

CLIENTE : PREFEITURA MUNICIPAL DE PARANAGUÁ
LOCAL: PARANAGUÁ-PR
OBRA: REFORMA DA ESTRUTURA DE MADEIRA DO PISO, TELHADO E FORRO.

CÁLCULO ESTRUTURAL

1. PRELIMINARES BÁSICAS

1.1. NORMAS TÉCNICAS

NBR 7190 / 1997 – Projetos de estruturas de madeira

NBR 8800 / 2008 – Projetos de estruturas de aço.

NBR 6120 / 1980 – Carga para cálculo de edificações

NBR 6123 / 1988 – Força de vento em edificações

1.2. MATERIAIS

- Madeira : Itaúba, dicotiledônea, classe de resistência C40, 1ª categoria, semi seca e Cambará, dicotiledônea, classe de resistência C20, 1ª categoria, seca.
- Assoalho : Itaúba, 1ª categoria, seca, e= 1” e largura 14 cm.
- Forro : Itaúba, 1ª categoria, e= 1/2” e largura 7 cm.
- Perfis metálicos laminados : ASTM A36
- Barras chatas e redondas : ASTM A36
- Chapas : SAE1020
- Parafusos : ASTM A307

2. DIMENSIONAMENTOS

2.1. ESTRUTURA DO PISO

Como se trata de piso em assoalho de madeira de itaúba, de espessura 1" (2,2 cm) e largura = 14 cm, a distância entre as vigas de apoio deverá ser de no máximo 50 cm.

Considerando :

Peso próprio = 50 kg/m²

Sobrecarga = 300 kg/m²

Madeira : Itaúba, dicotiledônea, classe de resistência C40 :

$$f_{co,k} = 5,52 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_{co,m} = 2261 \text{ kg/cm}^2$$

Carga linear na viga :

$$q = (50 + 300) \times 0,50 = 175 \text{ kg/m'}$$

$$q = 0,0175 \text{ kN/cm}$$

Vão livre da viga :

$$L_c = 500 \text{ cm}$$

Momento máximo :

$$M_{max} = 546,88 \text{ kN.cm}$$

$$M_d = 1,4 \times M_{max} = 765,63 \text{ kN.cm}$$

Deformação admissível = $L_c / 300 = 1,67 \text{ cm}$

Resistência de cálculo da madeira Itaúba :

$$f_{co,d} = (f_{co,k} \times k_{mod}) / \gamma_w$$

$$k_{mod} = 0,7 \times 0,8 \times 1,0 = 0,56$$

$$\gamma_w = 1,4$$

$$f_{co,d} = 2,21 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_{co,ef} = k_{mod} \times E_{co,m}$$

$$E_{co,ef} = 1266 \text{ kN / cm}^2$$

Secção da viga 7,5 x 25 (cm) :

$$S = 187,5 \text{ cm}^2$$

$$w_x = 781 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 9766 \text{ cm}^4$$

Verificação da tensão de trabalho :

NORIMASA ISHIKAWA

$$\sigma_{cd} = M_d / w_x = 765,63 / w_x = 0,98 \text{ kN/cm}^2 < f_{cod} \quad (\text{Ok})$$

Verificação da deformação máxima :

$$f_{max} = 1,16 \text{ cm} < \text{deformação admissível} \quad (\text{Ok})$$

2.2. ESTRUTURA DO FORRO

Como se trata de forro de madeira de itaúba, $e = 1/2"$ (1,2 cm) e largura = 7 cm, a distância entre as vigas de apoio deverá ser de no máximo 40 cm.

Considerando :

Peso próprio = 15 kg/m²

Sobrecarga = 25 kg/m²

Madeira do entarugamento : Cambará, dicotiledônea, classe de resistência C20

$$F_{cok} = 3,46 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_{co,m} = 947 \text{ kN/cm}^2$$

2.2.1. Viga mestra

Carga linear nava mestra de barroteamento considerando 1 viga a cada 2,50 m. :

$$q = (15 + 25) \times 2,50 = 100 \text{ kg/m'}$$

$$q = 0,01 \text{ KN/cm}$$

Vão livre da viga mestra :

$$L_c = 480 \text{ cm}$$

Momento máximo e de cálculo :

$$M_{max} = 288 \text{ kN/cm}$$

$$M_d = 403 \text{ kN/cm}$$

Deformação admissível = $L_c / 300 = 1,60 \text{ cm}$

Resistência de cálculo da madeira cambará :

$$F_{c_{o,d}} = 1,38 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_{c_{o,ef}} = 530 \text{ kN/cm}^2$$

