{ kgf/m}$
  - CR = carga de ruptura =  $9299 \text{ kgf}$
  - Ef = módulo de elasticidade final =  $0.6520 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
  - $\alpha f$  = coeficiente de dilatação térmica linear final =  $2.3000 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$
  - Obs.: Informações acima para 1 cabo
- CABO PÁRA-RAIOS 1:
  - cabo OPGW  $\emptyset 15.5 \text{ mm}$
  - A = área da seção transversal =  $1.4100 \text{ cm}^2$
  - $\emptyset$  = diâmetro =  $1.5500 \text{ cm}$
  - $\rho$  = peso =  $0.8120 \text{ kgf/m}$
  - CR = carga de ruptura =  $11855 \text{ kgf}$
  - Ef = módulo de elasticidade final =  $1.3660 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
  - $\alpha f$  = coeficiente de dilatação térmica linear final =  $1.4300 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$
- CABO PÁRA-RAIOS 2:
  - cabo OPGW  $\emptyset 14.1 \text{ mm}$
  - A = área da seção transversal =  $1.1500 \text{ cm}^2$
  - $\emptyset$  = diâmetro =  $1.4100 \text{ cm}$
  - $\rho$  = peso =  $0.6080 \text{ kgf/m}$
  - CR = carga de ruptura =  $7684 \text{ kgf}$
  - Ef = módulo de elasticidade final =  $1.1998 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
  - $\alpha f$  = coeficiente de dilatação térmica linear final =  $1.4800 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$
- CABO PÁRA-RAIOS 3:
  - CAA "DOTTEREL", 176.9 kcmil
  - A = área da seção transversal =  $1.4193 \text{ cm}^2$
  - $\emptyset$  = diâmetro =  $1.5420 \text{ cm}$
  - $\rho$  = peso =  $0.6556 \text{ kgf/m}$
  - CR = carga de ruptura =  $7857 \text{ kgf}$
  - Ef = módulo de elasticidade final =  $1.0687 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
  - $\alpha f$  = coeficiente de dilatação térmica linear final =  $1.5300 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$
- CABO PÁRA-RAIOS 4:
  - cabo de aço galvanizado  $\emptyset 3/8" \text{ EAR}$
  - A = área da seção transversal =  $0.5108 \text{ cm}^2$
  - $\emptyset$  = diâmetro =  $0.9144 \text{ cm}$
  - $\rho$  = peso =  $0.4070 \text{ kgf/m}$
  - CR = carga de ruptura =  $6985 \text{ kgf}$
  - Ef = módulo de elasticidade final =  $1.8500 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$
  - $\alpha f$  = coeficiente de dilatação térmica linear final =  $1.1500 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$

##### 3.1.2 CADEIAS DE ISOLADORES

- CADEIA DE SUSPENSÃO I:
  - peso =  $70 \text{ kgf}$
  - Ae = área exposta ao vento  $\cong 0.519 \text{ m}^2$
- CADEIA DE SUSPENSÃO V:
  - peso =  $150 \text{ kgf}$
  - Ae = área exposta ao vento  $\cong 1.038 \text{ m}^2$

### 3.1.3 AÇÃO DO VENTO

#### 3.1.3.1 VENTO MÁXIMO

- De acordo com IEC/TR 60826, considerando-se período de integração igual a 2-3 segundos para a ação do vento sobre cabos, cadeia de isoladores e estrutura.
- T = período de retorno = 150 anos
- VR(50) = velocidade de referência do vento para T igual a 50 anos = 23.61 m/s (85 km/h)
- VR(150) = velocidade de referência do vento para T igual a 150 anos = 26.39 m/s (95 km/h)
- Terreno categoria "B" ( $K_r = 1.00$ )
- $q_0$  = pressão dinâmica de referência =  $1/2 \times \rho \times [K_r \times VR(150)]^2/g$ 
  - $\rho$  = massa específica do ar =  $1.151 \text{ kg/m}^3$
  - $g$  = aceleração da gravidade =  $9.81 \text{ m/s}^2$
  - $\Rightarrow q_0 = 40.9 \text{ kgf/m}^2$
- Obs.: A pressão dinâmica reduzida será tomada igual a 36% do valor acima calculado

#### 3.1.3.2 VENTO DE ALTA INTENSIDADE

- Será considerado vento com velocidade  $V_i = 43.06 \text{ m/s}$  (155 km/h), constante com a altura, atuando integralmente sobre a estrutura e sobre 25% do vão médio.
- $q_i$  = pressão dinâmica associada a  $V_i = 1/2 \times \rho \times V_i^2/g$ 
  - $\rho$  = massa específica do ar =  $1.151 \text{ kg/m}^3$
  - $g$  = aceleração da gravidade =  $9.81 \text{ m/s}^2$
  - $\Rightarrow q_i = 108.8 \text{ kgf/m}^2$

### 3.1.4 TRAÇÕES NOS CABOS

#### • ESTADOS DE CARGA:

- EDS: 24°C, sem vento
- Temperatura mínima: 7°C
- Temperatura máxima: 66°C no condutor e 40°C no pára-raios
- Vento máximo 90° (transversal), temperatura = 19°C
- Vento máximo 75°, temperatura = 19°C
- Vento máximo 60°, temperatura = 19°C
- Vento máximo 45°, temperatura = 19°C
- Vento máximo 30°, temperatura = 19°C
- Vento máximo 15°, temperatura = 19°C
- Vento máximo 0°, temperatura = 19°C
- Vento reduzido 90°, temperatura = 19°C

#### • Resultados, na condição final, para vãos básicos máximos da LT:

ESTADO DE CARGA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CONDUTOR(*)	1860	1950	1680	3594	3434	3006	2466	2050	1897	1885	2211
PÁRA-RAIOS 1	1458	1510	1414	2519	2418	2149	1817	1568	1480	1473	1663
PÁRA-RAIOS 2	1091	1131	1057	2125	2032	1781	1460	1206	1110	1102	1304
PÁRA-RAIOS 3	1179	1223	1140	2320	2218	1942	1587	1306	1200	1191	1415
PÁRA-RAIOS 4	733	754	715	1398	1337	1175	967	805	744	739	868

(\*) Trações para 1 cabo

Notas: a) Trações em kgf para vão básico de:

- $\Rightarrow$  cabo CONDUTOR: 500.0 m
- $\Rightarrow$  cabo PÁRA-RAIOS 1: 500.0 m
- $\Rightarrow$  cabo PÁRA-RAIOS 2: 500.0 m
- $\Rightarrow$  cabo PÁRA-RAIOS 3: 500.0 m
- $\Rightarrow$  cabo PÁRA-RAIOS 4: 500.0 m

b) Trações para condição final, considerando-se:

- $\Rightarrow$  cabo CONDUTOR: Tração final EDS = 20.0% de CR  
(flecha final condição EDS = 19.375 m)
- $\Rightarrow$  cabo PÁRA-RAIOS 1: Tração final EDS = 12.3% de CR  
(flecha final condição EDS = 17.430 m  $\rightarrow$  90% CONDUTOR)  
(flecha final temperatura mínima = 16.834 m  $\rightarrow$  91% CONDUTOR)

- ⇒ cabo PÁRA-RAIOS 2: Tração final EDS = 14.2% de CR  
(flecha final condição EDS = 17.441 m -> 90% CONDUTOR)  
(flecha final temperatura mínima = 16.827 m -> 91% CONDUTOR)
- ⇒ cabo PÁRA-RAIOS 3: Tração final EDS = 15.0% de CR  
(flecha final condição EDS = 17.412 m -> 90% CONDUTOR)  
(flecha final temperatura mínima = 16.774 m -> 91% CONDUTOR)
- ⇒ cabo PÁRA-RAIOS 4: Tração final EDS = 10.5% de CR  
(flecha final condição EDS = 17.369 m -> 90% CONDUTOR)  
(flecha final temperatura mínima = 16.891 m -> 91% CONDUTOR)
- c) Pressões máximas de vento sobre cabos:
- ⇒ cabo CONDUTOR : 77.89 kgf/m<sup>2</sup> (H = 19.0m G<sub>C</sub> = 2.07 G<sub>L</sub> = 0.92)
- ⇒ cabo PÁRA-RAIOS 1 : 81.65 kgf/m<sup>2</sup> (H = 25.0m G<sub>C</sub> = 2.17 G<sub>L</sub> = 0.92)
- ⇒ cabo PÁRA-RAIOS 2 : 81.65 kgf/m<sup>2</sup> (H = 25.0m G<sub>C</sub> = 2.17 G<sub>L</sub> = 0.92)
- ⇒ cabo PÁRA-RAIOS 3 : 81.65 kgf/m<sup>2</sup> (H = 25.0m G<sub>C</sub> = 2.17 G<sub>L</sub> = 0.92)
- ⇒ cabo PÁRA-RAIOS 4 : 81.65 kgf/m<sup>2</sup> (H = 25.0m G<sub>C</sub> = 2.17 G<sub>L</sub> = 0.92)
- d) Flechas na temperatura mínima para vão básico:
- ⇒ cabo CONDUTOR : 18.5 m
- ⇒ cabo PÁRA-RAIOS 1 : 16.8 m
- ⇒ cabo PÁRA-RAIOS 2 : 16.8 m
- ⇒ cabo PÁRA-RAIOS 3 : 16.8 m
- ⇒ cabo PÁRA-RAIOS 4 : 16.9 m
- e) Flechas na temperatura máxima para vão básico:
- ⇒ cabo CONDUTOR : 21.5 m
- f) Alturas médias dos cabos para vão básico:
- ⇒ cabo CONDUTOR: H = 7.5 + 21.5 + 1.3 - 2/3 x 18.5 =  
= 18.0 m (adotada: 19.0 m)  
Obs.: 7.5 m = distância mínima fase/solo  
1.3 m = distância típica fase inferior ao c.g. das fases
- ⇒ cabo PÁRA-RAIOS 1: H = 7.5 + 21.5 + 6.6 - 2/3 x 16.8 =  
= 24.4 m (adotada: 25.0 m)  
Obs.: 6.6 m = altura típica pára-raios em relação à fase inferior
- ⇒ cabo PÁRA-RAIOS 2: H = 7.5 + 21.5 + 6.6 - 2/3 x 16.8 =  
= 24.4 m (adotada: 25.0 m)  
Obs.: 6.6 m = altura típica pára-raios em relação à fase inferior
- ⇒ cabo PÁRA-RAIOS 3: H = 7.5 + 21.5 + 6.6 - 2/3 x 16.8 =  
= 24.4 m (adotada: 25.0 m)  
Obs.: 6.6 m = altura típica pára-raios em relação à fase inferior
- ⇒ cabo PÁRA-RAIOS 4: H = 7.5 + 21.5 + 6.6 - 2/3 x 16.9 =  
= 24.3 m (adotada: 25.0 m)  
Obs.: 6.6 m = altura típica pára-raios em relação à fase inferior
- g) Pressões máximas de vento sobre cabos para vão médio:
- ⇒ cabo CONDUTOR : 78.77 kgf/m<sup>2</sup> (H = 23.0m G<sub>C</sub> = 2.14 G<sub>L</sub> = 0.90)
- ⇒ cabo PÁRA-RAIOS 1 : 82.45 kgf/m<sup>2</sup> (H = 30.0m G<sub>C</sub> = 2.24 G<sub>L</sub> = 0.90)
- ⇒ cabo PÁRA-RAIOS 2 : 82.45 kgf/m<sup>2</sup> (H = 30.0m G<sub>C</sub> = 2.24 G<sub>L</sub> = 0.90)
- ⇒ cabo PÁRA-RAIOS 3 : 82.45 kgf/m<sup>2</sup> (H = 30.0m G<sub>C</sub> = 2.24 G<sub>L</sub> = 0.90)
- ⇒ cabo PÁRA-RAIOS 4 : 82.45 kgf/m<sup>2</sup> (H = 30.0m G<sub>C</sub> = 2.24 G<sub>L</sub> = 0.90)

### 3.1.5 CARGAS LONGITUDINAIS DECORRENTES DE RUPTURA DE CABO

- PÁRA-RAIOS: 1.25 x Tração EDS
- FASES: 0.70 x Tração EDS

### 3.1.6 CARGAS LONGITUDINAIS PARA CONTENÇÃO DE QUEDA EM CASCATA

- PÁRA-RAIOS: 0.60 x Tração EDS
- FASES: 0.40 x Tração EDS

### 3.1.7 HIPÓTESES DE CARGA E FATORES DE SOBRECARGA - SUSPENSÃO

- HIP. 1: Cabos intactos, com vento transversal máximo (90°)
- HIP. 2: Cabos intactos, com vento longitudinal máximo
- HIP. 3: Cabos intactos, com vento máximo a 45°, 60° ou 75°
- HIP. 4: Ruptura de 1 fase, sem vento
- HIP. 5: Ruptura de 1 pára-raios, sem vento
- HIP. 6: Construção/Manutenção, sem vento
- HIP. 7: Cabos intactos, com vento transversal de alta intensidade
- HIP. 8: Cabos intactos, com vento longitudinal de alta intensidade
- HIP. 9: Cabos intactos, com vento de alta intensidade a 45°, 60° ou 75°
- HIP. 10: Contenção de queda em cascata, sem vento
- HIP. 11: Grampeamento, sem vento
- Fatores de sobrecarga:
  - ⇒ Cargas transversais:
    - HIP. 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 e 10 : 1.00
    - HIP. 6 e 11 : 1.50
  - ⇒ Cargas verticais:
    - HIP. 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 e 10 : 1.15 (normais)  
ou 0.87 (reduzidas)
    - HIP. 6 e 11 : 1.50
    - Para hipóteses com cargas verticais reduzidas, fator de sobrecarga considerado para o peso próprio da estrutura: 0.87
  - ⇒ Cargas longitudinais:
    - HIP. 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9 e 10 : 1.00
    - HIP. 6 e 11 : 1.50

