

**Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP**

**PPGEC**

**PEF 6007 2023 3**

**DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA**

**Reyolando M. L. R. F. Brasil**

**Engenheiro Civil**

**Mestre, Doutor e Livre Docente**

**Dep. de Eng. e Estruturas e Geotécnica – PEF**

**São Paulo**

**2023**

## **Bibliografia Básica**

1. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6120:2019 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Procedimento, Rio de Janeiro.
2. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 6123:1988 – Forças Devidas ao Vento em Edificações, Rio de Janeiro.
3. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 8681:2003 – Ações e segurança nas estruturas, Rio de Janeiro.
4. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7190-1:2022 – Projeto de Estruturas de Madeira Parte 1 – Critérios de Dimensionamento, Rio de Janeiro
5. MOLITERNO, A., BRASIL, R.M.L.R.F. *Caderno de Projetos de Telhados em Estruturas de Madeira*, 4ª Ed, Ed. Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 2010.
6. PFEIL, W., PFEIL, M.S. *Estruturas de Madeira*, 6ª Edição, LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora AS, Rio de Janeiro, 2012.

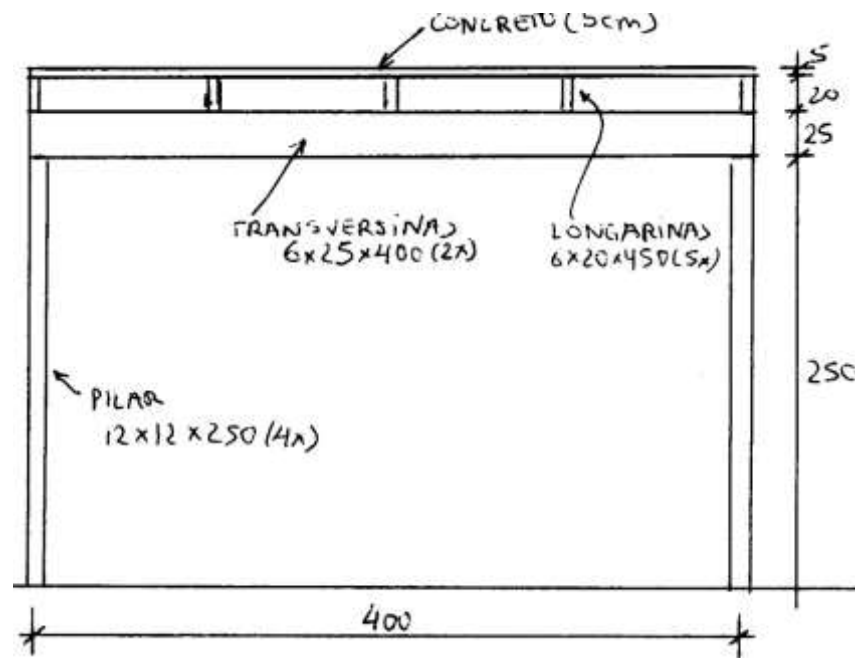
## **Parte 6**

### **Exemplos**

## 1. Mezzanino Residencial

Verificar o dimensionamento previsto para o mezzanino residencial da figura 1, em estrutura de madeira com piso em concreto de 5 cm de espessura, 5 longarinas de 6x20x450 cm apoiadas sobre 2 transversinas 6x25x400, que descarregam em 4 pilares 12x12x250, um em cada canto.

Material: madeira serrada folhosa D60, umidade ambiente 65%.



## 1.1 Características dos materiais

Concreto: peso específico 25 kN/m<sup>3</sup>

Madeira serrada folhosa D60, segundo Tabela 2 da NBR 7190:2022

$f_{c0k} = 60$  MPa  $E_{c0,med} = 19.500$  MPa Densidade 1.000 kg/m<sup>3</sup>

$k_{mod1} = 0,7$  (carregamento longa duração)  $k_{mod2} = 1$  (umidade classe 2)

$\gamma_w = 1,4$  (tensões normais)  $f_{c0,d} = f_{m,d} = k_{mod1} k_{mod2} \frac{f_{c0,k}}{\gamma_w} = 30$  MPa

$f_{v0,d} = 0,1 f_{c0,d} = 3$  MPa (tensões tangencias)

$E_{0,05} = 0,7 E_{c0,med} = 13.650$  Mpa

## 1.2 Longarinas 6x20x450 (5x)

$A = 120$  cm<sup>2</sup>

$W_x = 400$  cm<sup>3</sup>

$I_x = 4000$  cm<sup>4</sup>

### 1.2.1 Cargas permanentes

$$\text{concreto: } 0,05\text{m} \times 25 \text{ kN/m}^3 = 1,25 \text{ kN/m}$$

$$\text{p. próprio: } 0,06\text{m} \times 0,20\text{m} \times 10 \text{ kN/m}^3 = 0,12 \text{ kN/m}$$

$$g_k : = 1,37 \text{ kN/m}$$

### 1.2.2 Cargas variáveis -Tabela 10 NBR 6120:2019

$$\text{s. carga: } 1,5 \text{ KN/m}^2 \text{ (residências, dormitórios salas etc.)}$$

$$q_k = 1,5 \text{ kN/m}$$

### 1.2.3 Verificação estados limites últimos

$$M_d = 1,4 \times (1,37+1,5) \times 4,5^2/8 = 10,17 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{M_d} = M_d / W_x = 25,4 \text{ MPa} < f_{c0d}$$

$$V_d = 1,4 \times (1,37 + 1,5) \times 4,5 / 2 = 9 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 V_d / A = 1,125 \text{ MPa} < f_{v0d}$$

#### **1.2.4 Verificação estados limites de utilização**

Usado o programa MATLAB flecha\_NBR7190\_2022.m ou planilha flexão\_NBR7190\_2022.xlsx

não passa.

Propõem-se contra flecha de 0,5 cm.

