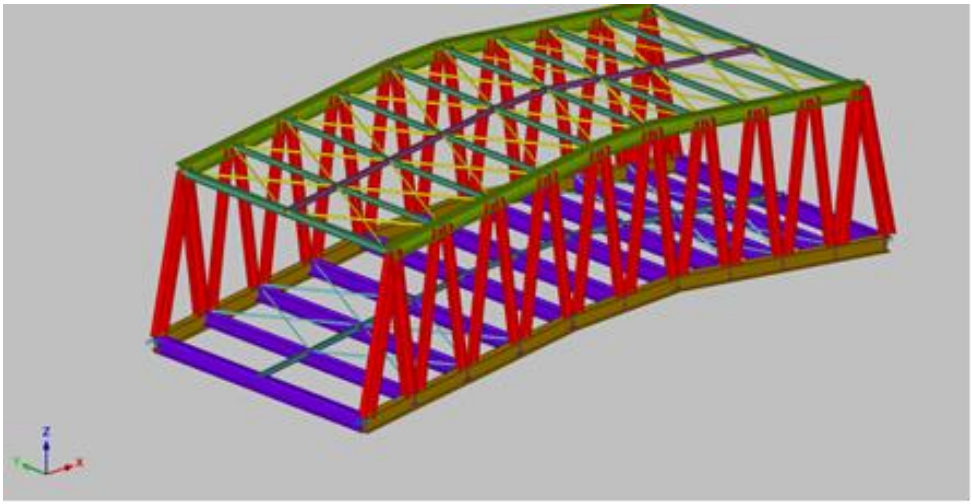
Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

Projeto Estrutural de Ponte Treliçada em Aço

Ponte sobre o Rio Bengalas – E203

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.



1. DADOS DA PONTE

1.1 Principais dimensões da ponte

Comprimento total.....C=2600cm
Largura total da ponte (OEA Classe II - DNIT).....B=1145cm
Largura das barreiras (New Jersey).....br=45cm
Largura dos guarda-corpos.....bgc=10cm
Largura da faixa de rolamento.....fr=350cm
Largura do acostamento.....ac=0cm
Largura da ciclovia.....acicl=0cm
Largura da calçada de pedestres.....acal=120cm
Número de faixas de rolamento.....nf=2
Número de vãos da ponte.....nvao=1
Comprimento do vão 01.....C1=C=2600cm
Número de vigas longitudinais (vão 01).....nv1=2
Distância entre longarinas (vão 01).....b1=1145cm

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Espessura da laje.....tc=30cm
Espessura média de pavimentação .....tp=10cm
Comprimento máximo sem emendas de chapa .....Cmax=1190cm

1.2 Principais normas e especificações adotadas

Normas ABNT
NBR 5884:2013 - Perfil I estrutural de aço soldado por acro elétrico - Requisitos gerais
NBR 6120:2019 - Cargas para cálculo estrutural de edificações
NBR 6118:2014 - Projeto de estruturas de concreto - Procedimento
NBR 6122:2019 - Projeto e execução de fundações
NBR 6123:1988 - Forças devidas aos ventos em edificações
NBR 7187:2021 - Projeto de pontes de concreto armado e protendido - Procedimento
NBR 7188:2013 - Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos e passarelas
NBR 8661:2003 - Ações e segurança nas estruturas
NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto de edifícios
NBR 155980:2011 - Perfis laminados de aço para uso estrutural - Dimensões e tolerâncias
NBR 16694:2020 - Projeto de pontes rodoviárias de aço e mistas de concreto e aço

Especificações estrangeiras
AASHTO - LRFD Bridge Design Specifications - Fifth Edition
AWS D1.5/D1.5M - Bridge welding code

1.3 Características dos materiais empregados na ponte

Resistência ao escoamento mínimo do aço ..... $f_y := 345MPa$

Resistência à ruptura mínima do aço..... $f_u := 480MPa$

Módulo de elasticidade do aço . ..... $E_a := 200GPa$

Peso específico do aço..... ..... $\gamma_s := 78\frac{kN}{m^3}$

Resistência à compressão do concreto (>= 30MPa)..... $f_{ck} := 40MPa$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Módulo de elasticidade do concreto ..... $E_c := 0.85 5600 \sqrt{\frac{f_{ck}}{MPa}} MPa$ $E_c = 30.105 GPa$

Peso específico do concreto armado da laje ..... $\gamma_c := 25 \frac{kN}{m^3}$

Limite de escoamento do aço das armaduras da laje ..... $f_{yc} := 500 MPa$

Peso específico do material de pavimentação ..... $\gamma_r := 24 \frac{kN}{m^3}$

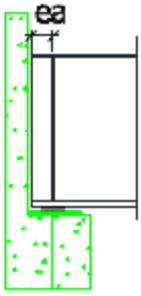
Classificação do ambiente atmosférico ..... $Amb := "C2"$

1.4 Vão teórico de cálculo

Extremidade para o apoio ..... $e_{a_1} := 35 cm$

Vão efetivo de cálculo ..... $L_1 := C_1 - 2 e_{a_1} = 25.3 m$

$L_{min} := L_1 = 25.3 m$



Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

1.5 Dados de tráfego para a fadiga

Vida útil de projeto para a fadiga ..... $VUP := 100yr$

Volume médio diário de tráfego por faixa (Classe II - DNIT)..... $VMD := \frac{1000}{day}$

Percentual de tráfego pesado no VMD..... $ptp := 15\%$

Volume médio diário de tráfego ..... $VMDP := VMD \cdot ptp$. $VMDP = 150 \cdot \frac{1}{day}$