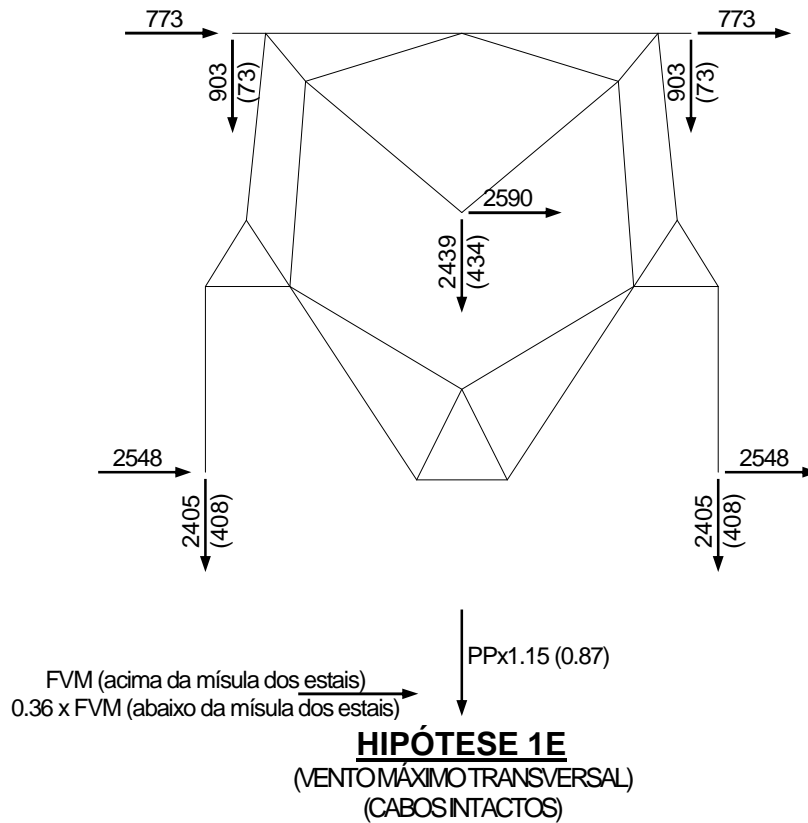
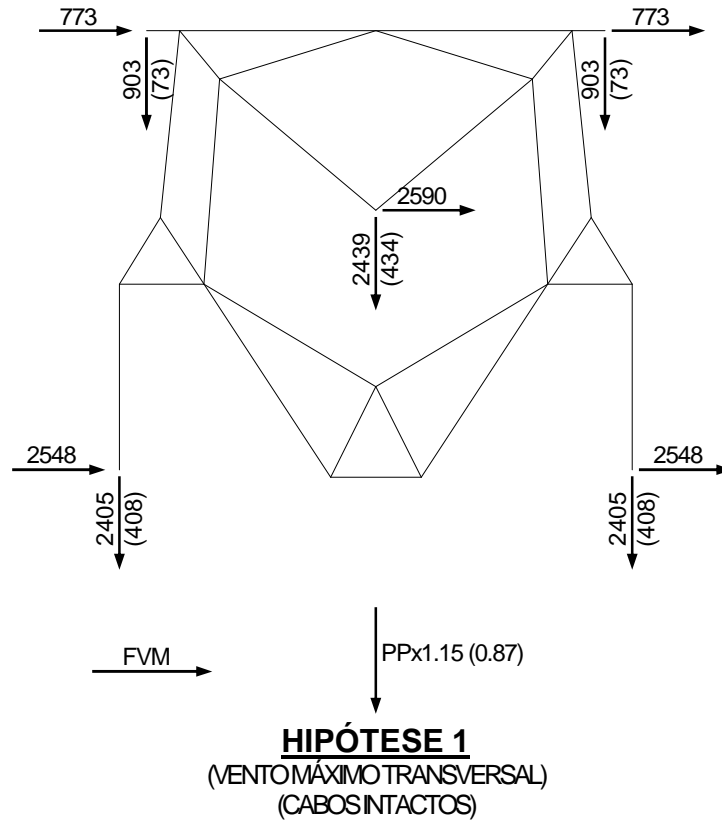
### 3.1.8 CARGAS POR HIPÓTESE

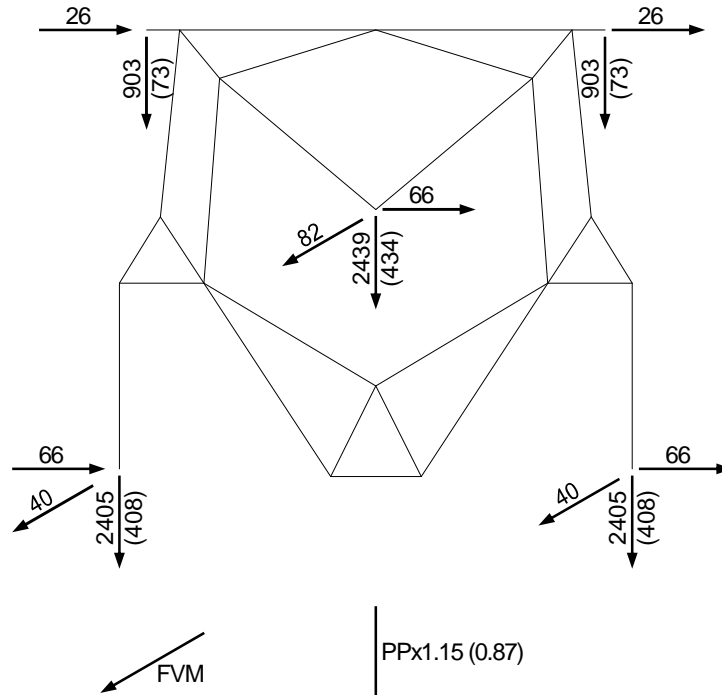
Notas:

1. Para as hipóteses com vento de alta intensidade (hip. 7, 8 e 9), considerou-se trações atuantes iguais às obtidas para Vento Reduzido (90°)

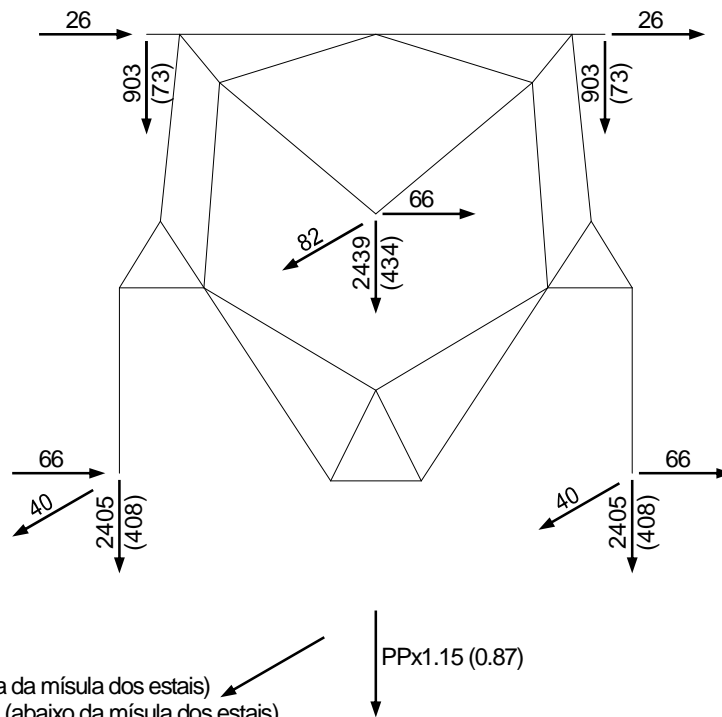


### 3.2 ÁRVORES DE CARGA

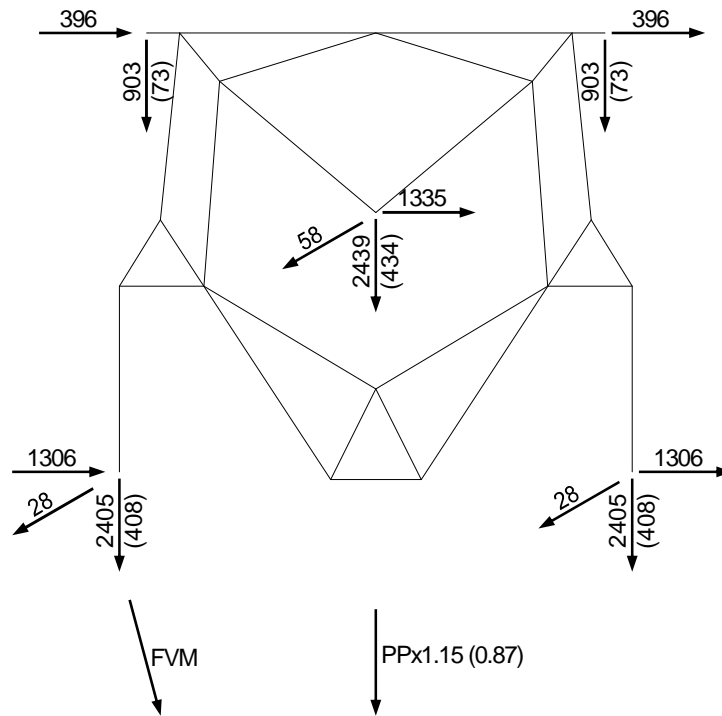




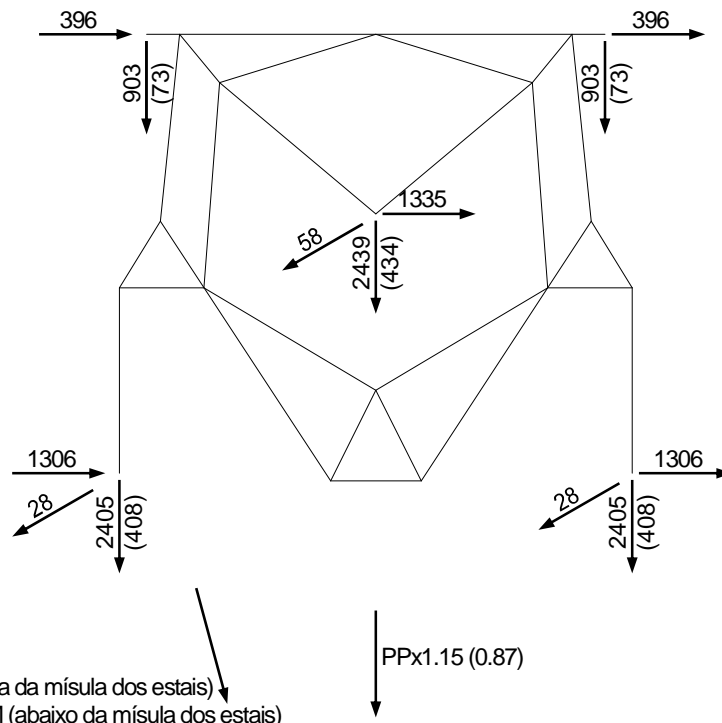
**HIPÓTESE 2**  
(VENTOMÁXIMOLONGITUDINAL)  
(CABOSINTACTOS)