#### **1.3 Transversinas 6x25x400 (2x)**

$$A = 150 \text{ cm}^2 \quad W_x = 625 \text{ cm}^3 \quad I_x = 7.812,5 \text{ cm}^4$$

### 1.3.1 Cargas permanentes

longarinas:  $1,37 \text{ kN/m} \times 4,5\text{m} / 2 = 3,08 \text{ kN/m}$

p. próprio:  $0,06\text{m} \times 0,25\text{m} \times 10 \text{ kN/m}^3 = 0,15 \text{ kN/m}$

$g_k :$   $= 3,23 \text{ kN/m}$

### 1.3.2 Cargas acidentais

longarinas:  $q_k = 1,5 \text{ kN/m} \times 4,5\text{m} / 2 = 3,38 \text{ kN/m}$

### 1.3.3 Estabilidade lateral

$$\frac{L_1}{b} \leq \frac{E_{0,ef}}{\beta_M f_{m,d}}$$

onde



**Tabela 8 – Coeficiente de correção  $\beta_M$  para  $\gamma_f = 1,4$  e  $\beta_E = 4$**

h/b	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\beta_M$	6	8,8	12,3	15,9	19,5	23,1	26,7	30,3	34	37,6	41,2	44,8	48,5	52,1	55,8	59,4	63	66,7	70,3	74

OK!

### 1.3.4 Verificação estados limites últimos

$$M_d = 1,4 \times (3,23 + 3,38) \times 4,0^2 / 8 = 18,5 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{M_d} = M_d / W_x = 29,6 \text{ MPa} < f_{c0d}$$

$$V_d = 1,4 \times (3,23 + 3,38) \times 4,0 / 2 = 18,5 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 V_d / A = 1,85 \text{ MPa} < f_{v0d}$$

### **1.3.5 Verificação estados limites de utilização**

Usado o programa MATLAB flecha\_NBR7190\_2022.m ou planilha flexão\_NBR7190\_2022.xlsx não passa. Propõem-se contra flecha de 0,2 cm.

## **1.4 Pilares 12x12x250 (4x)**

### **1.4.1 Cargas permanentes**

transversinas:  $3,22 \text{ kN/m} \times 4,0\text{m} / 2 = 6,44 \text{ kN}$

p. próprio:  $0,12\text{m} \times 0,12\text{m} \times 2,5 \times 10 \text{ kN/m}^3 = 0,36 \text{ kN}$

$N_{gk} = 6,80 \text{ kN}$

### **1.4.2 Cargas acidentais**

transversinas:  $N_{qk} = 3,38 \text{ kN/m} \times 4,0\text{m} / 2 = 6,76 \text{ kN}$

### 1.4.3 Estabilidade

Utilizado o programa MATLAB pilar\_NBR7190\_2022.m ou planilha pilar\_NBR7190\_2022.xlsx

Considerado  $k_E = 1$  mas duas direções, pilar bi articulado.

$$N_{c,d} = 1,4 (6,8 + 6,76) = 18,984 \text{ KN}$$

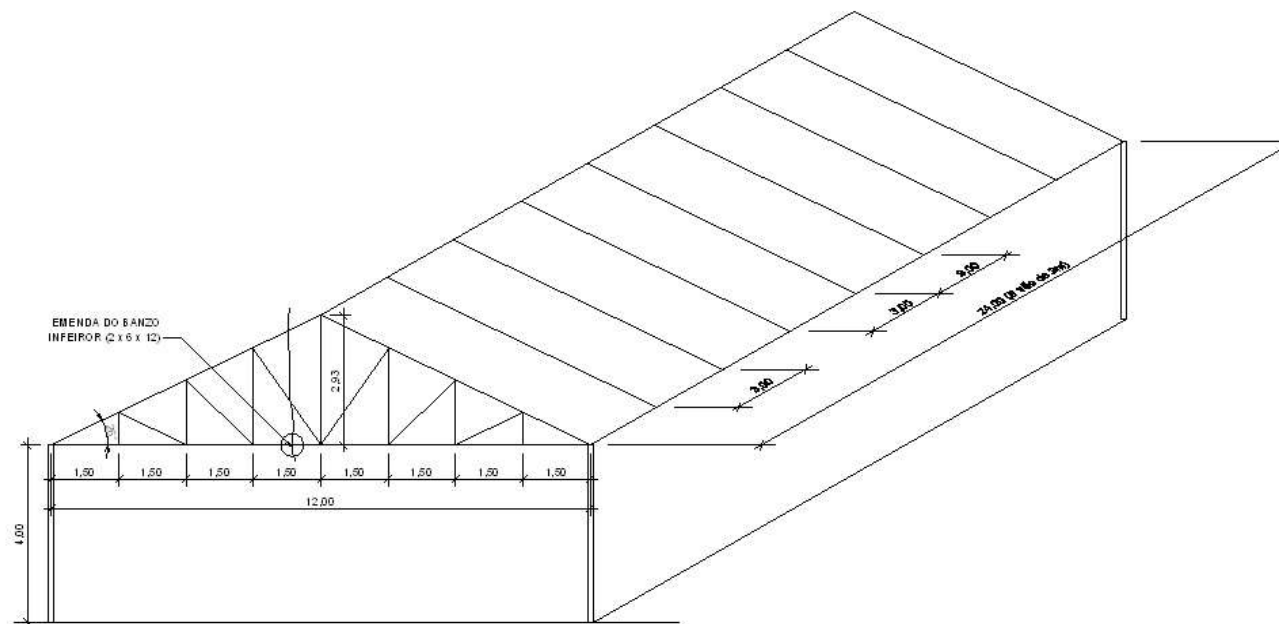
Passa!

## 2. Cobertura de Salão Comercial

Dimensionar a emenda com parafusos de aço do banzo inferior tracionado da tesoura (2x6x12cm) que apoia a cobertura em telhas francesas do galpão comercial da figura 2. Para a planta de 12 x 24 m adotaram-se tesouras de 12m de vão a cada 3m, com terças a cada 1,5m. O local é a zona industrial de Barueri, SP.

Material: madeira folhosa serrada de D60, umidade ambiente 65%.

parafusos de aço ISSO 898-1  $d = 9 \text{ mm}$



## 2.1 Características dos materiais

Parafusos de aço ISSO 898-1:  $f_{y,k} = 235$  MPa       $f_{u,k} = 400$  MPa

Madeira serrada folhosa D60, segundo Tabela 2 da NBR 7190:2022

$f_{c0k} = 60$  MPa    $E_{c0,med} = 19.500$  MPa      Densidade  $1.000$  kg/m<sup>3</sup>

$k_{mod1} = 0,7$  (carregamento longa duração)    $k_{mod2} = 1$  (umidade classe 2)

$\gamma_w = 1,4$  (tensões normais)    $f_{c0,d} = f_{m,d} = k_{mod1} k_{mod2} \frac{f_{c0,k}}{\gamma_w} = 30$  MPa

$f_{v0,d} = 0,1 f_{c0,d} = 3$  MPa (tensões tangencias)