Secção da viga mestra 7,5 x 15 (cm) :

$$S = 150 \text{ cm}^2$$

NORIMASA ISHIKAWA

$$w_x = 295 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 2248 \text{ cm}^4$$

Verificação da tensão de trabalho

$$\sigma_{co,d} = 1,37 \text{ kN/cm}^2 < f_{co,d} \quad (\text{Ok})$$

Verificação da deformação máxima

$$f_{max} = 1,45 \text{ cm} < \text{deformação admissível} \quad (\text{Ok})$$

2.2.2. Entarugamento

Carga linear na peça de entarugamento, 1 peça a cada 40 cm.

$$q = (15 \times 25) \times 0,40 = 16 \text{ kg/m}$$

$$q = 0,0016 \text{ kN/cm}$$

Vão livre = 250 cm

Momento máximo e de cálculo :

$$M_{max} = 12,5 \text{ kN/cm}$$

$$M_d = 17,5 \text{ kN.cm}$$

Deformação admissível = $L_c / 300 = 0,83 \text{ cm}$

Resistência de cálculo da madeira cambará :

$$F_{co,d} = 1,38 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_{co,f} = 530 \text{ kN/cm}^2$$

Secção da peça = 2,5 x 10 (cm) :

$$S = 25 \text{ cm}^2$$

$$w_x = 46,7 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 208 \text{ cm}^4$$

Verificação da tensão de trabalho :

$$\sigma_{co,d} = 0,37 \text{ kN/cm}^2 < f_{co,d} \quad (\text{Ok})$$

Verificação da deformação máxima :

$$f_{max} = 0,73 \text{ cm} < \text{deformação admissível} \quad (\text{Ok})$$

2.3. ESTRUTURA DO TELHADO

NORIMASA ISHIKAWA

A estrutura do telhado será dimensionada para madeira de itauba dicotiledônea C40 e cobertura de telhas cerâmicas tipo francesa para trecho periférico e em chapas onduladas de fibro cimento 6 mm no trecho central.

O forro será madeira, tipo lambril considerando os carregamentos:

- peso próprio no trecho com cobertura para telhas cerâmicas = 35 kg/m²
- peso próprio no trecho com cobertura em fibro cimento = 20 kg/m²
- forro = 15kg/m²
- telhas cerâmicas = 50 kg/m²
- chapas de fibro cimento = 18 kg/m²

Vento :

$$V_0 = 45 \text{ m/s}$$

$$S_1 = 10$$

$$S_2 = 0,83$$

$$S_3 = 0,88$$

$$W = V_k / 16 = 68 \text{ kg/m}^2$$

$$V_k = V_0 \times S_1 \times S_2 \times S_3$$

$$V_k = 45 \times 1,0 \times 0,83 \times 0,88 = 32,9 \text{ m/s}$$

2.3.1. Dimensionamento dos caibros

Espaçamento dos caibros = 75 cm

Carregamento linear :

$$q_v = (((35 + 50) / 0,47) + 15) \times 0,75 = 147 \text{ kg/m}' = 0,0147 \text{ kN/cm}$$

Inclinação do telhado :

$$q_N = (68 \times 0,80) \times 0,75 = 41 \text{ kg/m}' = 0,0045 \text{ kN/cm}$$

$$\text{senx} = 0,88$$

$$\text{cosx} = 0,47$$

Vão livre dos caibros :

$$L_c = 150 \text{ cm}$$

Comprimento dos caibros :

$$l = 270 \text{ cm}$$

$$M_{\text{max}} = 41,34 + 41,00 = 82,34 \text{ kN.cm}$$

NORIMASA ISHIKAWA

$$M_d = 115,28 \text{ kN.cm}$$

$$N_{\max} = 2,07 \text{ kN}$$

$$N_d = 2,90 \text{ kN}$$

Deformação admissível = 0,90 cm

Secção do caibro : 5 x 12 (cm)

$$S = 60 \text{ cm}^2$$

$$w_x = 120 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 720 \text{ cm}^4$$