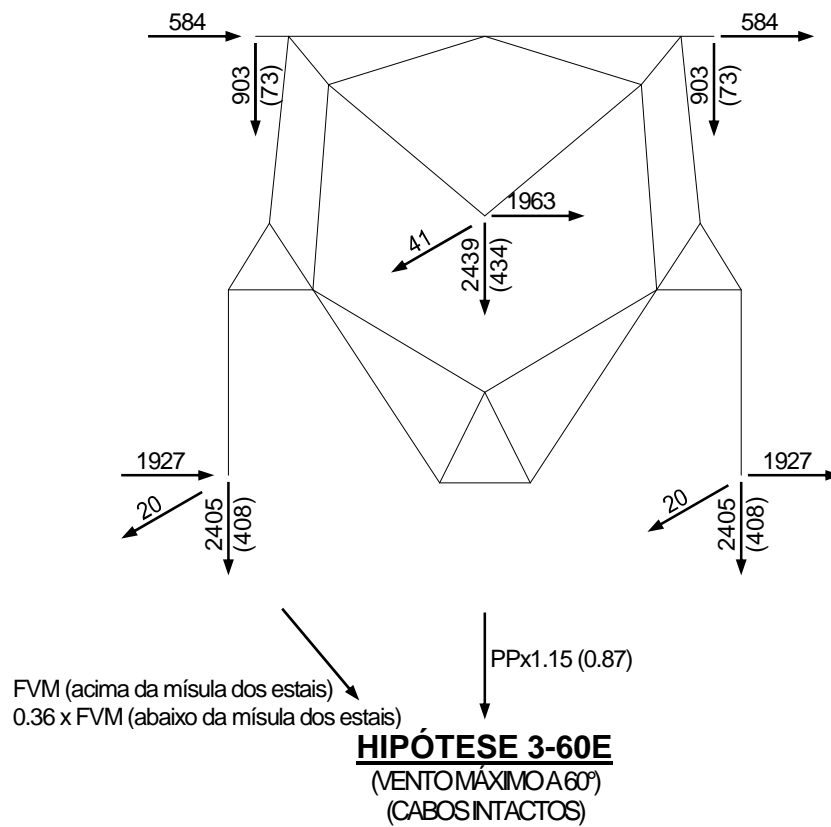
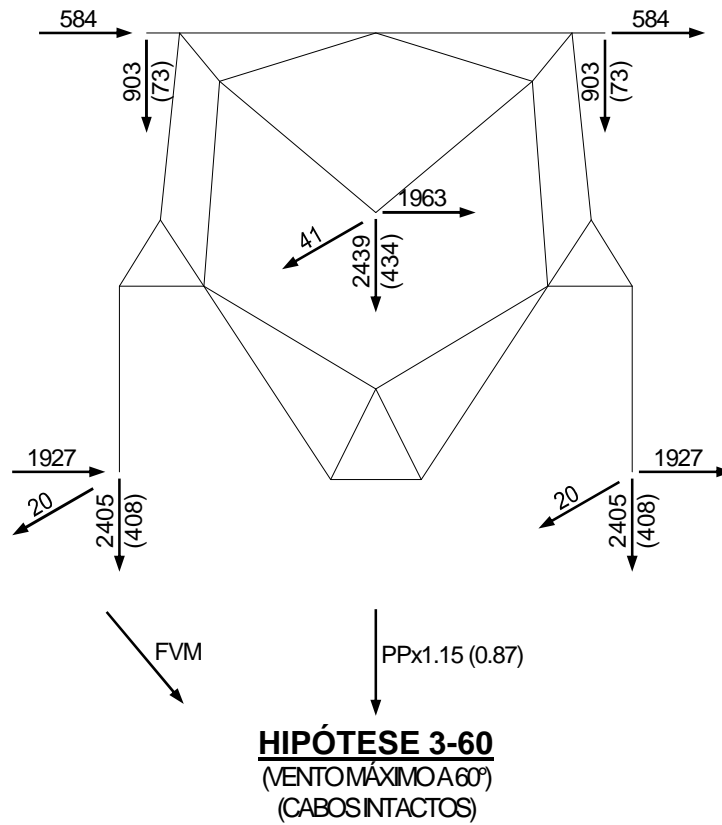
**HIPÓTESE 2E**  
(VENTOMÁXIMOLONGITUDINAL)  
(CABOSINTACTOS)

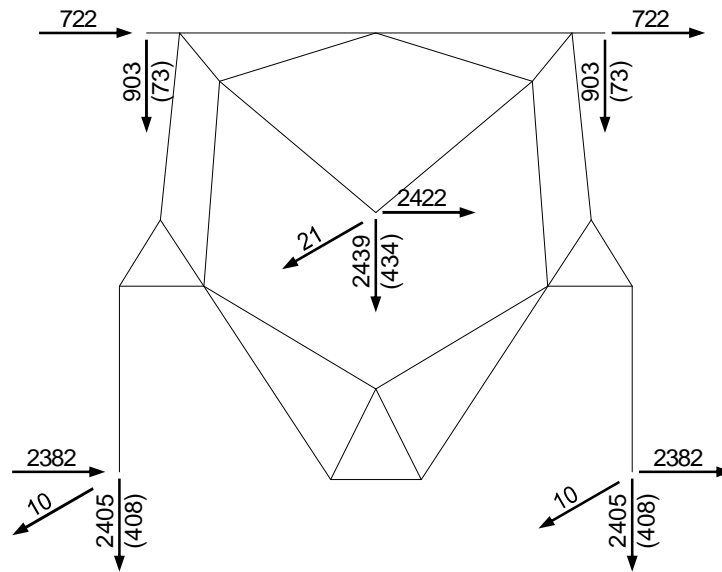


**HIPÓTESE 3**  
(VENTO MÁXIMO A 45°)  
(CABOS INTACTOS)



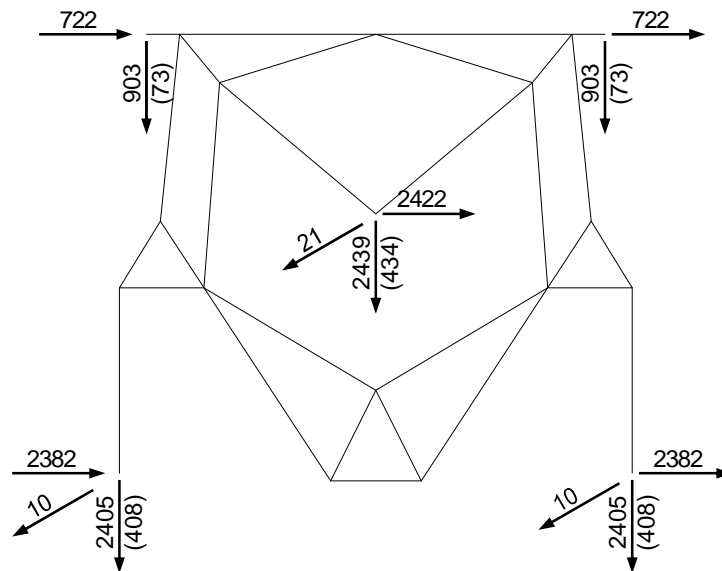
**HIPÓTESE 3E**  
(VENTO MÁXIMO A 45°)  
(CABOS INTACTOS)





FVM  
PPx1.15 (0.87)

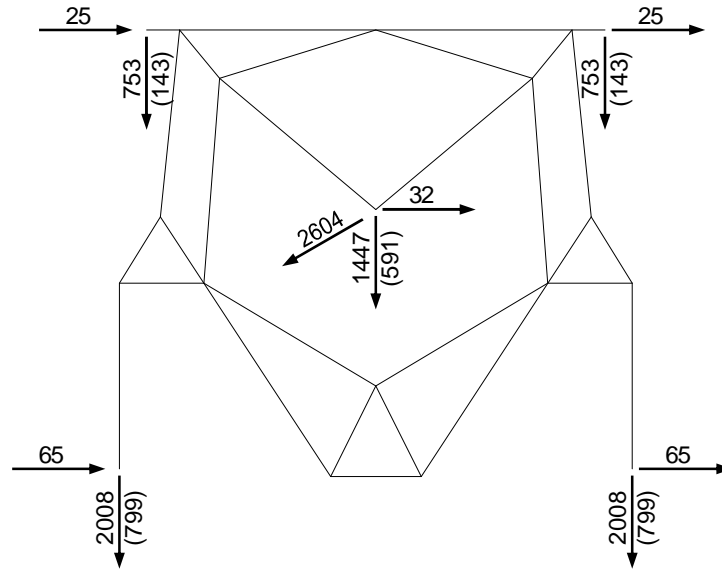
**HIPÓTESE 3-75**  
(VENTOMÁXIMO A 75°)  
(CABOS INTACTOS)



FVM (acima da mísula dos estais)  
0.36 x FVM (abaixo da mísula dos estais)

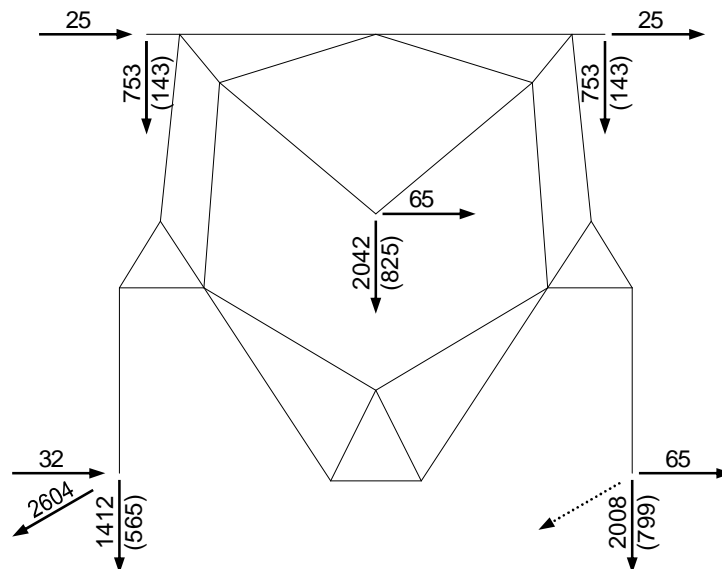
PPx1.15 (0.87)

**HIPÓTESE 3-75E**  
(VENTOMÁXIMO A 75°)  
(CABOS INTACTOS)



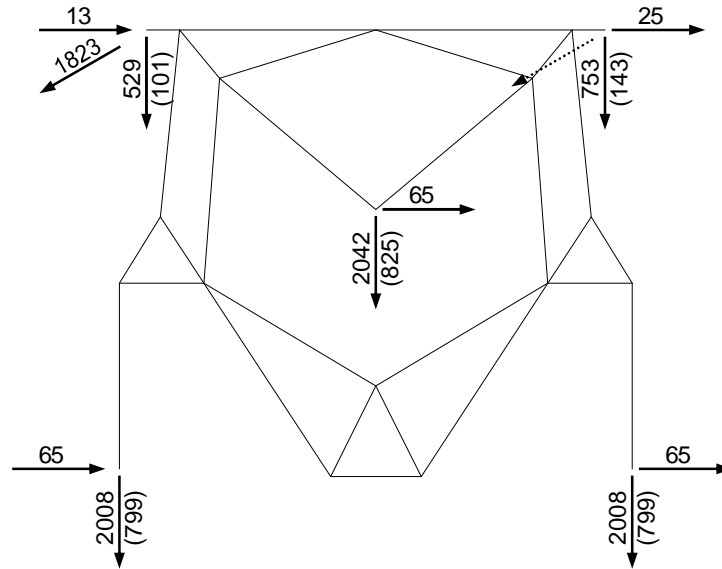
PPx1.15 (0.87)

**HIPÓTESE 4m**  
(SEM VENTO)  
(RUPTURA DA FASE CENTRAL)



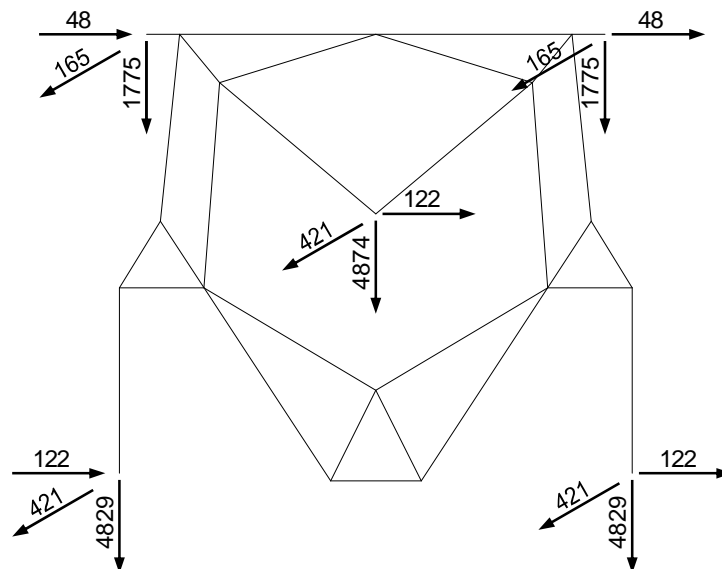
PPx1.15 (0.87)

**HIPÓTESE 4e e 4d**  
(SEM VENTO)  
(RUPTURA DE UMA FASE LATERAL)



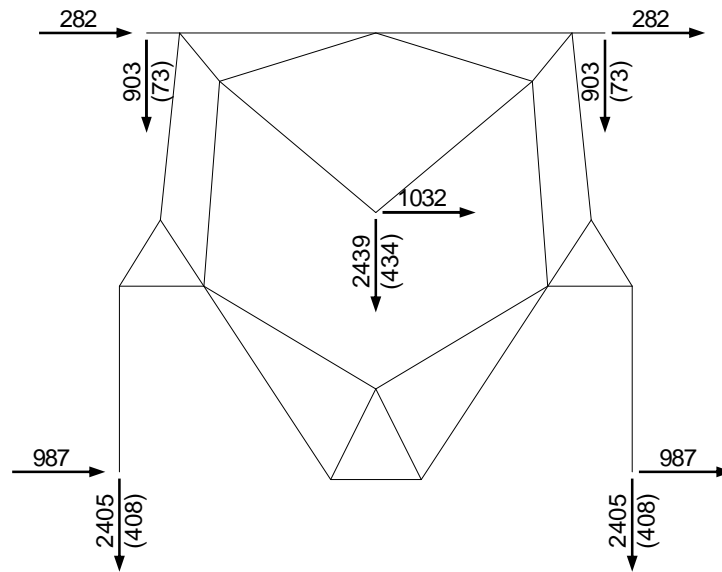
PPx1.15 (0.87)