## 2.2 Cargas permanentes

Segundo livro do Moliterno:

$$\text{Tesoura} - 24,5 (1 + L/3) = 122,5 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Ripas} - = 20,0 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Caibros} - = 50,0 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Terças} - = 60,0 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Telhas francesas} - = 500,0 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Água absorvida pelas telhas} = 150,0 \text{ N/m}^2$$

$$g_k = 0,9 \text{ kN/m}^2 \times 3\text{m} = 2,7 \text{ kN/m}$$

### 2.3 Sobrecarga accidental – NBR 6120:2019

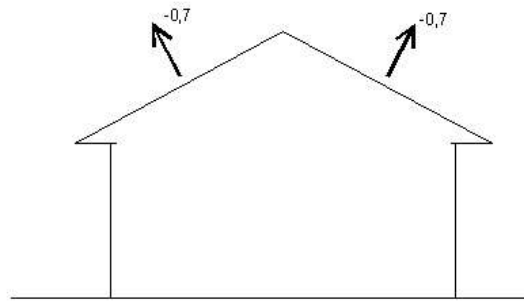
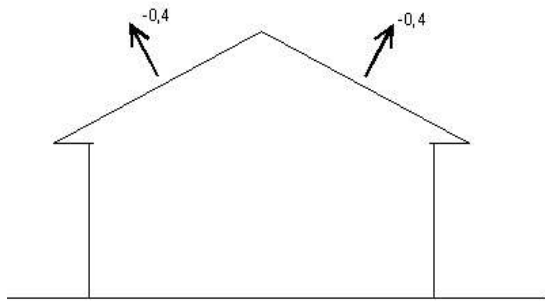
$$q_{1k} = 0,25 \text{ kN/m}^2 \times 3\text{m} = 0,75 \text{ kN/m}$$

### 2.4 Cargas accidentais devidas ao vento – NBR 6123:1988

$$v_0 = 40 \text{ m/s} \quad S_1 = S_3 = 1 \quad S_2 = 0,83 \text{ (} z > 5\text{m, Cat IV, Classe B)}$$

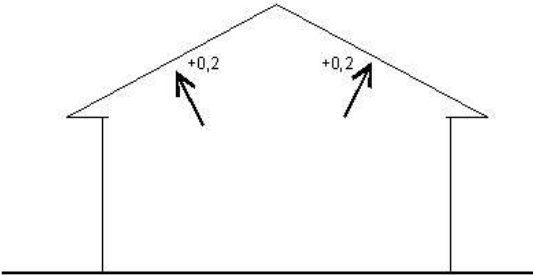
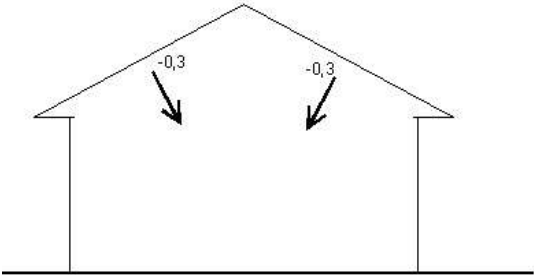
$$v_k = S_1 S_2 S_3 v_0 = 33,2 \text{ m/s} \quad \text{pressão dinâmica} = 0,613 v_k^2 = 675 \text{ N/m}^2$$

Coeficientes de forma e pressão externos:

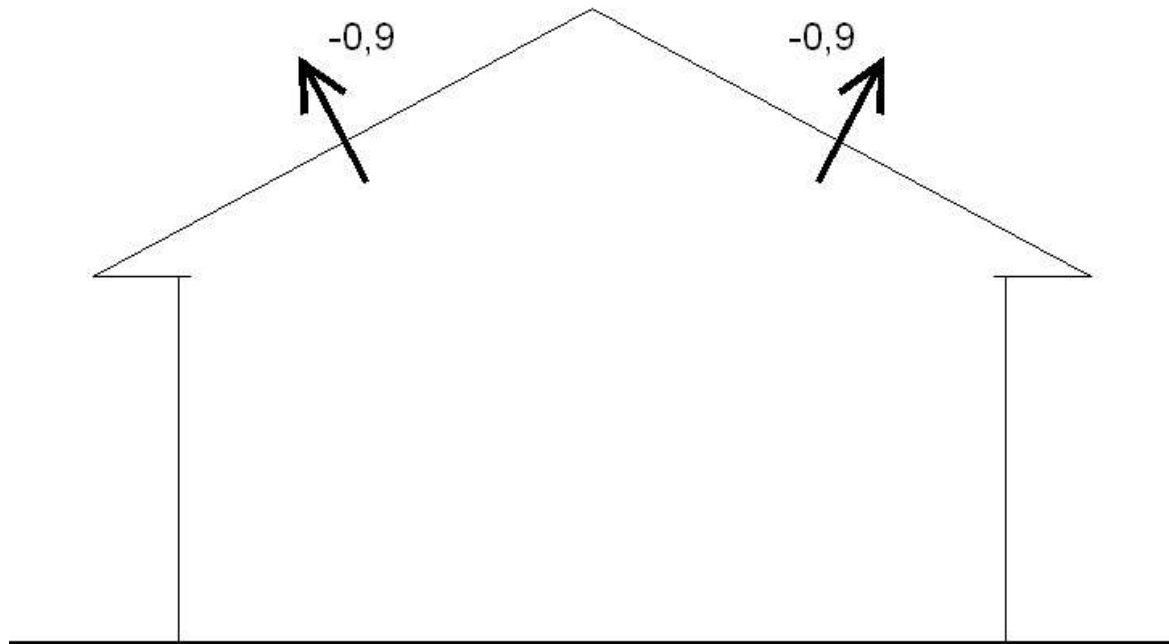




Coeficientes de forma e pressão internos:



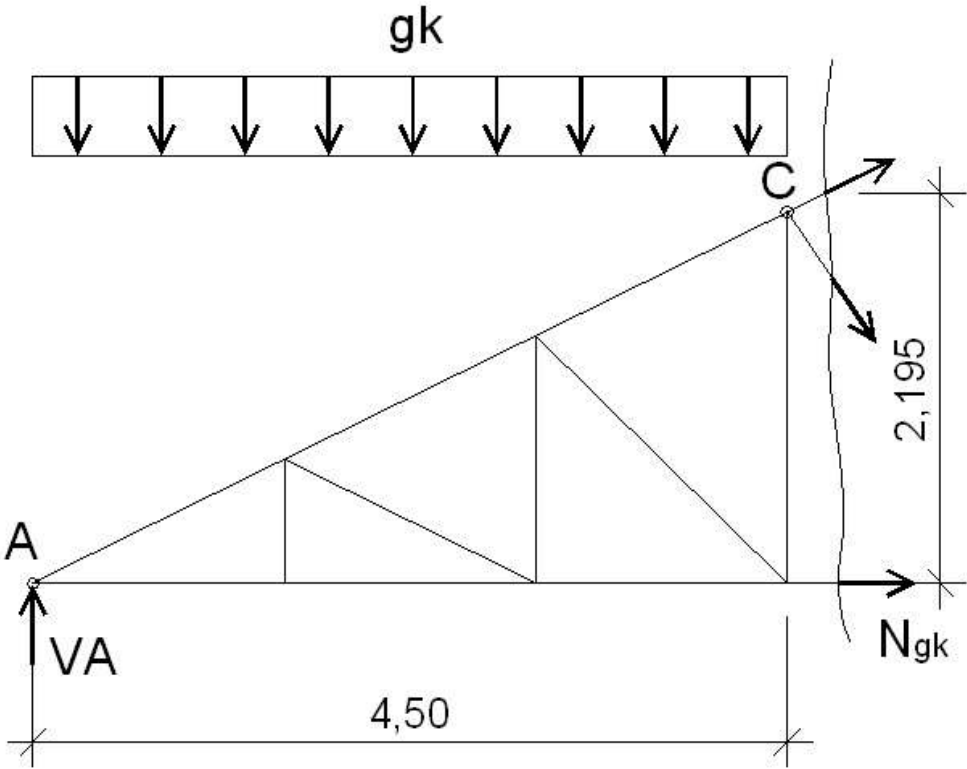
Pior combinação:



Carga por metro de tesoura:  $q_{2k} = -0,9 \times 675 \text{ N/m}^2 \times 3\text{m} = -1,8225 \text{ kN/m}$  (sucção)

## 2.5 Força normal na emenda do banzo inferior (Método de Ritter)

### 2.5.1 Carga permanente



$$V_A = 2,7 \text{ kN/m} \times 12\text{m} / 2 = 16,2 \text{ kN} \quad M_c = 0 = 16,2 \times 4,5 - N_{gk} \times 2,195 - 2,7 \times 4,5^2/2$$

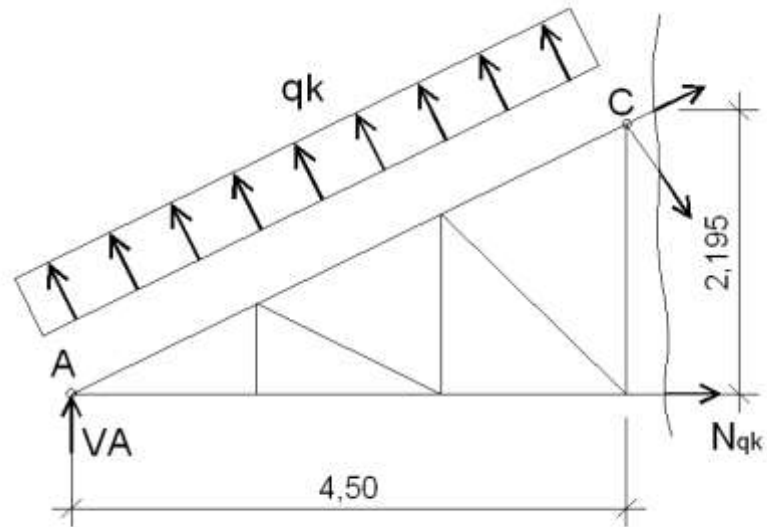
$$N_{gk} = + 20,75 \text{ kN (tração)}$$

### **2.5.2 Sobrecarga acidental**

$$V_A = 0,75 \text{ kN/m} \times 12\text{m} / 2 = 4,5 \text{ kN} \quad M_c = 0 = 4,5 \times 4,5 - N_q \times 2,195 - 0,75 \times 4,5^2/2$$

$$N_{q1k} = + 5,76 \text{ kN (tração)}$$

### 2.5.3 Carga de vento



$$V_A = -1,8225 \text{ kN/m} \times \cos 26^\circ \times 12\text{m} / 2 = -9,828 \text{ kN}$$

$$M_c = 0 = 9,828 \times 4,5 + N_q \times 2,195 - 1,8225 \times 5^2/2$$

$$N_{q2k} = -9,77 \text{ kN (compress\~ao)}$$

## 2.6 Combinações últimas

Combinação 1:  $N_d = 1,4 \times N_{gk} + 1,4 \times N_{q1k} = + 37,11 \text{ kN}$  (tração)

Combinação 2:  $N_d = 1,4 \times N_{gk} + 1,4 \times ( N_{q1k} + 0,5 \times N_{q2k} ) = +30,275 \text{ kN}$  (tração)

Combinação 3:  $N_d = 0,9 \times N_{gk} + 1,4 \times ( 0,4 \times N_{q1k} + 0,75 \times N_{q2k} ) = +11,64 \text{ kN}$  (tração)

## 2.7 Dimensionamento da emenda do banzo inferior

Utilizado o programa MATLAB pino\_NBR7190\_2022.m ou planilha pino\_NBR7190\_2022.xlsx

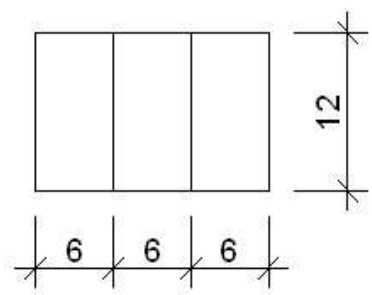
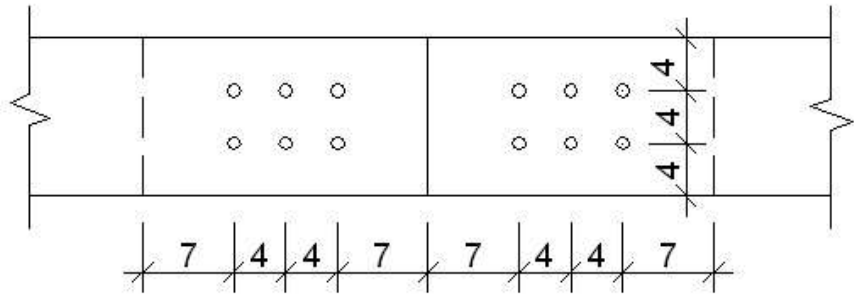
$$N_{td} = + 37.110 \text{ N}$$

Seção com duas peças retangulares 6x12 cm e espaçador com mesma espessura, duas seções de corte para cada parafuso.