Fração do tráfego pesado por faixa..... $p := \begin{cases} 1.00 & \text{if } n_f = 1 \\ 0.85 & \text{if } n_f = 2 \\ 0.80 & \text{if } n_f > 2 \end{cases}$ $p = 0.85$

Média diária de tráfego pesado por faixa ..... $MDPF := VMDP \cdot p$ .. $MDPF = 127.5 \frac{1}{day}$

Número de ciclos pesado/passagem ..... $nc := \begin{cases} 1.00 & \text{if } L_{min} \geq 12m \\ 2.00 & \text{if } L_{min} < 12m \end{cases}$ $nc = 1$

Número de ciclos total para a fadiga ..... $Nc := 365 \frac{day}{yr} \cdot VUP \cdot nc \cdot MDPF$

..... $Nc = 4.654 \times 10^6$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

2. CARGAS NA PONTE

2.1 Carga permanente anterior à cura do concreto - CP1

Balanço da laje

Vão 1 ..... $b_{l_1} := \frac{B - \left(n_{v_1} - 1\right) \cdot b_1}{2}$ $b_{l_1} = 0 \cdot cm$

Laje de concreto

Vão 1..... ..... $q_{1_1} := t_c \cdot \gamma_c$ $q_{1_1} = 7.5 \cdot \frac{kN}{m^2}$

Mísula da laje de concreto .... $q_2 := 0cm \cdot \gamma_c$ $q_2 = 0 \cdot \frac{kN}{m}$

Peso da estrutura metálica .... $p_{estru_1} := 3 \frac{kN}{m^2}$

Peso da forma .... $p_{forma} := 0 \frac{kN}{m^2}$

Vigas de aço + forma

Vão 1..... ..... $q_{3_1} := \left(p_{estru_1} + p_{forma}\right)$ $q_{3_1} = 3 \cdot \frac{kN}{m^2}$

Carga Permanente CP1 total

Vão 1..... ..... $CP_{1_1} := q_{1_1} + q_2 + q_{3_1} = 10.5 \frac{kN}{m^2}$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

2.2 Carga permanente posterior à cura do concreto da laje - CP2

Barreiras (Perfil New Jersey) ... . $nj := \frac{2310cm^2 \cdot \gamma_c}{40cm} = 14.438 \frac{kN}{m^2}$

.....Vão 1..... $q4_1 := nj \cdot \frac{0.4}{0.25}$ $q4_1 = 23.1 \frac{kN}{m^2}$

Pavimentação

.....Vão 1..... $q5_1 := \left(t_p \cdot \gamma_r + 2\frac{kN}{m^2}\right)$ $q5_1 = 4.4 \frac{kN}{m^2}$

Carga Permanente CP2 total

.....Vão 1..... $CP2_1 := q4_1 \cdot \frac{0.25m}{B} + q5_1 = 4.9 \frac{kN}{m^2}$

2.3 Carga móvel (NBR 7188)

Carga concentrada por roda (TB-450)..... $P := 75kN$

Carga distribuída (TB-450) .... $p := 5.0 \frac{kN}{m^2}$

Coeficiente de impacto vertical:

$LIV := L_1$ $LIV = 25.3m$

$CIV := \begin{cases} 1.35 & \text{if } LIV \le 10m \\ 1.00 + 1.06\left(\frac{20m}{LIV + 50m}\right) & \text{otherwise} \end{cases}$ $CIV = 1.282$

Coeficientes de número de faixas:

$CNF := \begin{cases} 1 - 0.05(n_f - 2) & \text{if } 1 - 0.05(n_f - 2) > 0.9 \\ 0.9 & \text{otherwise} \end{cases}$ $CNF = 1$

Carga concentrada por roda..... $Q := P \cdot CIV \cdot CNF$ $Q = 96kN$

Carga distribuída ..... $q := p \cdot CIV \cdot CNF$ $q = 6.4 \frac{kN}{m^2}$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

2.4 Forças devidas ao vento – CV

Velocidade básica do vento (isopletas) ..... $v_0 := 35\frac{m}{s}$

Fator topográfico (terreno plano) ..... $S_1 := 1.0$

Fator de rugosidade (Categoria II, Classe B - iten 5.3.3 Tabela 1 NBR 6123)

$b_0 := 1$ $F_r := 1$ $p_0 := 0.1$

Altura acima do terreno .... $z := 1m$ $S_2 := b_0 \cdot F_r \cdot \left(\frac{z}{10m}\right)^{p_0} = 0.79$

Fator Estatístico (Tabela 03 NBR 6123)..... $S_3 := 1.1$

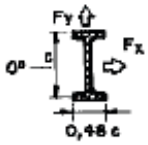
Velocidade característica do vento ..... $V_k := S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot v_0 = 30.58\frac{m}{s}$

Pressão dinâmica do vento .... $q_d := \left(0.613N \cdot \frac{s^2}{m^4}\right) V_k^{\,2} = 0.57\frac{kN}{m^2}$

Fator de redução para barras de comprimento finito:

$d := 0.60m$ Vão 01 Seja $\frac{C_1}{d} = 43.33$ --> $k_{vx_1} := 0.825$

Coeficiente de força para barras de comprimento infinito: (Tabela 12 - NBR 6123)



$C_x := 1.0$

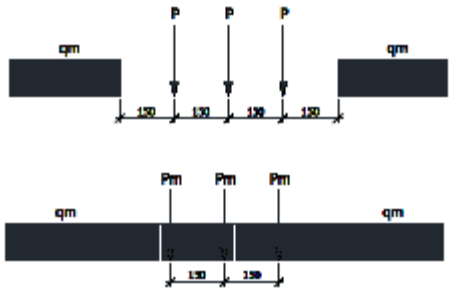
Fator para vigas paralelas (Figura 08 NBR 6123):

Vão 01 $\frac{b_1}{d} = 19.08$ $\eta_1 := 1$ $f_{vpv_1} := 1 + \left(n_{v_1} - 1\right) \cdot \eta_1 = 2$

Vento lateral na ponte .... $q_{v_1} := q_d \cdot C_x \cdot k_{vx_1} \cdot f_{vpv_1} = 1.5\frac{kN}{m^2}$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

3. CÁLCULO DOS ESFORÇOS E ENVOLTÓRIA



A carga distribuída foi homogeneizada subtraindo das cargas concentradas as parcelas correspondentes.