**HIPÓTESE 5**  
(SEM VENTO)  
(RUPTURA DE UM PÁRA-RAIOS)



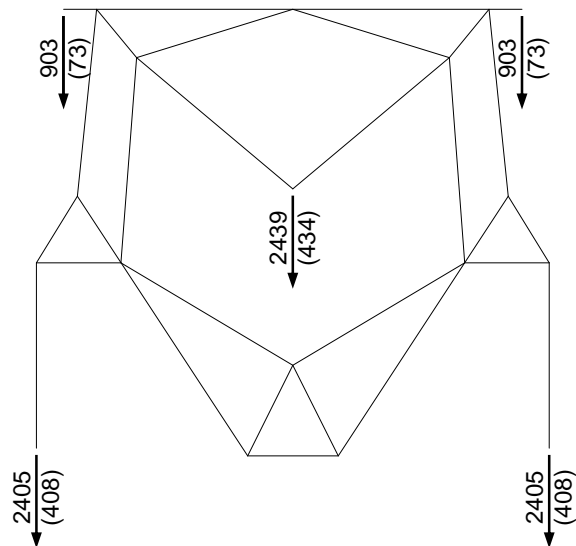
PPx1.5

**HIPÓTESE 6**  
(SEM VENTO)  
(CONSTRUÇÃO/MANUTENÇÃO)



FVI  
PPx1.15 (0.87)

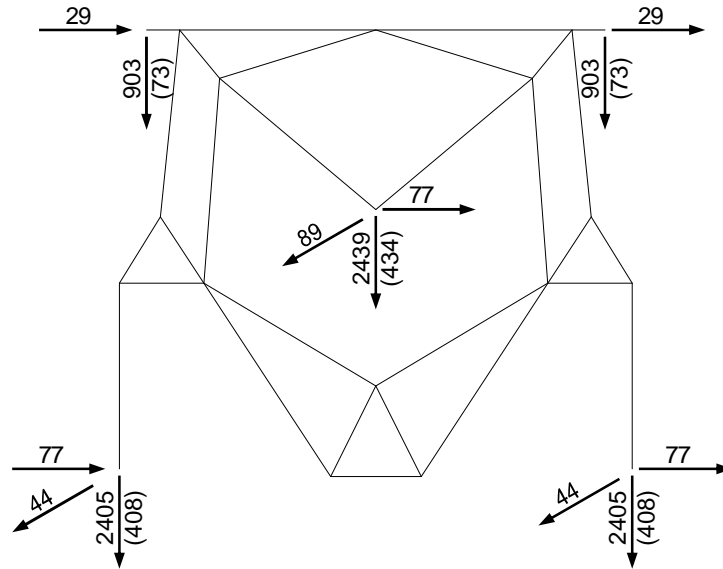
**HIPÓTESE 7**  
(VENTO DE ALTA INTENSIDADE TRANSVERSAL)  
(CABOS INTACTOS)



FVI  
PPx1.15 (0.87)

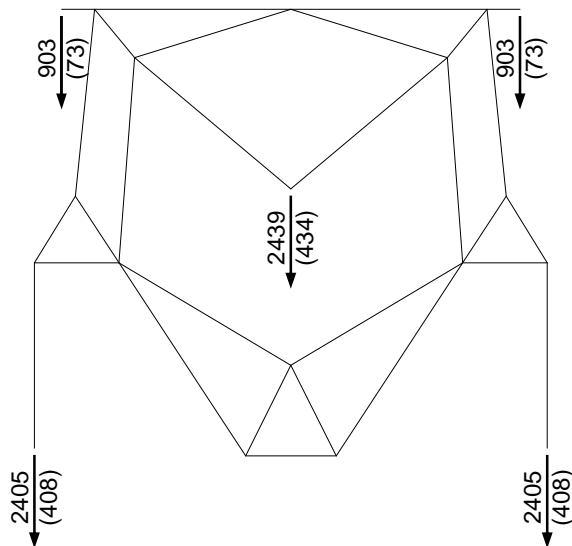
**HIPÓTESE 7E**  
(VENTO DE ALTA INTENSIDADE TRANSVERSAL)  
(CABOS INTACTOS)





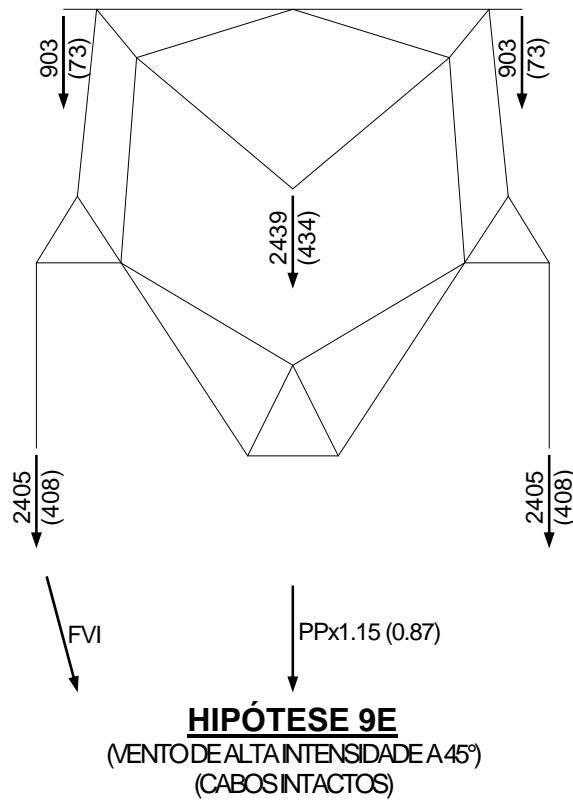
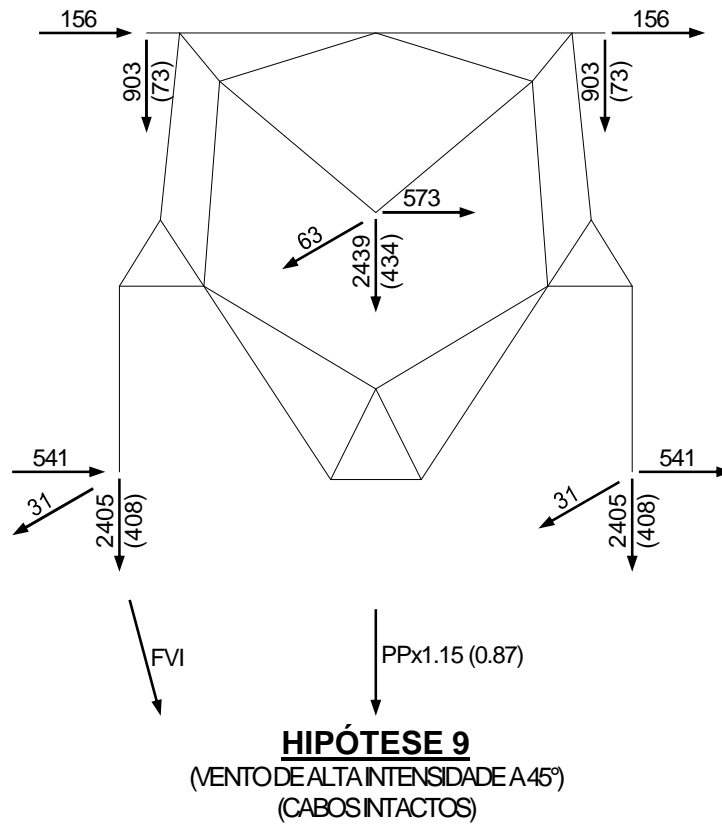
FVI  
PPx1.15 (0.87)

**HIPÓTESE 8**  
(VENTO DE ALTA INTENSIDADE LONGITUDINAL)  
(CABOS INTACTOS)

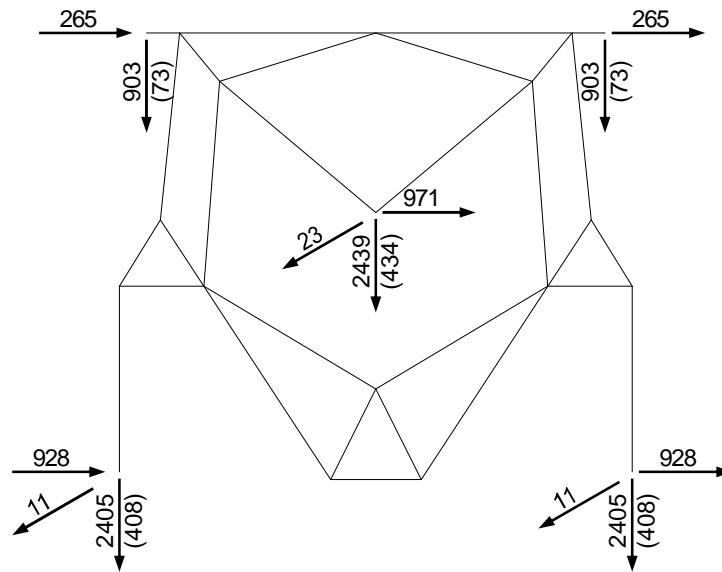


FVI  
PPx1.15 (0.87)

**HIPÓTESE 8E**  
(VENTO DE ALTA INTENSIDADE LONGITUDINAL)  
(CABOS INTACTOS)

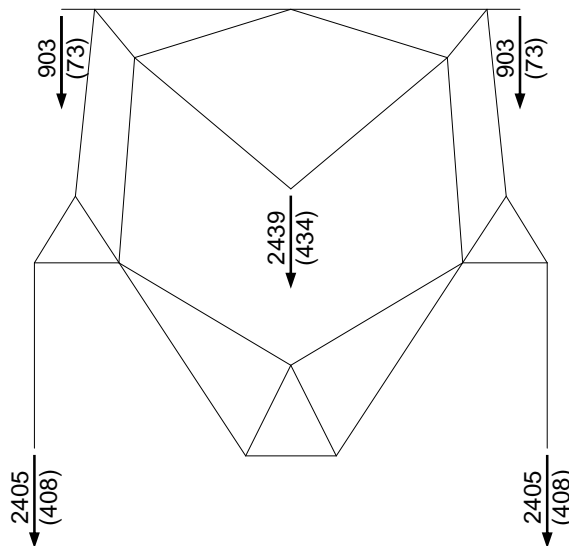






FVI  
PPx1.15 (0.87)

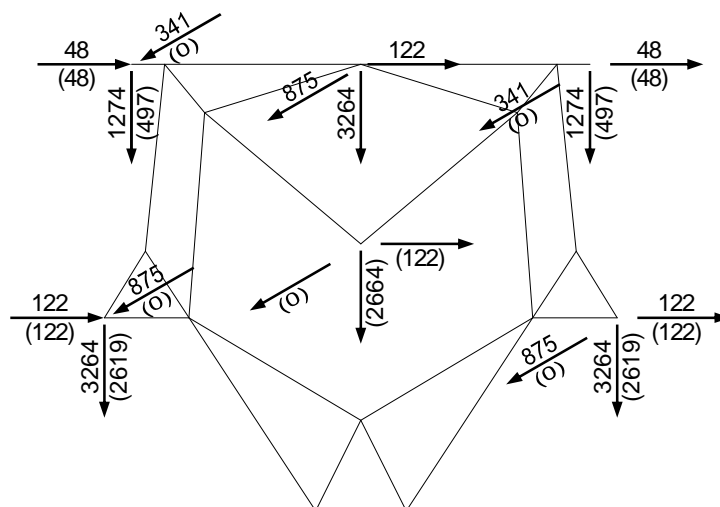
**HIPÓTESE 9-75**  
(VENTO DE ALTA INTENSIDADE A 75°)  
(CABOS INTACTOS)



FVI  
PPx1.15 (0.87)

**HIPÓTESE 9-75E**  
(VENTO DE ALTA INTENSIDADE A 75°)  
(CABOS INTACTOS)

**HIPÓTESE 10**  
(SEM VENTO)  
(CONTENÇÃO DE QUEDA EM CASCATA)



**HIPÓTESE 11**  
(SEM VENTO)  
(GRAMPEAMENTO)

### 3.3 NOTAS PARA ÁRVORES DE CARGA

- a) Cargas são últimas (incluem os respectivos fatores de sobrecarga) e estão em kgf.
- b) **FVM** indica a força devida à ação do vento máximo sobre a própria torre e **FVI** indica a força devida à ação do vento de alta intensidade. Para cálculo de **FVM** e **FVI**, ver páginas seguintes.
- c) **PP** indica o peso próprio da torre.
- d) Vento sobre a estrutura nas hipóteses **1E, 2E, 3E, 3-60E e 3-75E**:
  - Acima da mísula dos estais: vento máximo, produzindo forças iguais a **FVM**;
  - Abaixo da mísula dos estais: vento reduzido (igual a 60% da velocidade máxima de vento), produzindo forças iguais a **0.36 x FVM**.
- e) As árvores de carga apresentadas representam as hipóteses de carga básicas consideradas no cálculo. Algumas destas hipóteses foram desdobradas para a análise estrutural, conforme se esclarece nas notas subsequentes.
- f) **Hipóteses 4** (ruptura de uma fase): **e** na denominação da hipótese de carga indica carga longitudinal na fase da esquerda, **d** indica carga longitudinal na fase da direita e **m** indica carga longitudinal na fase central.
- g) **Hipóteses 5** (ruptura de um pára-raios): **e** na denominação da hipótese de carga indica carga longitudinal no PR da esquerda e **d** indica carga longitudinal no PR da direita.
- h) **Hipóteses 6** (construção/manutenção):
  - Ae**: cargas somente no PR esquerdo;
  - Ad**: cargas somente no PR direito;
  - B**: cargas somente nos 2 PR's;
  - Ce**: cargas somente nos 2 PR's e na fase da esquerda;
  - Cd**: cargas somente nos 2 PR's e na fase da direita;
  - Cm**: cargas somente nos 2 PR's e na fase central;
  - De**: sem as cargas da fase da esquerda;
  - Dd**: sem as cargas da fase da direita;
  - Dm**: sem as cargas da fase central;
  - E**: todas as cargas aplicadas.
- i) **Hipóteses 11** (grampeamento):
 

OBS.: 1) Para cabos em grampeamento, considerar cargas fora de parênteses na árvore de carga;

2) Para cabos só lançados ou já grampeados, considerar cargas entre parênteses na árvore de carga;

3) Fase central em grampeamento: aplicar cargas no ponto auxiliar para içamento/grampeamento dessa fase.