Adotados 6 parafusos de 9 mm de cada lado da ligação.

Passa!!!

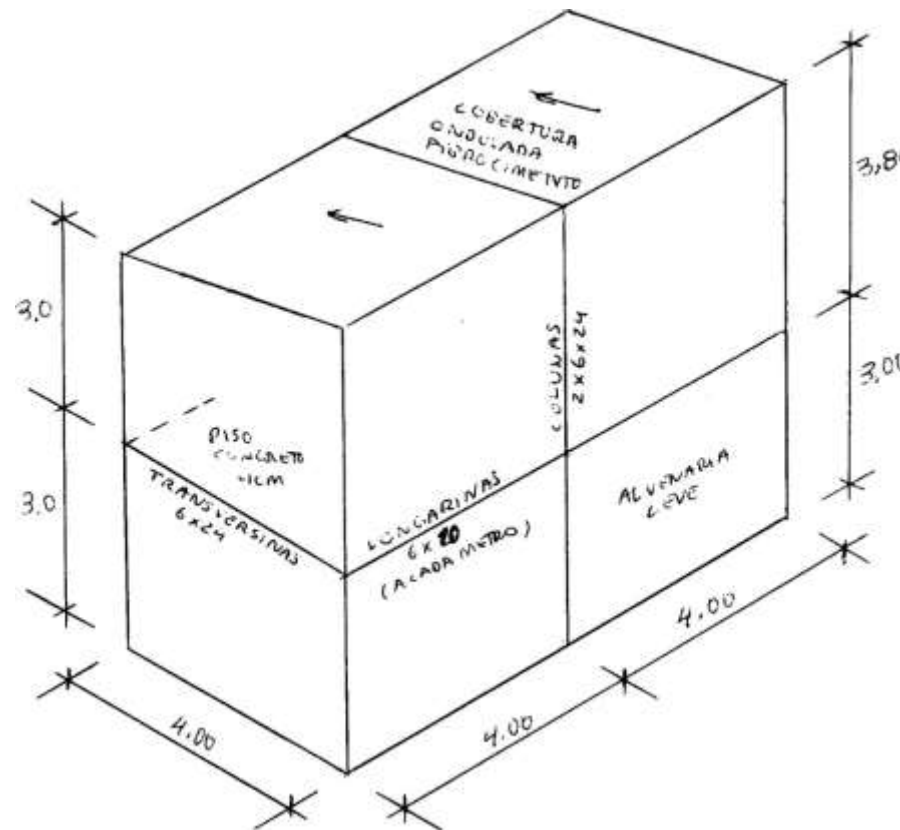
Detalhe:





### 3. Edifício Comercial de Pequeno Porte

Verificar os pilares de madeira compostos (2x6x24) do edifício comercial da figura, composto de loja no térreo e escritório no piso superior, com piso de concreto de 4 cm de espessura, e cobertura em telhas de onduladas de fibrocimento e forro de gesso. O local é a zona industrial de Barueri, SP. Material: madeira folhosa serrada de D60, umidade ambiente 65%.



### 3.1 Características dos materiais

Madeira serrada folhosa D60, segundo Tabela 2 da NBR 7190:2022

$$f_{c0k} = 60 \text{ MPa} \quad E_{c0,med} = 19.500 \text{ MPa} \quad \text{Densidade } 1.000 \text{ kg/m}^3$$

$$k_{mod1} = 0,7 \text{ (carregamento longa duração)} \quad k_{mod2} = 1 \text{ (umidade classe 2)}$$

$$\gamma_w = 1,4 \text{ (tensões normais)} \quad f_{c0,d} = f_{m,d} = k_{mod1} k_{mod2} \frac{f_{c0,k}}{\gamma_w} = 30 \text{ MPa}$$

$$f_{v0,d} = 0,1 f_{c0,d} = 3 \text{ MPa (tensões tangencias)}$$

$$f_{v0d} = 3 \text{ Mpa} \quad E_{0,05} = 0,7 E_{c0,med} = 13.650 \text{ Mpa}$$

### 3.2 Longarinas do piso 6x20x400 (2x5x)

A viga mais solicitada é sob as paredes

$$A = 120 \text{ cm}^2 \quad W_x = 400 \text{ cm}^3 \quad I_x = 4000 \text{ cm}^4$$

### 3.2.1 Cargas permanentes

parede leve:  $0,1\text{m} \times 2,85\text{m} \times 10 \text{ kN/m}^3 = 2,85 \text{ kN/m}$

concreto:  $0,04\text{m} \times 25 \text{ kN/m}^3 / 2 = 0,50 \text{ kN/m}$

p. próprio:  $0,06\text{m} \times 0,20\text{m} \times 10 \text{ kN/m}^3 = 0,12 \text{ kN/m}$

$g_k :$   $= 3,47 \text{ kN/m}$

### 3.2.2 Cargas acidentais – NBR 6120:2019

s. carga:  $q_k = 1,5 \text{ kN/m}^2 \times 0,5\text{m} = 0,75 \text{ kN/m}$

### 3.2.3 Verificação estados limites últimos

$$M_d = 1,4 \times (3,47 + 0,75) \times 4^2 / 8 = 11,82 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{Md} = M_d / W_x = 29,54 \text{ MPa} < f_{c0d}$$

$$V_d = 1,4 \times (3,47 + 0,75) \times 4 / 2 = 11,82 \text{ kN}$$

$$\tau_d = 1,5 V_d / A = 1,48 \text{ MPa} < f_{v0d}$$

### **3.2.4 Verificação estados limites de utilização**

Utilizado o programa em MATLAB flecha\_NBR7190\_2022.m ou planilha flexão\_NBR7190\_2022.xlsx

Não Passou. Propõem-se contra flecha de 0,6 cm

### **3.3 Transversinas do piso 6x24x400 (3x)**

$$A = 144 \text{ cm}^2 \quad W_x = 576 \text{ cm}^3 \quad I_x = 6912 \text{ cm}^4$$

### 3.3.1 Cargas permanentes

longarinas, sem parede, com piso de 1m de largura:  $1,12 \text{ kN/m} \times 4\text{m} = 4,48 \text{ kN/m}$

p. próprio:  $0,06\text{m} \times 0,24\text{m} \times 10 \text{ kN/m}^3 = 0,14 \text{ kN/m}$