3.1 Combinações para os estados limites últimos (ELU)

Conforme Memória Cype3D. As cargas acidentais foram adicionadas ao softwares com valor majorado em 1

3.2 Combinações para os estados limites de serviço (ELS)

Conforme Memória Cype3D.

3.3 Esforços máximos nas seções

Conforme Memória de Cálculo do Cype3D.

4. DIMENSÕES E PROPRIEDADES DAS SEÇÕES

Conforme Memória de Cálculo do Cype3D.

5. VERIFICAÇÃO DAS VIGAS DE AÇO E LAJE

Conforme Memória de Cálculo do Cype3D.

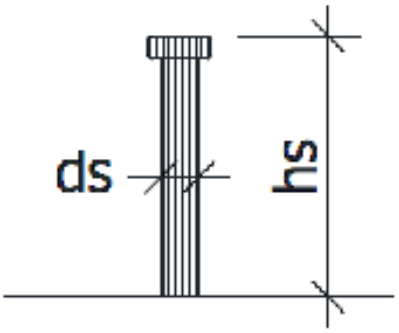
6. VERIFICAÇÃO DA DEFORMAÇÃO E CONTRA-FLECHA

Conforme Memória de Cálculo do Cype3D.

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

7. CONECTORES DE CISALHAMENTO

7.1 Resistência de um conector tipo Pino com cabeça – STUD



Altura: $h_s := 120mm$

Diâmetro: $d_s := 19mm$

Área: $A_{cs} := \frac{\pi \cdot d_s^2}{4}$ $A_{cs} = 2.835 \cdot cm^2$

Verificação: $\frac{h_s}{d_s} = 6.316$ ≥ 4 -- OK

Resistência à fadiga:

Vida útil projetada ..... $VUP = 100 \cdot yr$

Volume médio de tráfego..... $VMD = 1 \times 10^3 \cdot \frac{1}{day}$

Número de ciclos..... $Nc = 4.654 \times 10^6$

$\sigma_{SR} := \max(238MPa - 29.5\log(Nc)\,MPa, 38MPa) = 41.3\,MPa$

Resistência à fadiga ..... $Z_r := \sigma_{SR} \cdot d_s^2$ $Z_r = 14.9\,kN/stud$

Resistência última:

Resistência à compressão do concreto..... $f_{ck} = 40 \cdot MPa$

Módulo de elasticidade do concreto ..... $E_c = 30.105GPa$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Resistência à ruptura do aço do conector ..... $f_{ucs} := 415MPa$

$$Q_{rd} := \frac{\min\left(0.5 \cdot A_{cs} \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c}, A_{cs} \cdot f_{ucs}\right)}{1.25}$$

Resistência de cálculo..... ..... $Q_{rd} = 94.1 kN$ /stud

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

8. Aparelhos de apoio de Neoprene

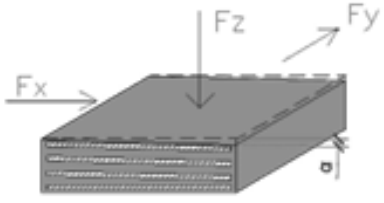
SCAPE — Software para Cálculo de Aparelhos de Apoio Elastoméricos

Aparelho de Apoio Retangular Fretado - Memorial de Cálculo - BS EN 1337-3

Tipo de verificação	Resultado	Limite	Situação
Máxima deformação total de cálculo	4.75	7 mm	OK
Verificação da espessura das chapas de aço	2.34	4.0mm	OK
Máxima rotação permitida	4.61	>=0	OK
Estabilidade a flambagem	15.78	<=22.9	OK
Estabilidade ao deslizamento	-	-	OK

Variáveis de entrada

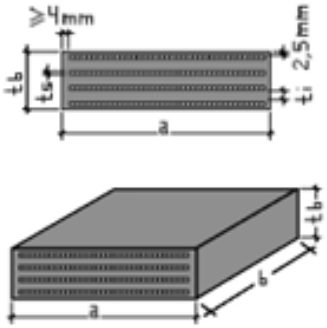
Fzk = 2367.00 kN
Fzd = 3314.00 kN Fzd,mín =1883.00 kN
Fxd = 20.00 kN Fyd = 90.00 kN
vxd = 9.35 mm vyd = 42.08 mm
$\alpha_{a,d}$ = 0.001 rad $\alpha_{b,d}$ = 0.0 rad



Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Aparelho de apoio escolhido

a = 400.0 mm
b = 600.0 mm
n = 8.0 camadas
ts = 4.0 mm
ti = 12.0 mm
tb = 137.0 mm



Configurações

*Kf = 0.6
G = 0.9 MPa
Eb = 2000.0 MPa
fy = 210.0 MPa
ch = 4.0 mm
cv = 2.5 mm
**Kh = 1.0

*Para aparelhos de apoio em contato com o concreto Kf = 0,6 e, para quais quer outros materiais Kf = 0,2.
**Para aparelhos de apoio com presença de furos Kh = 2,0 , caso contrário, Kf = 1,0.