Nos desdobramentos abaixo especificados, considerar cargas de cabos só lançados/já grampeados nos pontos onde não houver cabos em grampeamento:

  - Ae**: cargas de grampeamento somente no PR esquerdo;
  - Ad**: cargas de grampeamento somente no PR direito;
  - B**: cargas de grampeamento somente nos 2 PR's;
  - Ce**: cargas de grampeamento somente nos 2 PR's e na fase da esquerda;
  - Cd**: cargas de grampeamento somente nos 2 PR's e na fase da direita;
  - Cm**: cargas de grampeamento somente nos 2 PR's e na fase central;
  - De**: sem as cargas de grampeamento da fase da esquerda;
  - Dd**: sem as cargas de grampeamento da fase da direita;
  - Dm**: sem as cargas de grampeamento da fase central;
  - E**: todas as cargas de grampeamento aplicadas.
- j) **R** na denominação da hipótese de carga indica cargas verticais mínimas (valores entre parênteses nas árvores de carga).
- k) **`** na denominação da hipótese de carga indica inversão do sentido das cargas longitudinais.

## 4 CARGAS DEVIDAS AO VENTO SOBRE A TORRE

### 4.1 CARGAS DEVIDAS AO VENTO MÁXIMO SOBRE A TORRE

As cargas devidas à ação do vento máximo sobre a torre foram calculadas conforme metodologia da Publicação IEC/TR 60826, considerando-se a seguinte pressão dinâmica de referência:

- vento máximo:  $q_0 = 40.9 \text{ kgf/m}^2$ .

### 4.2 CARGAS DEVIDAS AO VENTO DE ALTA INTENSIDADE SOBRE A TORRE

As cargas devidas à ação do vento de alta intensidade sobre a torre foram calculadas com base na seguinte pressão dinâmica, constante ao longo da altura:

- vento de alta intensidade:  $q_i = 108.8 \text{ kgf/m}^2$ .

### 4.3 CARGAS DEVIDAS AO VENTO, POR PAINEL

Painel	H (m)	Ae (m <sup>2</sup> )	Ab (m <sup>2</sup> )	Ae/Ab	Ca	Gt	FW (kgf)	FWi (kgf)
1	46.80	1.27	9.39	0.14	3.19	2.47	409	441
		2.89	9.18	0.31	2.49		727	783
2	42.60	1.15	7.74	0.15	3.14	2.43	359	393
		1.74	6.68	0.26	2.67		462	505
3	39.40	2.22	9.72	0.23	2.79	2.40	608	674
		2.53	10.61	0.24	2.75		683	757
4	33.40	1.51	7.95	0.19	2.96	2.35	430	486
5	27.40	1.48	7.50	0.20	2.92	2.28	403	470
6	21.40	1.48	7.50	0.20	2.92	2.20	389	470
7	15.40	1.48	7.50	0.20	2.92	2.09	369	470
8	9.40	1.48	7.50	0.20	2.92	1.94	343	470
9	3.40	0.63	2.13	0.30	2.52	1.67	108	173
10	18.40	1.12	5.63	0.20	2.92	2.15	288	356
11	13.90	1.12	5.63	0.20	2.92	2.06	276	356

#### NOTAS:

1. Para indicação dos painéis de vento, ver desenho ENGETOWER nº 154.43-D1000.
2. A linha superior refere-se à face longitudinal da torre (vento transversal) e a linha inferior refere-se à face transversal da torre (vento longitudinal).
3. H = altura sobre o solo.
4. Gt = fator de rajada (para terreno com rugosidade B).
5. Ae = área exposta ao vento.
6. Ab = área de contorno associada a Ae.
7. Ca = coeficiente de arrasto (calculado com base na relação Ae/Ab).
8. FW e FWi = componente transversal (FWT) ou longitudinal (FWL) das forças de vento FVM e FVI.
9. FW =  $q_0 \times Gt \times Ca \times Ae$ , onde  $q_0 = 40.9 \text{ kgf/m}^2$ .
10. FWi =  $q_i \times Ca \times Ae$ , onde  $q_i = 108.8 \text{ kgf/m}^2$ .
11. As forças devidas à ação do vento sobre os estais não estão incluídas na tabela acima. Para o valor considerado para esta força, ver nota seguinte.
12. FWe = força devida ao vento máximo sobre 1 estai:  
60 kgf (torre H=39.9m) ou 44 kgf (torre H=30.9m) ou 28 kgf (torre H=21.9m)  
FWei= força devida ao vento de alta intensidade sobre 1 estai:  
70 kgf (torre H=39.9m) ou 54 kgf (torre H=30.9m) ou 38 kgf (torre H=21.9m).

## 4.4 CARGAS DEVIDAS AO VENTO, POR NÍVEL

VENIO MÁXIMO (kgf)					
NÍVEL	VENIO a 90° (TRANSVERSAL)	VENIO a 0° (LONGITUDINAL)	VENIO a 45°	VENIO a 60°	VENIO a 75°
	FWT (FWL = 0)	(FWT = 0) FWL	FWT = FWL	FWT/FWL	FWT/FWL
1	409	364	328	396/229	412/110
2	768	595	578	722/417	767/206
3	663	573	524	638/368	666/179
3*	120	120	84	104/60	116/32
4	519	557	456	526/304	529/142
5	417	417	353	415/239	422/113
6	396	396	336	394/228	402/108
7	379	379	322	377/218	384/103
8	356	356	302	355/205	361/97
9	226	226	191	225/130	229/61
10	54+120	54+120	46+84	54+104/31+60	55+116/15+32
11	359	359	305	358/206	364/98
12	282	282	239	281/162	286/77
13	310	310	263	308/178	314/84
14	387	387	328	385/222	392/105

VENIO DE ALTA INTENSIDADE (kgf)					
NÍVEL	VENIO a 90° (TRANSVERSAL)	VENIO a 0° (LONGITUDINAL)	VENIO a 45°	VENIO a 60°	VENIO a 75°
	FWT (FWL = 0)	(FWT = 0) FWL	FWT = FWL	FWT/FWL	FWT/FWL
1	441	392	353	427/246	444/119
2	834	644	627	783/452	833/223
3	730	631	577	702/406	734/197
3*	140	140	100	120/72	136/36
4	580	622	510	588/339	591/158
5	478	478	406	476/275	485/130
6	470	470	399	468/270	477/128
7	470	470	399	468/270	477/128
8	470	470	399	468/270	477/128
9	322	322	273	320/185	326/87
10	87+140	87+140	73+100	86+120/50+72	88+136/24+36
11	421	421	357	419/242	427/114
12	356	356	302	355/205	361/97
13	413	413	350	411/237	419/112
14	478	478	406	476/275	485/130

### NOTAS:

1. Para indicação dos níveis de vento, ver desenho ENGETOWER nº 154.43-D1000.
2. O nível 3\* corresponde à ponta superior dos estais.
3. Para obtenção dos valores acima, as cargas para vento transversal referentes aos painéis 1 e 2, determinadas no sub-item anterior, foram multiplicadas por 2, de modo a levar em conta a presença, na cabeça da torre, de 4 faces treliçadas interpondo-se à passagem do vento.
4. FWT = componente transversal das forças de vento FVM ou FVL.  
FWL = componente longitudinal das forças de vento FVM ou FVL.  

$$FWT = [1 + 0.2\sin^2(2\theta)] \times (FW(V.TRANSV)\sin^2\theta + FW(V.LONGIT)\cos^2\theta) \times \sin\theta$$

$$FWL = [1 + 0.2\sin^2(2\theta)] \times (FW(V.TRANSV)\sin^2\theta + FW(V.LONGIT)\cos^2\theta) \times \cos\theta$$
5. As forças indicadas nos níveis 3\* e 10 (segunda parcela) correspondem à carga devida à ação do vento sobre os estais na torre H=39.9m.



## 5 DIMENSIONAMENTO DE BARRAS E CONEXÕES

### NOTAS :

- 1 - As forças máximas indicadas são últimas, ou seja, incluem os fatores de sobrecarga especificados.
- 2 - Aços estruturais : ASTM/A36  
ASTM/A572, grau 50 (indicado por ASTM A572)  
ASTM/A572, grau 60 (indicado por ASTM A572\*)
- 3 - Parafusos : ASTM/A394, tipo 0
- 4 - Estais : ASTM/A475 (Ø11/16", com carga mínima de ruptura = 25000 kgf)
- 5 - Módulo de elasticidade longitudinal :
  - Perfis e chapas : 2038894 kgf/cm<sup>2</sup>
  - Estais : 1600000 kgf/cm<sup>2</sup>
- 6 - Tensão de cisalhamento máxima nos parafusos : 2620 kgf/cm<sup>2</sup>
  - O valor acima foi estabelecido considerando-se que os parafusos estão permanentemente submetidos a uma carga de tração de cerca de 40% de sua carga de ruptura, tração esta produzida pelo torque com que são instalados.
  - Para a determinação da resistência ao cisalhamento dos parafusos, considerou-se rosca excluída da seção de corte.
- 7 - Tensão de esmagamento considerando bordas padrões ( $F_p = 1.0833 \times F_u$ ) :
  - Aço ASTM/A36 : 4417 kgf/cm<sup>2</sup>
  - Aço ASTM/A572, grau 50 : 4950 kgf/cm<sup>2</sup>
  - Aço ASTM/A572, grau 60 : 5712 kgf/cm<sup>2</sup>
- 8 - Curvas de flambagem (dimensionamento à compressão): conforme "Design of Latticed Steel Transmission Structures" (Norma ASCE 10-15), itens 3.6 e 3.7.
- 9 - Área líquida ( $A_n$ ) para o dimensionamento à tração :
  - Cantoneiras presas em uma só aba :  $A_n = 0.90 \times (A_b - A_a)$
  - Cantoneiras presas em ambas as abas :  $A_n = A_b - A_a$

onde :    -  $A_b$  = Área bruta  
             -  $A_a$  = Área dos furos
- 10 - Na análise estrutural, considerou-se que os estais estavam pré-tensionados com uma carga igual a 8% de sua carga mínima de ruptura ( $0.08 \times$  de 25000 = 2000 kgf).
- 11 - No dimensionamento das barras e conexões, e também dos estais (item 7) e do apoio da base do mastro (item 8), adotou-se um coeficiente de minoração de resistências igual a 0.93, ou seja, as tensões e cargas admissíveis utilizadas foram obtidas multiplicando-se os valores limites pelo fator 0.93.