$g_k :$   $= 4,62 \text{ kN/m}$

### 3.3.2 Sobre Carga accidental

longarinas, com piso de 1m de largura:  $q_k = 1,5 \text{ kN/m} \times 4\text{m} = 6,00 \text{ kN/m}$

### 3.4.1 Viga de Cobertura 6x16 (3x)

#### 3.4.1 Cargas permanentes

Estrutura de madeira  $= 100,0 \text{ N/m}^2$

Telhas onduladas fibrocimento - = 200,0 N/m<sup>2</sup>

Água absorvida pelas telhas = 50,0 N/m<sup>2</sup>

Forro de gesso c/ estrutura = 150,0 N/m<sup>2</sup>

$$g_k = 0,5 \text{ kN/m}^2 \times 4\text{m} = 2,0 \text{ kN/m}$$

### **3.4.2 Sobrecarga acidental**

$$q_k = 0,25 \text{ kN/m}^2 \times 4\text{m} = 1,0 \text{ kN/m}$$

### 3.5 Cargas acidentais devidas ao vento

$$v_0 = 40 \text{ m/s} \quad S_1 = S_3 = 1 \quad S_2 = 0,83 \quad (z > 5\text{m, Cat IV, Classe B})$$

$$v_k = S_1 S_2 S_3 v_0 = 33,2 \text{ m/s} \quad \text{pressão dinâmica} = 0,613 v_k^2 = 675 \text{ N/m}^2$$

$$h = 6 \text{ m} \quad a = 8 \text{ m} \quad b = 4 \text{ m} \quad h/b = 3/2 \quad a/b = 2$$

#### 3.5.1 Caso 1: Sucção máxima

Coefficientes de forma e pressão externo:  $c_e = - 1,0$

Coefficientes de forma e pressão interno:  $c_i = + 0,2$

Coefficientes de forma e pressão total:  $c = c_e - c_i = -1,2$

Força distribuída nas paredes e viga de cobertura:  $-1,2 \times 0,675 \times 4 = -3,24$  kN/m (sucção)

### 3.5.2 Caso 2

Coeficientes de forma e pressão externo no telhado:  $c_e = -1,0$

Coeficientes de forma e pressão parede de barlavento:  $c_e = +0,8$

Coeficientes de forma e pressão parede de sotavento:  $c_e = -0,6$

Coeficientes de forma e pressão interno:  $c_i = -0,3$

Coeficientes de forma e pressão total telhado:  $c = c_e - c_i = -0,7$



Coeficientes de forma e pressão total a barlavento:  $c = c_e - c_i = +1,1$

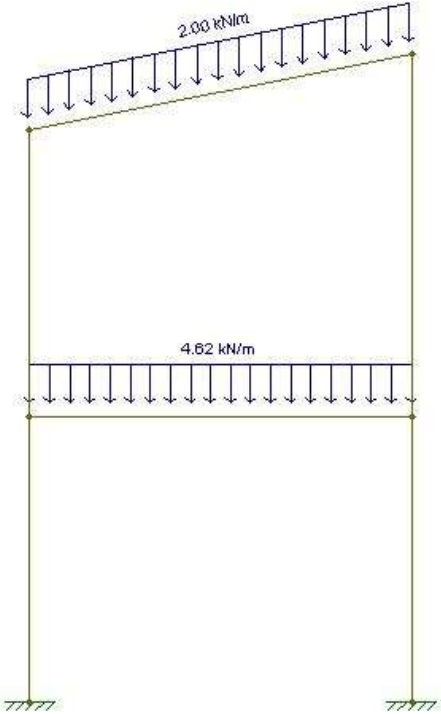
Coeficientes de forma e pressão total a sotavento:  $c = c_e - c_i = -0,3$

Força distribuída nas paredes e viga de cobertura:  $c \times 0,675 \times 4$

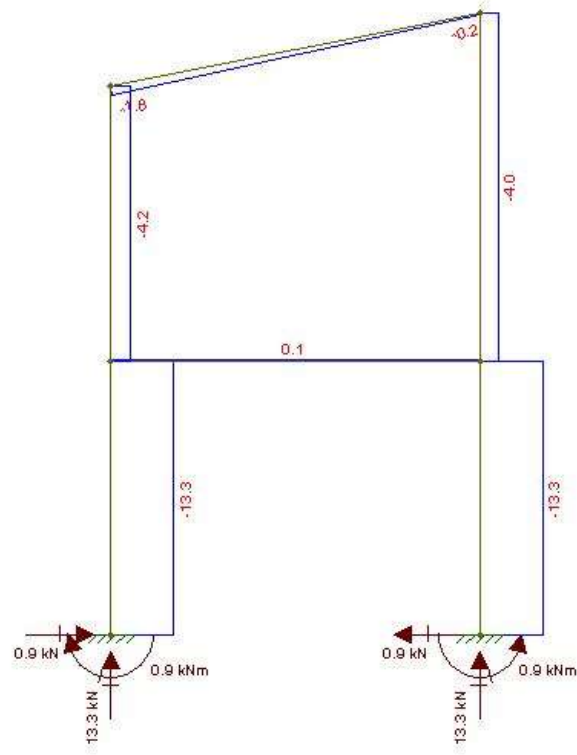
### **3.6 Esforços solicitantes**

Os esforços solicitantes foram calculados utilizando o programa FTOOLS. Os modelos são de pórticos planos, já que a estrutura é travada pelas paredes no sentido longitudinal.

### 3.6.1 Carga permanente



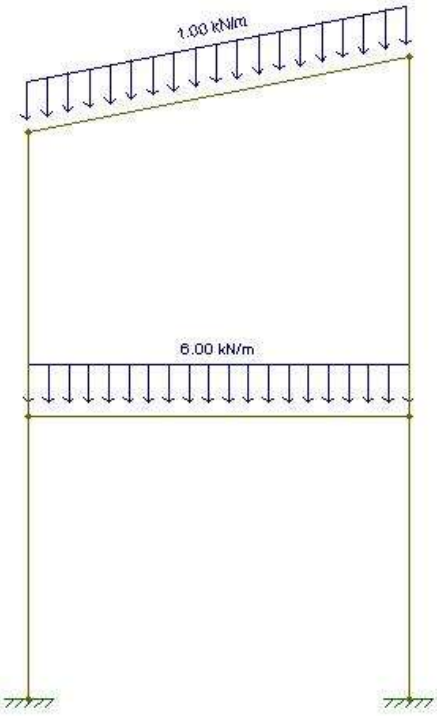
Cargas permanentes (kN/m)