Data: 03/09/2024 Pág. 1 de 2

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Verificação 1: Máxima deformação total de cálculo

$$K_L\left(\varepsilon_{c,d} + \varepsilon_{q,d} + \varepsilon_{a,d}\right) \leq \varepsilon_{u,d} = 1.5*(2.68+0.43+0.07) \leq 7 = 4.75 < 7 \rightarrow \text{OK}$$

$$\varepsilon_{q,d} = \frac{v_{xy,d}}{r_q} \leq 1{,}0 = 0.43 < 1 \rightarrow \text{OK}$$

Verificação 2: Verificação de espessura das chapas de aço

$$t_s{}' = \frac{K_p \cdot F_{z,d} \cdot (t_1+t_2) \cdot K_h \cdot \gamma_m}{A_r \cdot f_y} \leq t_s = 2.34 \leq 4.00 \rightarrow \text{OK}$$

Verificação 3: Condição limite - rotação

$$\sum v_{z,d} - \frac{\left(a' \cdot \alpha_{a,d} + b' \cdot \alpha_{b,d}\right)}{K_{r,d}} \geq 0 = 4.61 \geq 0 \rightarrow \text{OK}$$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Verificação 4: Condição limite - estabilidade à flambagem

$$\frac{F_{z,d}}{A_r} < \frac{2.a'.G.S_1}{3.T_e} = 15.78 \leq 22.88 \rightarrow \text{OK}$$

Verificação 5: Condição limite - estabilidade ao deslizamento

Sob Cargas permanentes:

$$\sigma_{cd,min} = \frac{F_{z,d\ min}}{A_r} \geq 3 = 8.97 \geq 3\ \text{N/mm}^2 \rightarrow \text{OK}$$

Sob Cargas totais:

$$F_{xy,d} - \mu_e . F_{z,d\ min} \leq 0 = -285132.49 \leq 0 \rightarrow \text{OK}$$

Data: 03/09/2024

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

9. ENRIJECEDORES TRANSVERSAIS

Conforme Memória Cype3D..

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

10. LAJES

Largura do vão:..... $L_x := \frac{L_1}{10} = 2.53\,m$

Comprimento do vão:..... $L_y := b_1 = 11.45m$

Espessura da Laje:..... $h_{laje} := t_c = 30\,cm$

Espessura máxima do pavimento:..... $h_{pav.max} := 14cm$

Espessura mínima do pavimento:..... $h_{pav.min} := 5cm$

Espessura média do revestimento:..... $h_{rev} := \frac{h_{pav.max} + h_{pav.min}}{2} = 0.095m$

Cobrimento:..... $cob := 5cm$

Peso próprio do concreto:..... $g_{pp} := 25\frac{kN}{m^3}$

Peso próprio do pavimento:..... $g_{pp.pav} := 24\frac{kN}{m^3}$

Trem tipo:..... $TB := 45($

Coeficiente de ponderação da estrutura de concreto:..... $\gamma_{f.g1} := 1.3($

Coeficiente de ponderação dos pavimentos:..... $\gamma_{f.g2} := 1.3$

Coeficiente de ponderação do carregamento móvel:..... $\gamma_{f.q} := 1.$

Coeficiente de ponderação da resistência do concreto:..... $\gamma_c := 1.$

Coeficiente de ponderação da resistência do aço:..... $\gamma_s := 1.1$

Resistência à compressão do concreto:..... $f_{ck} := 40MPa$ $f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 28.571MPa$

Resistência ao escoamento do aço (passiva):..... $f_{yk} := 500MPa$ $f_{yd} := \frac{f_y}{\gamma_s} = 300\,MPa$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Carregamentos:

Peso próprio da laje ..... $g_1 := h_{laje} \cdot g_{pp} = 7.5 \frac{kN}{m^2}$

Peso Próprio revestimento (asfalto)..... $g_2 := h_{rev} \cdot g_{pp.pav} = 2.28 \frac{kN}{m^2}$

Peso Próprio recapeamento (asfalto) ..... $g_3 := 2 \frac{kN}{m^2}$

Peso Próprio New Jersey ..... $g_4 := 0.55 \frac{kN}{m^2}$ $g_5 := 0 \frac{kN}{m^2}$

Carregamento dos materiais ..... $g_2 := \sum_{n=2}^{5} g_n = 4.83 \frac{kN}{m^2}$

Sobrecarga de multidão: ..... $p := \begin{cases} 5 \frac{kN}{m^2} & \text{if } TB = 450 \vee TB = 300 \\ 4 \frac{kN}{m^2} & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 5 \cdot \frac{kN}{m^2}$

Peso das rodas ..... $P_r := \begin{cases} 75 kN & \text{if } TB = 450 \\ 50 kN & \text{if } TB = 300 \\ 40 kN & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 75 \cdot kN$

Largura de contato da roda dianteira: ..... $LC_d := \begin{cases} 0.50 m & \text{if } TB = 450 \\ 0.40 m & \text{if } TB = 300 \\ 0.30 m & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 0.5$

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Largura de contato da roda intermediária:..... $LC_i := \begin{cases} 0.50m & \text{if } TB = 450 \\ 0.40m & \text{if } TB = 300 \\ 0.30m & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 0.5$

Largura de contato da roda traseira: ..... $LC_t := \begin{cases} 0.50m & \text{if } TB = 450 \\ 0.40m & \text{if } TB = 300 \\ 0.30m & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 0.5$

Comprimento de contato da roda: ..... $CC := 0.20m$

Comprimento dos eixos:..... ..... $a := 2.00m$

Coeficiente de Impacto vertical:

$$CIV := \min\left[1 + 1.06\left(\frac{20}{\frac{L_y}{m} + 50}\right), 1.35\right] = 1.345$$