VERIFICACAO DOS PERFILADOS E LIGACOES

ENERGISA - LT's 230 kV C.S. - TORRE TIPO E2EL

CONVENCOES ADOTADAS

NB = DENOMINACAO DA BARRA  
 HIP = HIPOTESE DE CARREGAMENTO GOVERNANTE  
 FMAX= ESFORCO MAXIMO (KGF)  
 L = COMPRIMENTO DE FLAMBAGEM CRITICO (CM)  
 R = RAO DE GIRACAO CRITICO (CM)  
 A = AREA DA SECAO TRANSVERSAL (CM<sup>2</sup>)  
 ESB = ESBELTEZ CRITICA EFETIVA  
 C = CURVA DO ASCE P/ CORRECAO DA ESBELTEZ  
 TA = TENSÃO ADMISSIVEL NA BARRA (KGF/CM<sup>2</sup>)  
 FA = ESFORCO ADMISSIVEL NA BARRA (KGF)  
 NP = NUMERO DE PARAFUSOS  
 D = DIAMETRO DO PARAFUSO (MM)  
 SD = CISALHAMENTO DUPLO NO CORPO DO PARAFUSO (SECAO DUPLA)  
 FCA = FORÇA DE CISALHAMENTO ADMISSIVEL NA LIGACAO (KGF)  
 FEA = FORÇA DE ESMAGAMENTO ADMISSIVEL NA LIGACAO (KGF)  
 EC = ESPESSURA DA CHAPA ADOTADA P/ CALCULO DE FEA (MM)  
 % = TAXAS MAXIMAS DE TRABALHO (%) - BARRA/LIGACAO

VERIFICACAO DOS PERFILADOS E LIGACOES																
NB	* HIP	* FMAX	* L	* BITOLA	* R	* A	*ESB	* C	* TA	* FA	*NP	D	SD*	FCA	* FEA/EC*	%
CS1a	1ER	-5235	83	1L60x60x4	1.18	4.71	83	2	2236	-10531	3	12.7		9260	7017	.50
	1E	5146		ASTIM-A572		3.44			3269	11246					4.0	.75
CS1b	1ER	-4877	75	1L60x60x4	1.18	4.71	78	2	2343	-11035	3	12.7		9260	7017	.44
	3-75	4782		ASTIM-A572		3.44			3269	11246					4.0	.70
CS2a	3-75	-5837	156	1L60x60x4	1.83	4.71	94	2	1977	-9309	3	12.7		9260	7017	.63
	3-75	4987		ASTIM-A572		3.10			3269	10122					4.0	.83
CS2b	1ER	-2312	156	1L60x60x4	1.83	4.71	94	2	1977	-9309	3	12.7		9260	7017	.32
	11De	3263		ASTIM-A572		3.10			3269	10122					4.0	.47
CS3	1ER	-1830	132	1L50x50x3	0.99	2.96	133	4	1052	-3114	2	12.7		6173	3508	.59
	3-75	1797		ASTIM-A572		1.81			3269	5907					3.0	.52
CI1	3-75	-5645	90	1L60x60x4	1.18	4.71	87	2	2137	-10063	3	12.7		9260	7017	.56
	3-75	5343		ASTIM-A572		3.10			3269	10122					4.0	.80
CI2a	11De	-7247	171	1L60x60x4	1.83	4.71	100	2	1820	-8572	4	12.7		12346	9355	.85
	1ER	4923		ASTIM-A572		3.10			3269	10122					4.0	.77
CI2b	11De	-7889	136	1L60x60x4	1.83	4.71	86	2	2170	-10220	4	12.7		12346	9355	.77
	10`R	3732		ASTIM-A572		3.10			3269	10122					4.0	.84
TM	6De	3167	141	1L40x40x3	0.78	1.69	181	4	3269	5513	2	12.7		6173	3508	.57
				ASTIM-A572											3.0	.90
PM	4e	-3762	152	1L60x60x4	1.83	4.71	102	3	1782	-8391	3	12.7		9260	7017	.45
	4d`R	3345		ASTIM-A572		3.10			3269	10122					4.0	.54
BV1	5e	-1421	54	1L60x60x4	1.18	4.71	64	2	2592	-12207	1	12.7		3087	2339	.12
	5d`R	699		ASTIM-A572		3.10			3269	10122					4.0	.61
BV2	6Dd	-1303	114	1L40x40x3	0.78	2.35	146	4	875	-2057	1	12.7		3087	1754	.63
				ASTIM-A572											3.0	.74
BV3	1ER	-416	117	1L60x60x4	1.18	4.71	110	3	1557	-7336	1	12.7		3087	2339	.11
	1	1092		ASTIM-A572		3.10			3269	10122					4.0	.47
BV4	11Dd	-258	55	2L60x60x4	1.18	9.42	65	2	2581	-24313	2	12.7		6173	4678	.01
	11Dd	233		ASTIM-A572		6.19			3269	20243					4.0	.06
BV5	1ER	-1109	110	1L40x40x3	0.78	2.35	141	4	940	-2210	1	12.7		3087	1754	.50
	1ER	100		ASTIM-A572		1.69			3269	5513					3.0	.63
BP1	5e`	-686	92	1L40x40x3	0.78	2.35	119	3	1321	-3105	1	12.7		3087	1754	.22
	5d`R	876		ASTIM-A572		1.69			3269	5513					3.0	.50
BP2	1ER	-273	107	1L75x75x5	2.29	7.36	83	3	2223	-16359	1	12.7		3087	2924	.02
	1E	334		ASTIM-A572		5.20			3269	16985					5.0	.11

Nota: Se necessário por razões de detalhamento, o perfil laminado da barra BV4 poderá ser substituído por perfil em chapa dobrada de dimensão igual ou superior.

DVEL

ENERGISA - LT's 230 kV C.S. - TORRE TIPO E2EL

PAG. 2

VERIFICACAO DOS PERFILADOS E LIGACOES																
NB	* HIP *	FMAX	* L *	BITOLA	* R *	A	*ESB*	C	* TA *	FA	*NP	D	SD*	FCA	* FEA/EC*	%
BP3	6De	-1613	95	1L40x40x3 ASTM-A572	0.78	2.35	122	4	1261	-2962	1	12.7		3087	1754 3.0	.54 .92
BP4	6Dd	905	108	1L40x40x3 ASTM-A572	0.78	1.69	138	4	3269	5513	1	12.7		3087	1754 3.0	.16 .52
DP	6Ad 6Ae	-132 285	81	1L40x40x3 ASTM-A572	0.78	2.35 1.26	112	3	1493 3269	-3508 4112	1	12.7		3087	1754 3.0	.07 .16
VF	5d`R 5e`	-1530 3031	116	1L40x40x3 ASTM-A572	0.78	2.35 1.69	149	4	846 3269	-1987 5513	2	12.7		6173	3508 3.0	.77 .86
DVa	3-75 3-75R	-6790 4850	104	1L65x65x4 ASTM-A572	1.28	5.13 3.47	101	3	1771 3269	-9084 11357	3	12.7		9260	7017 4.0	.75 .97
DVb	5d`R 3-75	-1473 2804	111	1L40x40x3 ASTM-A572	0.78	2.35 1.69	142	4	923 3269	-2170 5513	2	12.7		6173	3508 3.0	.68 .80
DVc	3-75 5d`R	-2785 1437	117	1L50x50x3 ASTM-A572	0.99	2.96 2.24	119	3	1319 3269	-3903 7308	2	12.7		6173	3508 3.0	.71 .79
DVd	5d`R 3-75	-1204 2338	104	1L40x40x3 ASTM-A572	0.78	2.35 1.69	133	4	1052 3269	-2472 5513	2	12.7		6173	3508 3.0	.49 .67
DVla	5dR 4m`R	-1305 2062	88	1L40x40x4 ASTM-A572	0.78	3.08 2.20	116	3	1380 3269	-4250 7194	1	12.7		3087	2339 4.0	.31 .88
DVlb	5e` 5e`	-1335 1531	89	1L40x40x3 ASTM-A572	0.78	2.35 1.69	116	2	1400 3269	-3290 5513	1	12.7		3087	1754 3.0	.41 .87
DVlc	5e` 5d	-1288 1352	91	1L40x40x3 ASTM-A572	0.78	2.35 1.69	118	3	1335 3269	-3138 5513	1	12.7		3087	1754 3.0	.41 .77
DH1	11Dd 11Dd	-387 415	87	1L40x40x3 ASTM-A572	0.78	2.35 1.69	114	2	1448 3269	-3402 5513	1	12.7		3087	1754 3.0	.11 .24
DH2	11Dd 11Dd	-417 396	87	1L40x40x3 ASTM-A572	0.78	2.35 1.69	114	2	1448 3269	-3402 5513	1	12.7		3087	1754 3.0	.12 .24
DH3	11Cm 5d`	-19 18	107	2L100x100x7 ASTM-A572*	3.06	27.32 22.59	77	3	2562 3923	-69998 88615	4	12.7		12346	11694 5.0	.00 .00
GEa	10 10`R	-15037 9216	96	1L75x75x6 ASTM-A572*	1.47	8.75 6.16	79	2	2641 3923	-23106 24168						.65
GEb	10 10`R	-18584 12206	128	1L75x75x6 ASTM-A572*	2.28	8.75 6.85	56	1	3275 3923	-28657 26854						.65
GEc	10 10`R	-21388 15412	96	1L75x75x6 ASTM-A572*	1.47	8.75 6.85	65	1	3046 3923	-26655 26854	10	12.7		30866	40481 6.0	.80 .69

ENERGISA

LT's 230 kV C.S. DI2-PAL C1, DI2-GUR C1 e DI2-BR2 C1  
TORRE TIPO E2EL

28 R00

DVEL

ENERGISA - LT's 230 kV C.S. - TORRE TIPO E2EL

PAG. 3

VERIFICACAO DOS PERFILADOS E LIGACOES																
NB	* HIP	* FMAX	* L	* BITOLA	* R	* A	*ESB	* C	* TA	* FA	*NP	D	SD*	FCA	* FEA/EC*	%
GI1	1ER	-6343	111	1L60x60x4	1.18	4.71	101	2	1808	-8514	4	12.7		12346	9355	.80
	11Cm	9025		ASTIM-A572		3.44			3269	11246					4.0	.96
GI2	1ER	-12790	84	2L45x45x4	1.35	6.98	77	2	2433	-16980	4	12.7SD		24693	16696	.81
	1E	13537		ASTIM-A572		5.14			3269	16801					8.0	.81
DGI	10`	-2542	88	1L40x40x3	0.78	2.35	115	2	1424	-3345	2	12.7		6173	3508	.76
	10`R	2068		ASTIM-A572		1.69			3269	5513					3.0	.72
DG2	10`R	-2020	89	1L40x40x3	0.78	2.35	116	2	1400	-3290	2	12.7		6173	3508	.61
	10`	2426		ASTIM-A572		1.69			3269	5513					3.0	.69
DG3	10`	-2381	90	1L40x40x3	0.78	2.35	117	2	1377	-3236	2	12.7		6173	3508	.74
	10`R	1919		ASTIM-A572		1.69			3269	5513					3.0	.68
BQT	11Cm	-5891	150	2L60x60x4	1.82	9.42	101	3	1792	-16879	4	12.7SD		24693	16696	.50
	10`R	10194		ASTIM-A572		6.19			3269	20243					8.0	.61
BQL	1R	-6486	125	1L65x65x4	1.28	5.13	109	3	1572	-8067	4	12.7		12346	9355	.80
	1E	1235		ASTIM-A572		3.47			3269	11357					4.0	.69
DQ	5e	-736	98	1L40x40x3	0.78	2.35	126	4	1185	-2784	2	12.7		6173	3508	.26
	4dR	1008		ASTIM-A572		1.69			3269	5513					3.0	.29
TME	3-75	-153	204	2L60x60x4	1.83	9.42	116	3	1396	-13151	10	12.7		30866	23389	.84
	1	20107		ASTIM-A572		7.33			3269	23980					4.0	.86
PME	1R	-7589	151	1L75x75x5	1.48	7.36	111	3	1517	-11168	3	12.7		9260	8771	.68
	5d`R	621		ASTIM-A572		5.20			3269	16985					5.0	.87
QPE	10`R	-6664	148	1L65x65x4	1.98	5.13	97	3	1845	-9465	3	12.7		9260	7017	.70
	10`	3943		ASTIM-A572		3.47			3269	11357					4.0	.95
Q'PE	6Dd	-20	129	1L50x50x3	0.99	2.96	130	4	1101	-3260	2	12.7		6173	3508	.58
	1	3409		ASTIM-A572		1.81			3269	5907					3.0	.97
DQE	5e`R	-1114	98	1L40x40x3	0.78	2.35	126	4	1185	-2784	1	12.7		3087	1754	.40
	5d`	1416		ASTIM-A572		1.69			3269	5513					3.0	.81
M1	10`	-19502	140	1L75x75x6	2.28	8.75	76	2	2734	-23922	8	12.7		24693	32384	.82
	10`R	9503		ASTIM-A572*		6.85			3923	26854					6.0	.79
M2a	10	-24382	153	1L75x75x6	2.28	8.75	67	1	2997	-26226						.93
	10R	11506		ASTIM-A572*		6.85			3923	26854						
M2b	10	-23308	153	1L75x75x6	2.28	8.75	67	1	2997	-26226						.89
	10R	10611		ASTIM-A572*		6.85			3923	26854						
M2c	10	-22446	153	1L75x75x6	2.28	8.75	67	1	2997	-26226	8	12.7		24693	32384	.86
	10R	9744		ASTIM-A572*		6.85			3923	26854					6.0	.91