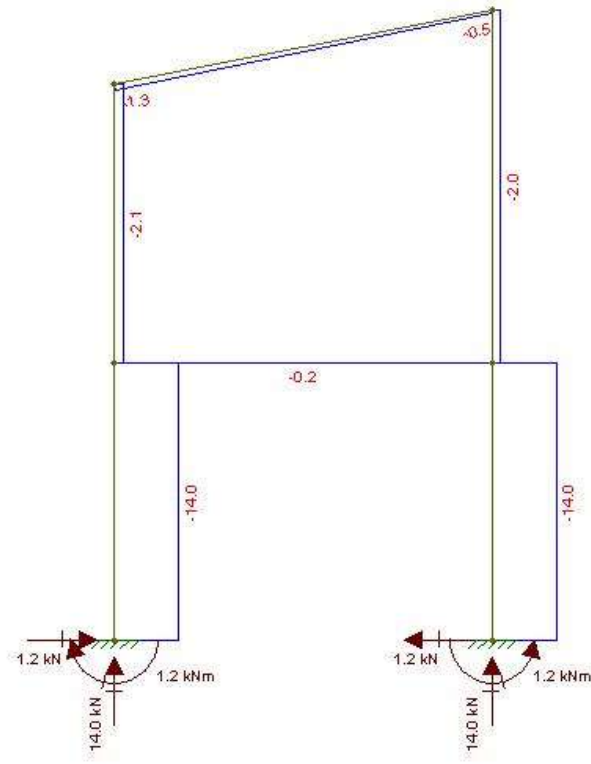
Força Normal (kN)



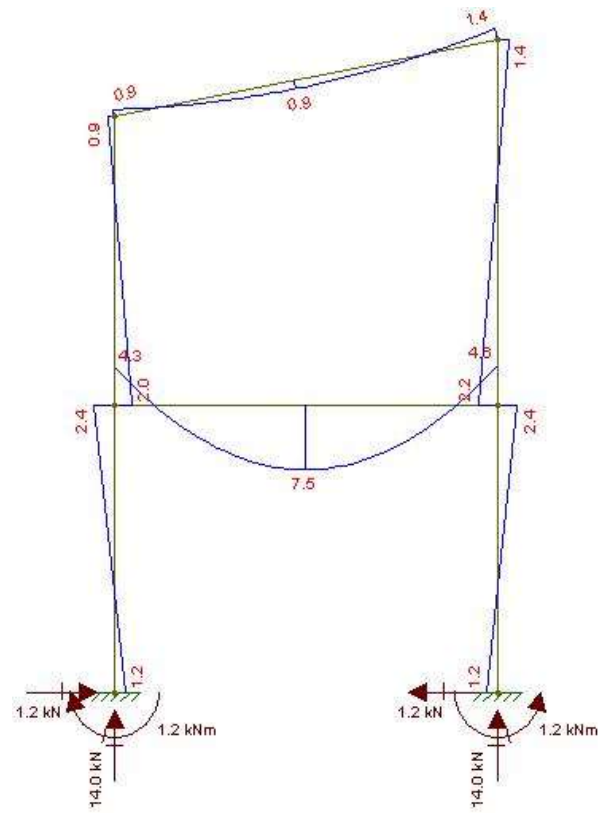
### 3.6.2 Sobre Carga accidental



Carga accidental (kN/m)

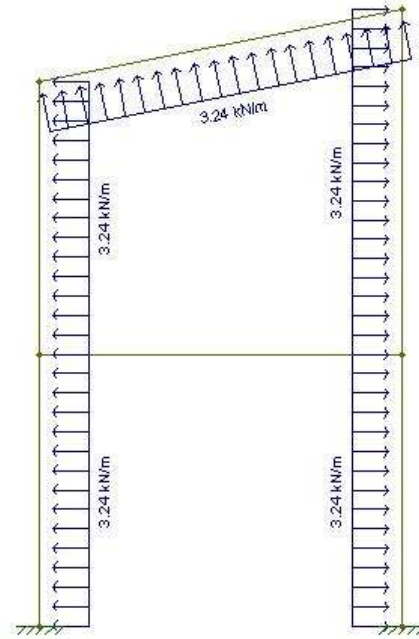


Força Normal (kN)



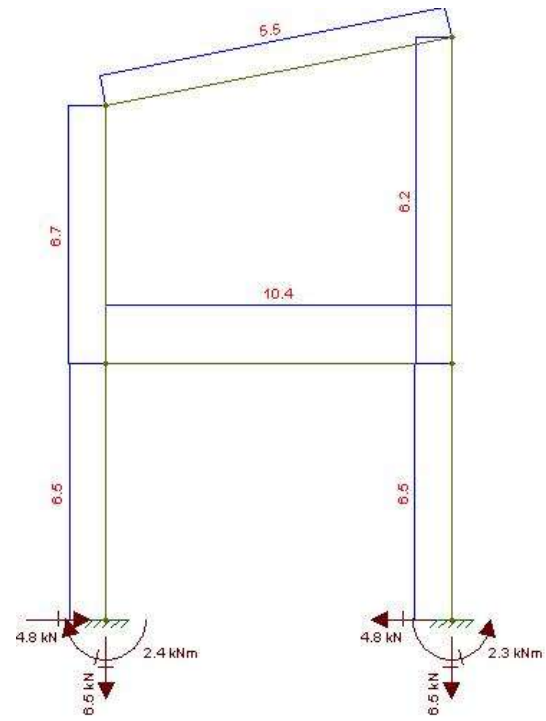
Momento Fletor (kN)