Coeficiente indicativo de momento (Tabelas de Rüsch):

$$\frac{L_x}{a} = 1.265$$

$$t := \sqrt{\max(LC_d, LC_i, LC_t)\cdot CC} + h_{laje} + h_{pav.max} + h_{pav.min} = 0.806m$$

$$\frac{t}{a} = 0.403$$

$$\lambda := \frac{L_y}{L_x} = 4.526 \qquad \lambda_{adot} := \begin{cases} \lambda & \text{if } \lambda \le 2 \\ \infty & \text{otherwise} \end{cases} = 1 \times 10^{307}$$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Condições de contorno:

Borda direita:..... Bd := "apoiada"

Borda esquerda:..... Be := "apoiada"

Borda superior:..... Bs := "engastada" $Bs_{adot} := \begin{cases} Bs & \text{if } \lambda \le 2 \\ \text{"indefinido"} & \text{otherwise} \end{cases}$ = "indefinido"

Borda inferior:..... Bi := "engastada" $Bi_{adot} := \begin{cases} Bi & \text{if } \lambda \le 2 \\ \text{"indefinido"} & \text{otherwise} \end{cases}$ = "indefinido"

Coeficientes:

Tabela adotada:..... TRusch := 93

Carregamentos permanentes:

$k_{mxm} := 0.007$ $k_{mym} := 0.042$ $k_{mxe} := 0$ $k_{mye} := 0.083$

Carregamentos móveis:

$M_{pr.mxm} := 0.156m$ $M_{pr.mym} := 0.215m$ $M_{pr.mxe} := 0m$ $M_{pr.mye} := 0.37m$

$M_{p.mxm} := 0 \cdot m^3$ $M_{p.mym} := 0m^3$ $M_{p.mxe} := 0m^3$ $M_{p.mye} := 0m^3$

$M_{p'.mxm} := 0.022m^3$ $M_{p'.mym} := 0.03m^3$ $M_{p'.mxe} := 0m^3$ $M_{p'.mye} := 0.322m^3$

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Momentos:

Carregamentos permanentes:

Peso próprio da estrutura:

$M_{g1.mxm} := k_{mxm} \cdot g_1 \cdot L_x^2 = 0.336\,kN \cdot m$

$M_{g1.mym} := k_{mym} \cdot g_1 \cdot L_x^2 = 2.016\,kN \cdot m$

$M_{g1.mxe} := k_{mxe} \cdot g_1 \cdot L_x^2 = 0\,kN \cdot m$

$M_{g1.mye} := k_{mye} \cdot g_1 \cdot L_x^2 = 3.985\,kN \cdot m$

Peso dos materiais:

$M_{g2.mxm} := k_{mxm} \cdot g_2 \cdot L_x^2 = 0.22\,kN \cdot m$

$M_{g2.mym} := k_{mym} \cdot g_2 \cdot L_x^2 = 1.298\,kN \cdot m$

$M_{g2.mxe} := k_{mxe} \cdot g_2 \cdot L_x^2 = 0\,kN \cdot m$

$M_{g2.mye} := k_{mye} \cdot g_2 \cdot L_x^2 = 2.566\,kN \cdot m$

Carregamento móvel:

$M_{q.mxm} := CIV \cdot \left(M_{pr.mxm} \cdot P_r + M_{p.mxm} \cdot p + M_{p'.mxm} \cdot p\right) = 15.884\,kN \cdot m$

$M_{q.mym} := CIV \cdot \left(M_{pr.mym} \cdot P_r + M_{p.mym} \cdot p + M_{p'.mym} \cdot p\right) = 21.89\,kN \cdot m$

$M_{q.mxe} := CIV \cdot \left(M_{pr.mxe} \cdot P_r + M_{p.mxe} \cdot p + M_{p'.mxe} \cdot p\right) = 0\,kN \cdot m$

$M_{q.mye} := CIV \cdot \left(M_{pr.mye} \cdot P_r + M_{p.mye} \cdot p + M_{p'.mye} \cdot p\right) = 3.949 \times 10^4\,J$

Combinações:

Mxm:

$M_{1.mxm} := \gamma_{f.g1} \cdot M_{g1.mxm} + \gamma_{f.g2} \cdot M_{g2.mxm} + \gamma_{f.q} \cdot M_{q.mxm} = 24.556\,kN \cdot m$

$M_{2.mxm} := 1.0 \cdot M_{g1.mxm} + 1.0 \cdot M_{g2.mxm} + 0 = 0.552\,kN \cdot m$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Coeficiente de fadiga:

$$f_{mxm} := \frac{M_{1.mxm} - M_{2.mxm}}{M_{1.mxm}} \cdot \frac{f_{yk}}{360MPa} = 1.358$$

Mym:

$$M_{1.mym} := \gamma_{f.g1} \cdot M_{g1.mym} + \gamma_{f.g2} \cdot M_{g2.mym} + \gamma_{f.q} \cdot M_{q.mym} = 37.209 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{2.mym} := 1.0 \cdot M_{g1.mym} + 1.0 \cdot M_{g2.mym} + 0 = 3.315 \cdot kN \cdot m$$

Coeficiente de fadiga:

$$f_{mym} := \frac{M_{1.mym} - M_{2.mym}}{M_{1.mym}} \cdot \frac{f_{yk}}{360MPa} = 1.265$$

Mxe:

$$M_{1.mxe} := \gamma_{f.g1} \cdot M_{g1.mxe} + \gamma_{f.g2} \cdot M_{g2.mxe} + \gamma_{f.q} \cdot M_{q.mxe} = 0 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{2.mxe} := 1.0 \cdot M_{g1.mxe} + 1.0 M_{g2.mxe} + 0 = 0 \cdot kN \cdot m$$

Coeficiente de fadiga:

$$f_{mxe} := \frac{M_{1.mxe} - M_{2.mxe}}{M_{1.mxe}} \cdot \frac{f_{yk}}{360MPa} = 0$$