Verificação de tensão de trabalho

$$\sigma_{\text{co,Md}} = 0,96 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{co,Nd}} = 0,05 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{co,Md}} / f_{\text{co,d}} + \sigma_{\text{co,Nd}} / f_{\text{co,d}} = 0,46 < 1,0 \quad (\text{Ok})$$

Verificação da deformação máxima

$$f_{\max} = 0,34 \text{ cm} < \text{deformação admissível} \quad (\text{Ok})$$

2.3.2. Terças

a) Terça para apoio telhado lateral e central carga linear

Carga linear :

$$q = (((35 + 50) / 0,47)) \times 0,75 + (15 \times 1,20) + ((20 + 18) \times 0,55) = 175 \text{ kg/m}$$

$$q = 0,0175 \text{ kN/cm}$$

Vão livre da terça :

$$L_c = 500 \text{ cm}$$

Momento máximo e de cálculo :

$$M_{\max} = 547 \text{ kN.cm}$$

$$M_d = 766 \text{ kN.cm}$$

Deformação admissível = $L_c / 300 = 1,67 \text{ cm}$

Secção da terça : 7,5 x 22,5 (cm)

$$S = 169 \text{ cm}^2$$

$$w_x = 633 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 7120 \text{ cm}^4$$

NORIMASA ISHIKAWA

Resistência de cálculo da itauba :

$$f_{co,d} = 2,21 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_{co,ef} = 1266 \text{ kN/cm}^2$$

Verificação de tensão de trabalho :

$$\sigma_{co,d} = M_d / w_x = \underline{766 / 633} = 1,21 \text{ kN/cm}^2 < f_{co,d} \quad (\text{Ok})$$

Verificação da deformação máxima

$$f_{max} = 1,58 \text{ cm} < \text{deformação admissível} \quad (\text{Ok})$$

b) Terça só para cobertura central

Carga linear:

$$q = ((20 + 18 + 15) \times 2,40) + (68 \times 0,80 \times 2,40) = 258 \text{ kg/m}$$

$$q = 0,0258 \text{ kN.cm}$$

Vão livre da terça

$$L_c = 500 \text{ cm}$$

Momento máximo e de cálculo:

$$M_{max} = 806 \text{ kN.cm}$$

$$M_d = 1129 \text{ kN.cm}$$

Deformação admissível = 1,67 cm

Secção da terça : 7,5 x 25 (cm)

$$S = 187 \text{ cm}^2$$

$$w_x = 781 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 9766 \text{ cm}^4$$

Verificação de tensão de trabalho :

$$\sigma_{co,d} = 1129 / 781 = 1,45 \text{ kN/cm}^2 < f_{co,d} \quad (\text{Ok})$$

Verificação da deformação máxima

$$f_{max} = 0,84 \text{ cm} + 0,70 = 1,54 \text{ cm} < \text{deformação admissível} \quad (\text{Ok})$$

c) Terça do telhado da plataforma

Carga linear

$$q = ((20 + 18) \times 1,20) + (68 \times 0,80 \times 1,20) = 111 \text{ kg/m}$$

$$q = 0,0111 \text{ kN.cm}$$

NORIMASA ISHIKAWA

Vão livre da terça :

$$L_c = 530 \text{ cm}$$

Momento máximo e de cálculo :

$$M_{\max} = 390 \text{ kN.cm}$$

$$M_d = 546 \text{ kN.cm}$$

Deformação admissível = 1,77 cm

Secção da terça – 7,5 x 20 (cm) :