### 3.6.3 Vento caso 1 (sucção máxima)

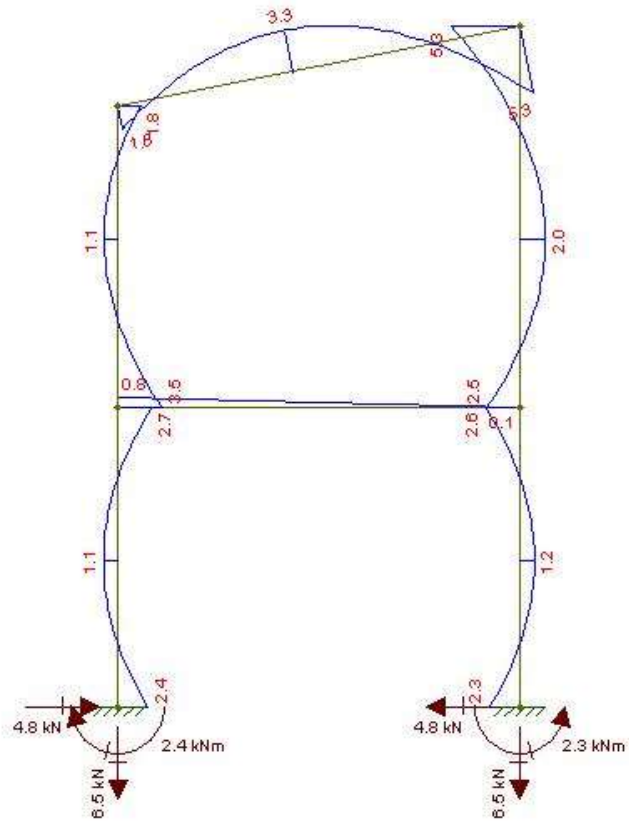


Carga de vento de sucção (kN/m)



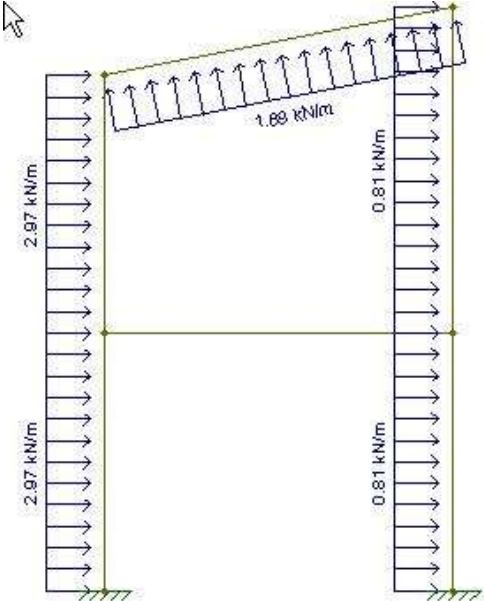


Força Normal (kN)

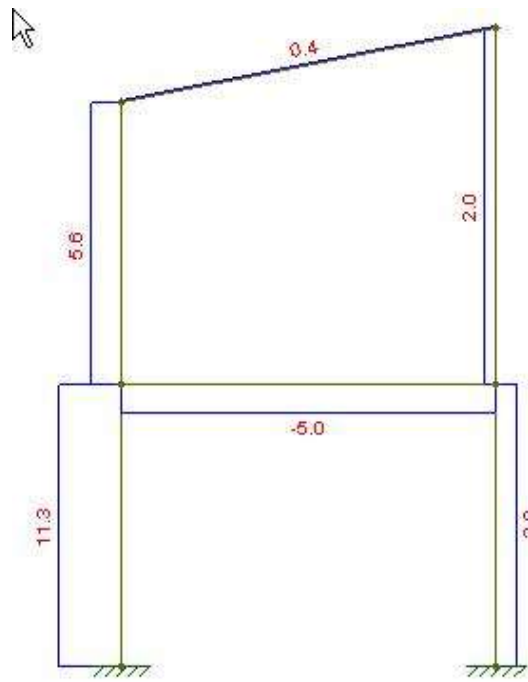


Momento Fletor (kNm)

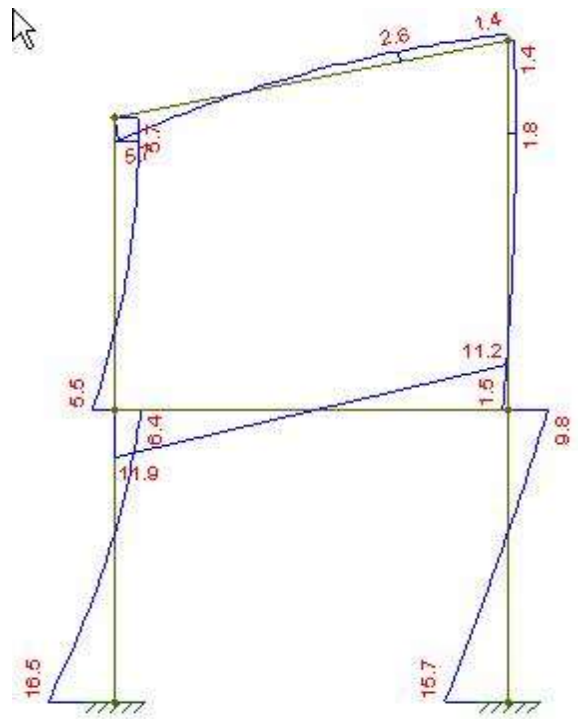
### 3.6.4 Vento caso 2



Carregamento (kN/m)



Força normal (kN)



Momento Fletor (kNm)

### **3.7 Combinações nos pilares**

#### **Combinação 1**

$$N_d = \gamma_g N_{perm} + \gamma_q ( N_{sc} + 0,5 N_{vento1} )$$

$$M_{x1d} = \gamma_g M_{perm} + \gamma_q ( M_{sc} + 0,5 M_{vento1} )$$

#### **Combinação 2**

$$N_d = \gamma_g N_{perm} + \gamma_q ( N_{sc} + 0,5 N_{vento2} )$$

$$M_{x1d} = \gamma_g M_{perm} + \gamma_q ( M_{sc} + 0,5 M_{vento2} )$$

### **Combinação 3**

$$N_d = \gamma_g N_{perm} + \gamma_q (0,4 N_{sc} + 0,75 N_{vento1})$$

$$M_{x1d} = \gamma_g M_{perm} + \gamma_q (0,4 M_{sc} + 0,75 M_{vento1})$$

### **Combinação 4 (mais desfavorável)**

$$N_d = \gamma_g N_{perm} + \gamma_q (0,4 N_{sc} + 0,75 N_{vento2}) = - 30,45 \text{ kN (compressão)}$$

$$M_{x1d} = \gamma_g M_{perm} + \gamma_q (0,4 M_{sc} + 0,75 M_{vento2}) = - 19,257 \text{ kNm}$$

### 3.8 Verificações dos pilares

Utilizado o programa MATLAB pilar\_NBR7190\_2022.m ou planilha pilar\_NBR7190\_2022.xlsx

Pilar composto de 2 peças 6x24 com espaçadores de 6x24

Considerado  $k_E = 1$  mas duas direções, pilar bi articulado.

Combinação mais desfavorável, com momento em y considerado nulo.

Passa!!!