Mye:

$$M_{1.mye} := \gamma_{f.g1} \cdot M_{g1.mye} + \gamma_{f.g2} \cdot M_{g2.mye} + 1.5 \cdot M_{q.mye} = 67.878 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{2.mye} := 1.0 \cdot M_{g1.mye} + 1.0 \cdot M_{g2.mye} + 0 = 6.551 \cdot kN \cdot m$$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Coeficiente de fadiga:

$$f_{mye} := \frac{M_{1.mye} - M_{2.mye}}{M_{1.mye}} \cdot \frac{f_{yk}}{360MPa} = 1.255$$

Armaduras:

Direção x:

Armadura positiva:

Momento resistente de cálculo:

Diâmetro da armadura longitudinal: $\phi_l := 10mm$

Diâmetro da armadura transversal: $\phi_t := 10mm$

Largura da seção: $b_w := 100cm$

Altura útil da seção: $d := t_c - cob - \phi_t - \frac{\phi_l}{2} = 23.5cm$

Distribuição de tensões no concreto segundo o digrama de retângulo de profundidade:

$$\lambda := \begin{cases} 0.8 & \text{if } f_{ck} \le 50MPa \\ 0.8 - \frac{(f_{ck} - 50MPa)}{400MPa} & \text{if } f_{ck} > 50MPa \end{cases} \quad = 0.8$$

$$\alpha := \begin{cases} 0.85 & \text{if } f_{ck} \le 50MPa \\ 0.85\left(1 - \frac{f_{ck} - 50MPa}{400MPa}\right) & \text{if } f_{ck} > 50MPa \end{cases} \quad = 0.85$$

Força atuante no concreto (zona comprimida):

$$F_c(x) := \alpha \cdot f_{cd} \cdot \lambda \cdot x$$

Braço de alavanca:

$$z(x) := d - 0.4x$$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Momento resistente de cálculo:

$M_{rd}(x) := F_c(x) \cdot z(x)$

Posição da linha neutra da seção:

$x := 0m$

Given

$M_{rd}(x) = \frac{M_{1.mxn}}{b_w}$

$x_{LN} := Find(x)$

$x_{LN} = 0.543cm$

$xd := \frac{x_{LN}}{d} = 0.023$

Domínio de deformação:

$$domínio := \begin{cases} 1 & \text{if } xd = 0 \\ 2 & \text{if } 0 < xd \le 0.259 \\ 3 & \text{if } 0.259 < xd \le 0.45 \wedge f_{ck} \le 50MPa \\ 3 & \text{if } 0.259 < xd \le 0.35 \wedge f_{ck} \le 50MPa \\ \text{"x/d está fora de norma "} & \text{otherwise} \end{cases} = 2$$

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Deformação:

$$\varepsilon_s := \begin{cases} 0.01 \text{ if } \text{domínio} = 2 \\ \dfrac{0.0035\left(d - x_{LN}\right)}{x_{LN}} \text{ if } \text{domínio} = 3 \end{cases} \quad = 0.01$$

$$\varepsilon_c := \begin{cases} \dfrac{0.01 x_{LN}}{d - x_{LN}} \text{ if } \text{domínio} = 2 \\ 0.0035 \text{ if } \text{domínio} = 3 \end{cases} \quad = 0.00024$$

Braço de alavanca:

$$z_d := z\left(x_{LN}\right) = 0.233\text{m}$$

Área de aço:

$$A_{s1} := \frac{M_{1.mxm}}{b_w \cdot z_d \cdot f_{yd}} = 3.516 \cdot \frac{cm^2}{m}$$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Área mínima de aço da armadura longitudinal:

Taxa de armadura mínima:

$$\rho_{min} := \begin{cases} 0.00150 \text{ if } f_{ck} = 20MPa \\ 0.00150 \text{ if } f_{ck} = 25MPa \\ 0.00150 \text{ if } f_{ck} = 30MPa \\ 0.00164 \text{ if } f_{ck} = 35MPa \\ 0.00179 \text{ if } f_{ck} = 40MPa \\ 0.00194 \text{ if } f_{ck} = 45MPa \\ 0.00208 \text{ if } f_{ck} = 50MPa \end{cases} = 0.00179$$

$$\rho_{min} = 0.00179$$

$$A_{slmin} := t_c \cdot \rho_{min} = 5.37 \frac{cm^2}{m}$$

Área adotada de aço da armadura longitudinal:

$$A_{sxm} := \max\left(A_{sl}, A_{slmin}\right) = 5.37 \frac{cm^2}{m}$$

$$A^*_{sxm} := A_{sxm} \cdot f_{mxm} = 7.291 \cdot \frac{cm^2}{m}$$

Quantidade de barras e espaçamento da armadura longitudinal:

$$A_{\phi l} := \frac{\pi \phi_l^2}{4} = 0.785 cm^2$$

$$n_{bl} := Ceil\left(\frac{A^*_{sxm}}{A_{\phi l}}, \frac{1}{m}\right) = 10 \frac{1}{m}$$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

$$s_l := \mathrm{Floor}\left(\frac{100\frac{cm}{m}}{n_{bl}}, 1cm\right) = 0.1m$$

$$n_{bladot} := \mathrm{Ceil}\left(\frac{100\frac{cm}{m}}{\min\left(s_l, 20cm, 2\cdot t_c\right)}, \frac{1}{m}\right) = 10\frac{1}{m}$$

Área efetiva de aço da armadura longitudinal:

$$A_{sel} := n_{bladot}\cdot A_{\phi l} = 7.854\frac{cm^2}{m}$$

Direção y:

Armadura positiva:

Momento resistente de cálculo:

Diâmetro da armadura longitudinal: $\phi_l := 10mm$

Diâmetro da armadura transversal: $\phi_t := 12.5mm$

Largura da seção: $b_w := 100cm$

Altura útil da seção: $d := t_c - cob - \phi_t - \frac{\phi_l}{2} = 23.25cm$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Distribuição de tensões no concreto segundo o digrama de retângulo de profundidade:

$$\lambda := \begin{cases} 0.8 & \text{if } f_{ck} \le 50MPa \\ 0.8 - \dfrac{(f_{ck} - 50MPa)}{400MPa} & \text{if } f_{ck} > 50MPa \end{cases} \qquad = 0.8$$

$$\alpha := \begin{cases} 0.85 & \text{if } f_{ck} \le 50MPa \\ 0.85\left(1 - \dfrac{f_{ck} - 50MPa}{400MPa}\right) & \text{if } f_{ck} > 50MPa \end{cases} \qquad = 0.85$$

Força atuante no concreto (zona comprimida):

$$F_c(x) := \alpha \cdot f_{cd} \cdot \lambda \cdot x$$

Braço de alavanca:

$$z(x) := d - 0.4x$$

Momento resistente de cálculo:

$$M_{rd}(x) := F_c(x) \cdot z(x)$$

Posição da linha neutra da seção:

$$x := 0m$$

Given

$$M_{rd}(x) = \frac{M_{1.mym}}{b_w}$$

$$x_{LN} := Find(x)$$

$$x_{LN} = 0.836 \cdot cm$$

$$xd := \frac{x_{LN}}{d} = 0.036$$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Domínio de deformação:

$$domínio := \begin{cases} 1 \text{ if } xd = 0 \\ 2 \text{ if } 0 < xd \le 0.259 \\ 3 \text{ if } 0.259 < xd \le 0.45 \wedge f_{ck} \le 50MPa \\ 3 \text{ if } 0.259 < xd \le 0.35 \wedge f_{ck} \le 50MPa \\ \text{"x/d está fora de norma "} \text{ otherwise} \end{cases} = 2$$

Deformação:

$$\varepsilon_{sv} := \begin{cases} 0.01 \text{ if } domínio = 2 \\ \dfrac{0.0035\left(d - x_{LN}\right)}{x_{LN}} \text{ if } domínio = 3 \end{cases} = 0.01$$

$$\varepsilon_{cv} := \begin{cases} \dfrac{0.01 x_{LN}}{d - x_{LN}} \text{ if } domínio = 2 \\ 0.0035 \text{ if } domínio = 3 \end{cases} = 0.00037$$

Braço de alavanca:

$$z_d := z\left(x_{LN}\right) = 0.229m$$

Área de aço:

$$A_{s1} := \frac{M_{1.mym}}{b_w \cdot z_d \cdot f_{yd}} = 5.412 \cdot \frac{cm^2}{m}$$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Área mínima de aço da armadura longitudinal:

Taxa de armadura mínima:

$$\rho_{min} := \begin{cases} 0.00150 \text{ if } f_{ck} = 20MPa \\ 0.00150 \text{ if } f_{ck} = 25MPa \\ 0.00150 \text{ if } f_{ck} = 30MPa \\ 0.00164 \text{ if } f_{ck} = 35MPa \\ 0.00179 \text{ if } f_{ck} = 40MPa \\ 0.00194 \text{ if } f_{ck} = 45MPa \\ 0.00208 \text{ if } f_{ck} = 50MPa \end{cases} = 0.00179$$

$\rho_{min} = 0.00179$

$$A_{slmin} := t_c \cdot \rho_{min} = 5.37 \cdot \frac{cm^2}{m}$$

Área adotada de aço da armadura longitudinal:

$$A_{sym} := \max(A_{sl}, A_{slmin}) = 5.412 \cdot \frac{cm^2}{m}$$

$$A^*_{sym} := A_{sym} \cdot f_{mym} = 6.848 \cdot \frac{cm^2}{m}$$

Quantidade de barras e espaçamento da armadura longitudinal:

$$A_{\phi l} := \frac{\pi \phi_l^2}{4} = 0.785 cm^2$$

$$n_{bl} := \text{Ceil}\left(\frac{A^*_{sym}}{A_{\phi l}}, \frac{1}{m}\right) = 9 \frac{1}{m}$$

$$s_l := \text{Floor}\left(\frac{100 \frac{cm}{m}}{n_{bl}}, 1cm\right) = 0.11m$$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

$$n_{bladot} := Ceil\left(\frac{100\frac{cm}{m}}{\min\left(s_l, 20cm, 2\cdot t_c\right)}, \frac{1}{m}\right) = 10\frac{1}{m}$$

Área efetiva de aço da armadura longitudinal:

$$A_{sel} := n_{bladot}\cdot A_{\phi l} = 7.854\frac{cm^2}{m}$$

$$A_{sym} := A_{sel} = 7.854\frac{cm^2}{m}$$

<u>Armadura negativa:</u>

Momento resistente de cálculo:

Diâmetro da armadura longitudinal: $\phi_l := 12.5mm$

Diâmetro da armadura transversal: $\phi_t := 10mm$

Largura da seção: $b_w := 100cm$

Altura útil da seção: $d := t_c - cob - \phi_t - \frac{\phi_l}{2} = 23.375cm$

Distribuição de tensões no concreto segundo o digrama de retângulo de profundidade:

$$\lambda := \begin{cases} 0.8 & \text{if } f_{ck} \le 50MPa \\ 0.8 - \frac{\left(f_{ck} - 50MPa\right)}{400MPa} & \text{if } f_{ck} > 50MPa \end{cases} \quad = 0.8$$

$$\alpha := \begin{cases} 0.85 & \text{if } f_{ck} \le 50MPa \\ 0.85\left(1 - \frac{f_{ck} - 50MPa}{400MPa}\right) & \text{if } f_{ck} > 50MPa \end{cases} \quad = 0.85$$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Força atuante no concreto (zona comprimida):