$$S = 150 \text{ cm}^2$$

$$w_x = 500 \text{ cm}^3$$

$$I_x = 5000 \text{ cm}^4$$

Verificação da tensão de trabalho

$$\sigma_{co,d} = 546 / 500 = 1,10 < f_{co,d} \quad (\text{Ok})$$

Verificação da deformação máxima

$$f_{\max} = 0,75 + 0,68 = 1,43 \text{ cm} \quad (\text{Ok})$$

2.3.3. Tesoura

Carga linear - telhado lateral

$$q = (851 + 75 + 272) = 1198 \text{ kg/m}$$

$$q = 0,12 \text{ qN.cm}$$

Carga linear – telhado central

$$q = (265 + 272) = 537 \text{ kg/m}$$

$$q = 0,054 \text{ kN.cm}$$

Carga concentrada nos nós e rações

$$P_1 = 9,0 \text{ kN}$$

$$P_2 = (9,0 + 3,2) = 12,2 \text{ kN}$$

$$P_3 = 10,26 \text{ kN}$$

$$P_4 = 12,96 \text{ kN}$$

$$P_5 = 12,42 \text{ kN}$$

$$RVA = RVB = 50,62 \text{ kN}$$

Esforços de cálculo

$$O_1 = 12,0 \text{ kN}$$

NORIMASA ISHIKAWA

$$O_2 = 115,0 \text{ kN}$$

$$V_1 = + 56,0 \text{ kN}$$

$$V_2 = + 166 \text{ kN}$$

$$D_1 = 16,8 \text{ kN}$$

$$D_2 = 82,0 \text{ kN}$$

$$D_3 = 84,0 \text{ kN}$$

$$D_4 = 80,0 \text{ kN}$$

- Banzo superior

$$N_d = O_2 = - 115 \text{ kN}$$

$$\text{Secção} = 2 \times 5,0 \times 20,0$$

$$S = 200 \text{ cm}^2$$

$$E = 10 \text{ cm}$$

$$I_x = 6667 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 11667 \text{ cm}^4$$

$$i_x = 5,77 \text{ cm}$$

$$i_y = 7,63 \text{ cm}$$

$$\lambda_{\min} = N_x = L_f / I_x = 250 / 5,77 = 44 \text{ (peça medianamente esbelta)}$$

$$(\sigma_{N_d} / f_{co,d}) + (\sigma_{M_d} / f_{co,d}) \leq 1,0$$

$$\sigma_{N_d} = N_d / S = 115 / 200 = 0,58 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_d = N_d \times e_d = 115 \times 1,5 = 173 \text{ kN.cm}$$

$$\sigma_{M_d} = M_d / w_x = 173 / 667 = 0,26$$

Verificação da condição de segurança

$$(\sigma_{N_d} / f_{co,d}) + (\sigma_{M_d} / f_{co,d}) = 0,68 < 1,0 \quad (\text{Ok})$$

- Banzo inferior

$$T_d = U_2 = + 115 \text{ kN}$$

$$\text{Secção} = 2 \times 5,0 \times 20,0 \text{ (cm)}$$

$$S_1 = 200 \text{ cm}^2$$

$$S_v = 168 \text{ cm}^2$$

$$f_{td} = 2,21 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{td} = T_d / S_v = 115 / 168 = 0,70 \text{ kN/cm}^2 < f_{td}$$

Diagonal comprimida

NORIMASA ISHIKAWA

$$D_d = D_3 = - 58 \text{ kN}$$

Secção – 10 x 20 (cm)

$$S = 200 \text{ cm}^2$$

$$i_y = 2,89 \text{ cm}$$

$$i_x = 5,78 \text{ cm}$$

Comprimento de flambagem = 370 cm

$$\lambda = 370 / 2,89 = 128 \text{ (peça esbelta)}$$

$$(\sigma_{Nd} / f_{co,d}) + (\sigma_{Md} / f_{co,d}) \leq 1,0$$

$$\sigma_{Nd} = 58 / 200 = 0,29 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{Md} = M_d / w_y$$

$$w_y = 333 \text{ cm}^3$$

$$M_d = N_d \times e_{1,ef} \times (F_e / F_e - N_d)$$

$$E_a = 1,23$$

$$e = 0,17$$

$$F_e = 152$$

$$\emptyset = 0,8$$

$$\psi = 0,3$$

$$\psi = 0,2$$

$$C = 0,261$$

$$e_c = 0,21$$

$$e_{1ef} = 0,17 + 1,23 + 0,21 = 1,61$$

$$M_d = 58 \times 1,61 \times 1,61 = 150,3 \text{ kN.cm}$$

$$\sigma_{nd} / w_y = 0,45 \text{ kN/cm}^2$$

$$(\sigma_{Nd} / f_{co,d}) + (\sigma_{Md} / f_{co,d}) = (0,29 / 2,21) + (0,45 / 2,28) = 0,34 \quad (\text{Ok})$$

Atenciosamente

NORIMASA ISHIKAWA
Engenheiro Civil – CREA-PR 4973/D

fit/