ENERGISA

LT's 230 kV C.S. DI2-PAL C1, DI2-GUR C1 e DI2-BR2 C1  
TORRE TIPO E2EL

29 R00

DVEL

ENERGISA - LT's 230 kV C.S. - TORRE TIPO E2EL

PAG. 4

VERIFICACAO DOS PERFILADOS E LIGACOES																
NB	* HIP *	FMAX	* L *	BITOLA	* R *	A	*ESB*	C	* TA *	FA	*NP	D	SD*	FCA	* FEA/EC*	%
D1	1	-7456	204	1L65x65x5	1.98	6.34	112	3	1504	-9534	3	12.7		9260	8771	.78
	5eR	4580		ASTIM-A572		4.99			3269	16319					5.0	.85
D2a	9-60	-976	166	1L45x45x3	0.88	2.66	189	4	526	-1398	1	12.7		3087	1754	.70
	9-60	1026		ASTIM-A572		1.97			3269	6425					3.0	.58
D2b	9-60	-1032	165	1L45x45x3	0.88	2.66	188	4	532	-1415	1	12.7		3087	1754	.73
	9-60	989		ASTIM-A572		1.97			3269	6425					3.0	.59
D2c	9-60	-998	164	1L45x45x3	0.88	2.66	186	4	538	-1432	1	12.7		3087	1754	.70
	9-60	1040		ASTIM-A572		1.97			3269	6425					3.0	.59
D2d	9-60	-1049	162	1L45x45x3	0.88	2.66	184	4	552	-1468	1	12.7		3087	1754	.71
	9-60	1005		ASTIM-A572		1.97			3269	6425					3.0	.60
D2e	9-60	-1014	161	1L45x45x3	0.88	2.66	183	4	559	-1486	1	12.7		3087	1754	.68
	9-60	1056		ASTIM-A572		1.97			3269	6425					3.0	.60
D2f	9-60	-1066	160	1L45x45x3	0.88	2.66	182	4	566	-1505	1	12.7		3087	1754	.71
	9-60	1026		ASTIM-A572		1.97			3269	6425					3.0	.61
D'1	1E	-1714	189	1L45x45x3	1.36	2.66	139	4	968	-2576	2	12.7		6173	3508	.67
	6Cd	456		ASTIM-A572		1.97			3269	6425					3.0	.49
D'2a	10`	-1568	150	1L50x50x3	0.99	2.96	152	4	815	-2411	1	12.7		3087	1754	.65
	10	1560		ASTIM-A572		2.24			3269	7308					3.0	.89
D'2b	10	-1572	152	1L50x50x3	0.99	2.96	154	4	793	-2348	1	12.7		3087	1754	.67
	10`	1529		ASTIM-A572		2.24			3269	7308					3.0	.90
D'2c	10`	-1552	154	1L50x50x3	0.99	2.96	156	4	773	-2288	1	12.7		3087	1754	.68
	10	1528		ASTIM-A572		2.24			3269	7308					3.0	.88
D'2d	10	-1547	155	1L50x50x3	0.99	2.96	157	4	763	-2258	1	12.7		3087	1754	.69
	10`	1512		ASTIM-A572		2.24			3269	7308					3.0	.88
D'2e	10`	-1527	157	1L50x50x3	0.99	2.96	159	4	744	-2201	1	12.7		3087	1754	.69
	10	1510		ASTIM-A572		2.24			3269	7308					3.0	.87
D'2f	10	-1510	159	1L50x50x3	0.99	2.96	161	4	725	-2146	1	12.7		3087	1754	.70
	10`	1493		ASTIM-A572		2.24			3269	7308					3.0	.86
Q1	9-60	-157	140	1L50x50x3	0.99	2.96	141	4	935	-2768	1	12.7		3087	1754	.06
	9-60	142		ASTIM-A572		1.81			3269	5907					3.0	.09
Q'1	10R	-247	140	1L50x50x3	0.99	2.96	141	4	935	-2768	1	12.7		3087	1754	.09
	10	503		ASTIM-A572		1.81			3269	5907					3.0	.29
DQ1	5eR	-207	99	1L40x40x3	0.78	2.35	127	4	1161	-2728	1	12.7		3087	1754	.08
	5d	283		ASTIM-A572		1.69			3269	5513					3.0	.16

ENERGISA

LT's 230 kV C.S. DI2-PAL C1, DI2-GUR C1 e DI2-BR2 C1  
TORRE TIPO E2EL

30 R00

DVPL

ENERGISA - LT's 230 kV C.S. - TORRE TIPO E2EL

PAG. 5

VERIFICACAO DOS PERFILADOS E LIGACOES																
NB	* HIP	* FMAX	* L	* BITOLA	* R	* A	* ESB	* C	* TA	* FA	* NP	D	SD	* FCA	* FEA/EC	%
M3a	10	-21709	150	1L75x75x6	2.28	8.75	66	1	2651	-23199	8	12.7		24693	28066	.94
	10R	8828		ASTIM-A572		6.85			3269	22378					6.0	.88
M3b	10	-21667	150	1L75x75x6	2.28	8.75	66	1	2651	-23199						.93
	10R	8747		ASTIM-A572		6.85			3269	22378						
M3c	10	-21603	150	1L75x75x6	2.28	8.75	66	1	2651	-23199						.93
	10R	8641		ASTIM-A572		6.85			3269	22378						
M3d	10	-21499	150	1L75x75x6	2.28	8.75	66	1	2651	-23199	8	12.7		24693	28066	.93
	10R	8510		ASTIM-A572		6.85			3269	22378					6.0	.87
D3a	10	-814	158	1L45x45x3	0.88	2.66	180	4	580	-1543	1	12.7		3087	1754	.53
	10`	816		ASTIM-A572		1.97			3269	6425					3.0	.47
D3b	10`	-851	156	1L40x40x3	0.78	2.35	200	4	468	-1099	1	12.7		3087	1754	.77
	10	821		ASTIM-A572		1.69			3269	5513					3.0	.49
D3c	10	-864	155	1L40x40x3	0.78	2.35	199	4	474	-1113	1	12.7		3087	1754	.78
	10`	859		ASTIM-A572		1.69			3269	5513					3.0	.49
D3d	10`	-901	153	1L40x40x3	0.78	2.35	196	4	486	-1142	1	12.7		3087	1754	.79
	10	873		ASTIM-A572		1.69			3269	5513					3.0	.51
D3e	10`	-916	151	1L40x40x3	0.78	2.35	194	4	499	-1173	1	12.7		3087	1754	.78
	10	913		ASTIM-A572		1.69			3269	5513					3.0	.52
D3f	10	-955	150	1L40x40x3	0.78	2.35	192	4	506	-1188	1	12.7		3087	1754	.80
	10`	929		ASTIM-A572		1.69			3269	5513					3.0	.54
D3g	10`	-971	148	1L40x40x3	0.78	2.35	190	4	519	-1221	1	12.7		3087	1754	.80
	10	971		ASTIM-A572		1.69			3269	5513					3.0	.55
D3h	10	-1000	147	1L40x40x3	0.78	2.35	188	4	527	-1237	1	12.7		3087	1754	.81
	10`	988		ASTIM-A572		1.69			3269	5513					3.0	.57
Q2	9-60	-309	125	1L50x50x3	0.99	2.96	126	4	1173	-3472	1	12.7		3087	1754	.09
	9-60ER	204		ASTIM-A572		1.81			3269	5907					3.0	.18
DQ2	1	-73	177	1L40x40x3	1.21	2.35	146	4	874	-2054	1	12.7		3087	1754	.04
				ASTIM-A572											3.0	.04
M4a	10	-16142	150	1L75x75x5	2.29	7.36	66	1	2572	-18928	8	12.7		24693	23389	.85
	9ER	3627		ASTIM-A572		5.77			3269	18872					5.0	.69
M4b	3-60	-14972	150	1L75x75x5	2.29	7.36	66	1	2572	-18928						.79
	9ER	2524		ASTIM-A572		5.77			3269	18872						
M4c	3-60	-14004	150	1L75x75x5	2.29	7.36	66	1	2572	-18928						.74
	9ER	1418		ASTIM-A572		5.77			3269	18872						

ENERGISA

LT's 230 kV C.S. DI2-PAL C1, DI2-GUR C1 e DI2-BR2 C1  
TORRE TIPO E2EL

31 R00

VERIFICACAO DOS PERFILADOS E LIGACOES																
NB	* HIP	* FMAX	* L	* BITOLA	* R	* A	*ESB	* C	* TA	* FA	*NP	D	SD*	FCA	* FEA/EC*	%
M4d	3-60	-13013	150	1L60x60x5	1.82	5.82	82	1	2299	-13383	6	12.7	SD	37039	17542	.97
	9ER	308		ASTIM-A572		4.23			3269	13837					5.0	.74
D4	10	-1339	146	1L45x45x3	0.88	2.66	166	4	679	-1807	1	12.7		3087	1754	.74
	10	1330		ASTIM-A572		1.97			3269	6425					3.0	.76
ME	10	-21464	150	1L75x75x6	2.28	8.75	66	1	2651	-23199	8	12.7		24693	28066	.93
	10R	8277		ASTIM-A572		6.85			3269	22378					6.0	.87
DE	10	-939	146	1L45x45x3	0.88	2.66	166	4	679	-1807	1	12.7		3087	1754	.52
	10	932		ASTIM-A572		1.97			3269	6425					3.0	.54
MB	1	-12486	88	1L60x60x5	1.17	5.82	75	1	2462	-14326	6	12.7		18520	17542	.87
				ASTIM-A572											5.0	.71
QB	3-75	2189	125	1L50x50x3	0.99	1.81	126	4	3269	5907	2	12.7		6173	3508	.37
				ASTIM-A572											3.0	.62

#### Verificação da barra de fixação do cabo pára-raios:

- \* Perfil: 2L 90x90x6 - ASTM A572 grau 60  
 $A = \text{área} = 2 \times 10.60 = 21.20 \text{ cm}^2$   
 $W = \text{módulo de rigidez à flexão} = 2 \times 12.20 = 24.40 \text{ cm}^3$
- \* Verificação para hipótese 5:  
 $fb < 13 / 21.20 + (529 + 1823) \times 35.0 / 24.40 = 3374 \text{ kgf/cm}^2 < 0.93 \times 4218 = 3923 \text{ kgf/cm}^2$
- \* Verificação para hipótese 6:  
 $fb < 48 / 21.20 + (1775 + 165) \times 35.0 / 24.40 = 2785 \text{ kgf/cm}^2 < 0.93 \times 4218 = 3923 \text{ kgf/cm}^2$

#### Verificação da barra BP2 (apoio da barra de fixação do cabo pára-raios):

- \* Perfil: L 75x75x5 - ASTM A572  
 $W = \text{módulo de rigidez à flexão} = 7.10 \text{ cm}^3$
- \* Verificação para hipótese 6:  
 $fb = 1775 \times 35.0 \times 106.5 / (75.0 \times 4 \times 7.10) = 3106 \text{ kgf/cm}^2 < 0.93 \times 3515 = 3269 \text{ kgf/cm}^2$

#### Verificação da barra DH3 (fixação para grampeamento da fase central):

- \* Perfil: 2L 100x100x7 - ASTM A572 grau 60  
 $W = \text{módulo de rigidez à flexão} = 2 \times 17.50 = 35.00 \text{ cm}^3$
- \* Verificação para hipótese 11:  
 $fb < (122 + 3264) \times 106.5 / (4 \times 35.00) = 2576 \text{ kgf/cm}^2 < 0.93 \times 4218 = 3923 \text{ kgf/cm}^2$



## 6 CARGAS ÚLTIMAS SOBRE FUNDAÇÃO DO MASTRO

### 6.1 CARGAS MÁXIMAS - TODAS AS ALTURAS DE TORRE

-1-

ENERGISA - LT's 230 kV C.S. - TORRE TIPO E2EL

CARGAS SOBRE FUNDAÇÃO

FORMAÇÃO DAS ALTURAS DE TORRE

- 1 = H=39.9m
- 2 = H=30.9m
- 3 = H=21.9m

RESUMO DAS CARGAS ÚLTIMAS MÁXIMAS SOBRE FUNDAÇÕES - SISTEMA RETANGULAR

NOTAS :

- 1 - Cargas em (kgf).
- 2 - Sistema de referencia :
  - \* V - indica força vertical.
  - \* T - indica força horizontal transversal que atua com V.
  - \* L - indica força horizontal longitudinal que atua com V.
- 3 - Para a força V, o sinal "-" indica força de compressão.
- 4 - As cargas são últimas (incluem os fatores de sobrecarga especificados para o cálculo da estrutura, mas não incluem qualquer fator adicional de sobrecarga específico para fundações).

CARGAS COM VERTICAL DE COMPRESSÃO

Hip.= 1	T =	405	V =	-40800	L =	0	COMB.=	1
Hip.= 9-75ER	T =	1564	V =	-14349	L =	306	COMB.=	1
Hip.= 10`	T =	-95	V =	-29807	L =	2459	COMB.=	3
Hip.= 10	T =	-96	V =	-29807	L =	-2459	COMB.=	3
Hip.= 3-75	T =	491	V =	-39484	L =	107	COMB.=	1
Hip.= 1	T =	103	V =	-39595	L =	0	COMB.=	2
Hip.= 1E	T =	-310	V =	-39100	L =	-0	COMB.=	1
Hip.= 3-60	T =	588	V =	-38153	L =	336	COMB.=	1
Hip.= 1E	T =	-644	V =	-37741	L =	0	COMB.=	3
Hip.= 9	T =	1092	V =	-30591	L =	849	COMB.=	1
Hip.= 9-60	T =	1263	V =	-31251	L =	543	COMB.=	1
Hip.= 10R	T =	-64	V =	-23909	L =	-2336	COMB.=	3
Hip.= 10`R	T =	-64	V =	-23909	L =	2336	COMB.=	3

## 6.2 CARGAS MÁXIMAS - TORRE COM ALTURA H=39.9m

-2-

ENERGISA - LT's 230 kV C.S. - TORRE TIPO E2EL - H=39.9m

RESUMO DAS CARGAS ÚLTIMAS MÁXIMAS SOBRE FUNDACOES - SISTEMA RETANGULAR

NOTAS :

- 1 - Cargas em (kgf).
- 2 - Sistema de referencia :
  - \* V - indica força vertical.
  - \* T - indica força horizontal transversal que atua com V.
  - \* L - indica força horizontal longitudinal que atua com V.
- 3 - Para a força V, o sinal "-" indica força de compressão.
- 4 - As cargas são últimas (incluem os fatores de sobrecarga especificados para o cálculo da estrutura, mas não incluem qualquer fator adicional de sobrecarga específico para fundações).

CARGAS COM VERTICAL DE COMPRESSÃO

Hip.= 1	T =	405	V =	-40800	L =	0	COMB.= 1
Hip.= 9-75ER	T =	1564	V =	-14349	L =	306	COMB.= 1
Hip.= 10`	T =	-68	V =	-28739	L =	1393	COMB.= 1
Hip.= 9ER	T =	1282	V =	-17246	L =	966	COMB.= 1
Hip.= 9-60ER	T =	1516	V =	-16400	L =	648	COMB.= 1
Hip.= 3-75	T =	491	V =	-39484	L =	107	COMB.= 1
Hip.= 1E	T =	-310	V =	-39100	L =	-0	COMB.= 1
Hip.= 3-60	T =	588	V =	-38153	L =	336	COMB.= 1
Hip.= 3-75E	T =	-240	V =	-37768	L =	-58	COMB.= 1
Hip.= 3	T =	607	V =	-34688	L =	575	COMB.= 1
Hip.= 9	T =	1092	V =	-30591	L =	849	COMB.= 1
Hip.= 9-60	T =	1263	V =	-31251	L =	543	COMB.= 1
Hip.= 9E	T =	1241	V =	-26341	L =	914	COMB.= 1
Hip.= 9-60E	T =	1474	V =	-25456	L =	606	COMB.= 1
Hip.= 9-75	T =	1282	V =	-30313	L =	229	COMB.= 1

## 6.3 CARGAS MÁXIMAS - TORRE COM ALTURA H=30.9m

-3-

ENERGISA - LT's 230 kV C.S. - TORRE TIPO E2EL - H=30.9m

RESUMO DAS CARGAS ÚLTIMAS MÁXIMAS SOBRE FUNDACOES - SISTEMA RETANGULAR

NOTAS :

- 1 - Cargas em (kgf).
- 2 - Sistema de referencia :
  - \* V - indica força vertical.
  - \* T - indica força horizontal transversal que atua com V.
  - \* L - indica força horizontal longitudinal que atua com V.
- 3 - Para a força V, o sinal "-" indica força de compressão.
- 4 - As cargas são últimas (incluem os fatores de sobrecarga especificados para o cálculo da estrutura, mas não incluem qualquer fator adicional de sobrecarga específico para fundações).

CARGAS COM VERTICAL DE COMPRESSÃO

Hip.= 1	T =	103	V =	-39595	L =	0	COMB.= 2
Hip.= 9-75ER	T =	1232	V =	-12940	L =	198	COMB.= 2
Hip.= 10`	T =	-80	V =	-28925	L =	1757	COMB.= 2
Hip.= 10	T =	-80	V =	-28925	L =	-1757	COMB.= 2
Hip.= 1E	T =	-458	V =	-38371	L =	0	COMB.= 2
Hip.= 3-75	T =	181	V =	-38497	L =	11	COMB.= 2
Hip.= 3-75E	T =	-386	V =	-37087	L =	-118	COMB.= 2
Hip.= 3-60	T =	298	V =	-36949	L =	137	COMB.= 2
Hip.= 9-60	T =	942	V =	-29682	L =	312	COMB.= 2
Hip.= 9	T =	822	V =	-28907	L =	510	COMB.= 2
Hip.= 10R	T =	-52	V =	-22917	L =	-1654	COMB.= 2
Hip.= 10`R	T =	-52	V =	-22917	L =	1654	COMB.= 2

## 6.4 CARGAS MÁXIMAS - TORRE COM ALTURA H=21.9m

-4-

ENERGISA - LT's 230 kV C.S. - TORRE TIPO E2EL - H=21.9m

RESUMO DAS CARGAS ÚLTIMAS MÁXIMAS SOBRE FUNDACOES - SISTEMA RETANGULAR

NOTAS :

- 1 - Cargas em (kgf).
- 2 - Sistema de referencia :
  - \* V - indica força vertical.
  - \* T - indica força horizontal transversal que atua com V.
  - \* L - indica força horizontal longitudinal que atua com V.
- 3 - Para a força V, o sinal "-" indica força de compressão.
- 4 - As cargas são últimas (incluem os fatores de sobrecarga especificados para o cálculo da estrutura, mas não incluem qualquer fator adicional de sobrecarga específico para fundações).

CARGAS COM VERTICAL DE COMPRESSÃO

Hip.= 1	T =	-231	V =	-38510	L =	0	COMB.= 3
Hip.= 6De	T =	-917	V =	-26013	L =	-522	COMB.= 3
Hip.= 10`	T =	-95	V =	-29807	L =	2459	COMB.= 3
Hip.= 10	T =	-96	V =	-29807	L =	-2459	COMB.= 3
Hip.= 1E	T =	-644	V =	-37741	L =	0	COMB.= 3
Hip.= 3-75	T =	-158	V =	-37688	L =	-103	COMB.= 3
Hip.= 3-75E	T =	-575	V =	-36759	L =	-191	COMB.= 3
Hip.= 3-60	T =	-16	V =	-35939	L =	-91	COMB.= 3
Hip.= 3-60E	T =	-423	V =	-34744	L =	-282	COMB.= 3
Hip.= 10R	T =	-64	V =	-23909	L =	-2336	COMB.= 3
Hip.= 10`R	T =	-64	V =	-23909	L =	2336	COMB.= 3
Hip.= 11E	T =	-93	V =	-27643	L =	-1307	COMB.= 3

## 7 DIMENSIONAMENTO DOS ESTAIS E DE SUAS CONEXÕES À TORRE

### 7.1- CARACTERÍSTICAS DOS ESTAIS

Cordoalha galvanizada de aço conforme ASTM A475, com pré-esticamento.

- Diâmetro : 11/16"
- Formação : 19 fios
- Carga de ruptura mínima: 25000 kgf

### 7.2- VERIFICAÇÃO DOS ESTAIS

E = força máxima de tração nos estais

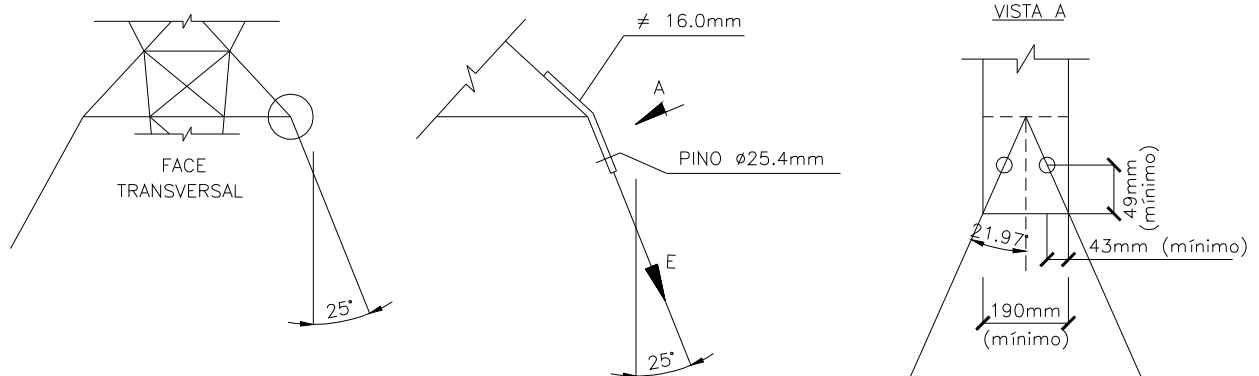
- torre H=39.9m = 16961 kgf (Hip. 3-75)
- torre H=30.9m = 16484 kgf (Hip. 3-75)
- torre H=21.9m = 16124 kgf (Hip. 3-75R)

$$\% = \text{taxa de trabalho} = 16961 / [0.93 \times (0.75 \times 25000)] = 0.973 \leq 1.000$$

### 7.3- VERIFICAÇÃO DAS CONEXÕES DOS ESTAIS À TORRE

Chapa 16.0 mm - ASTM A36 (Borda para  $F_p = 1.50 \times F_u$ )

Manilha com pino Ø25.4 mm - Carga mínima de ruptura = 25000 kgf



a) Esmagamento na chapa de fixação da manilha

$$f_p = 16961 / (2.54 \times 1.60) = 4173 \text{ kgf/cm}^2 < 0.93 \times (1.50 \times 4077) = 5687 \text{ kgf/cm}^2$$

b) Tração na chapa

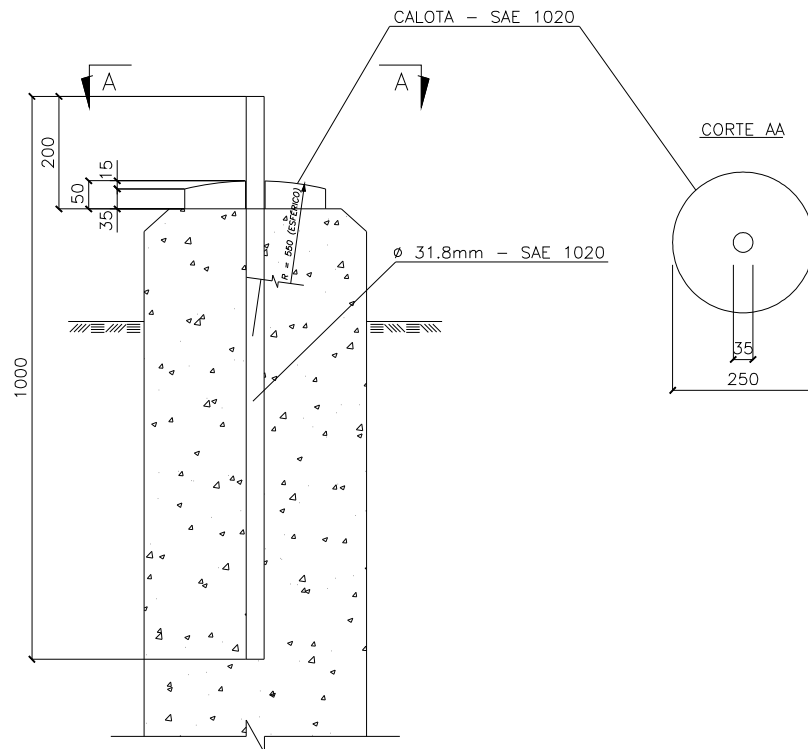
largura mínima da chapa: 190 mm

$$f_t < (2 \times 16961) / [(19.0 - 2 \times 2.86) \times 1.60] = 1596 \text{ kgf/cm}^2 < 0.93 \times 2531 = 2354 \text{ kgf/cm}^2$$

### 7.4- RESISTÊNCIAS MÍNIMAS DAS FERRAGENS DOS ESTAIS E DAS HASTES DE ÂNCORA

- Carga mínima de ruptura : 25000 kgf
- Carga mínima sem deformação permanente: 16961 kgf

## 8 CÁLCULO DO APOIO DA BASE DO MASTRO



### 8.1- CARGAS MÁXIMAS SOBRE FUNDAÇÃO DO MASTRO

HIPÓTESE 1	HIPÓTESE 9-75ER	HIPÓTESE 10
V = 40800 kgf	V = 14349 kgf	V = 29807 kgf
T = 405 kgf	T = 1564 kgf	T = 96 kgf
L = 0 kgf	L = 306 kgf	L = 2459 kgf

OBS.: V = Força Vertical de Compressão

---- T = Força Horizontal Transversal que atua com V

L = Força Horizontal Longitudinal que atua com V

### 8.2 VERIFICAÇÕES

#### 8.2.1 Chumbador

chumbador : 1 Ø 31.8 mm - SAE 1020 -  $L_{eng} = 80$  cm

base do mastro: chapa 25 mm - ASTM A36

$$f_v = 1.1 \times 2461 / 7.94 = 341 \text{ kgf/cm}^2 < 0.93 \times (0.6 \times 2100) = 1172 \text{ kgf/cm}^2$$

$$f_p = 1.1 \times 2461 / (3.18 \times 2.50) = 341 \text{ kgf/cm}^2 < 0.93 \times 4417 = 4108 \text{ kgf/cm}^2$$

#### 8.2.2 Pressão no Concreto

$$\text{Calota } \varnothing 250 \text{ mm} - \text{Área de apoio} = \pi \times (25.0^2 - 3.5^2) / 4 = 481.3 \text{ cm}^2$$

$$\text{Concreto: } f_{ck} = 200 \text{ kgf/cm}^2 \Rightarrow f_{cd} = 200 / 1.4 = 142.9 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{Pressão} = 1.1 \times 40800 / 481.3 = 93.2 \text{ kgf/cm}^2 < 142.9 \text{ kgf/cm}^2$$