$F_c(x) := \alpha \cdot f_{cd} \cdot \lambda \cdot x$

Braço de alavanca:

$z(x) := d - 0.4x$

Momento resistente de cálculo:

$M_{rd}(x) := F_c(x) \cdot z(x)$

Posição da linha neutra da seção:

$x := 0m$

Given

$M_{rd}(x) = \left| \frac{M_{1.mye}}{b_w} \right|$

$x_{LN} := Find(x)$

$x_{LN} = 1.535 \cdot cm$

$xd := \frac{x_{LN}}{d} = 0.066$

Domínio de deformação:

$domínio := \begin{cases} 1 \text{ if } xd = 0 \\ 2 \text{ if } 0 < xd \le 0.259 \\ 3 \text{ if } 0.259 < xd \le 0.45 \wedge f_{ck} \le 50MPa \\ 3 \text{ if } 0.259 < xd \le 0.35 \wedge f_{ck} \le 50MPa \\ \text{"x/d está fora de norma "} \text{ otherwise} \end{cases} = 2$

Deformação:

$\varepsilon_s := \begin{cases} 0.01 \text{ if } domínio = 2 \\ \frac{0.0035(d - x_{LN})}{x_{LN}} \text{ if } domínio = 3 \end{cases} = 0.01$

$\varepsilon_c := \begin{cases} \frac{0.01 x_{LN}}{d - x_{LN}} \text{ if } domínio = 2 \\ 0.0035 \text{ if } domínio = 3 \end{cases} = 0.0007$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Braço de alavanca:

$z_d := z(x_{LN}) = 0.228\,m$

Área de aço:

$$A_{sl} := \frac{|M_{1.mye}|}{b_w \cdot z_d \cdot f_{yd}} = 9.941 \cdot \frac{cm^2}{m}$$

Área mínima de aço da armadura longitudinal:

Taxa de armadura mínima:

$$\rho_{min} := \begin{cases} 0.00150 \text{ if } f_{ck} = 20\,MPa \\ 0.00150 \text{ if } f_{ck} = 25\,MPa \\ 0.00150 \text{ if } f_{ck} = 30\,MPa \\ 0.00164 \text{ if } f_{ck} = 35\,MPa \\ 0.00179 \text{ if } f_{ck} = 40\,MPa \\ 0.00194 \text{ if } f_{ck} = 45\,MPa \\ 0.00208 \text{ if } f_{ck} = 50\,MPa \end{cases} = 0.00179$$

$\rho_{min} = 0.00179$

$$A_{slmin} := t_c \cdot \rho_{min} = 5.37 \cdot \frac{cm^2}{m}$$

Área adotada de aço da armadura longitudinal:

$$A_{sye} := \max(A_{sl}, A_{slmin}) = 9.941 \cdot \frac{cm^2}{m}$$

$$A^*_{sye} := f_{mxm} \cdot A_{sye} = 13.496 \cdot \frac{cm^2}{m}$$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Quantidade de barras e espaçamento da armadura longitudinal:

$$A_{\phi l} := \frac{\pi \phi_l^2}{4} = 1.227\,cm^2$$

$$n_{bl} := Ceil\left(\frac{A^*_{sye}}{A_{\phi l}}, \frac{1}{m}\right) = 11\,\frac{1}{m}$$

$$s_l := Floor\left(\frac{100\,\frac{cm}{m}}{n_{bl}}, 1cm\right) = 9\cdot cm$$

$$n_{bladot} := Ceil\left(\frac{100\,\frac{cm}{m}}{\min\left(s_l, 20cm, 2\cdot t_c\right)}, \frac{1}{m}\right) = 12\,\frac{1}{m}$$

Área efetiva de aço da armadura longitudinal:

$$A_{sel} := n_{bladot}\cdot A_{\phi l} = 14.726\cdot\frac{cm^2}{m}$$

$$A_{sye} := A_{sel} = 14.726\cdot\frac{cm^2}{m}$$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

10.1 PRÉ-LAJES

Largura do vão:..... $L_x := 2.50m$

Espessura da pré-laje:..... $h_{prelaje} := 8cm$

Largura da pré-laje ..... $b_{prelaje} := 50cm$

Cobrimento:..... $cob := 3cm$

Peso próprio do concreto..... $g_{pp} := 25\frac{kN}{m^3}$

Espessura da capa de concreto: ..... $h_{capa} := h_{laje} - h_{prelaje} = 22cm$

Trem tipo: ..... $TB := 45$

Coeficiente de ponderação da estrutura de concreto: ..... $\gamma_{fg1} := 1.3$

Coeficiente de ponderação dos pavimentos: ..... $\gamma_{fg2} := 1.3$

Coeficiente de ponderação do carregamento móvel: ..... $\gamma_{fq} := 1.5$

Coeficiente de ponderação da resistência do concreto: ..... $\gamma_c := 1.4$

Coeficiente de ponderação da resistência do aço: ..... $\gamma_s := 1.1$

Resistência à compressão do concreto: ..... $f_{ck} := 40MPa$ $f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 28.571MPa$

Resistência ao escoamento do aço (passiva): ..... $f_{yk} := 500MPa$ $f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783MPa$

Carregamentos:

Peso próprio da laje ..... $g_1 := h_{prelaje} \cdot g_{pp} = 2\cdot\frac{kN}{m^2}$

Peso Prórprio revestimento (asfalto) ..... $g_2 := h_{capa} \cdot g_{pp} = 5.5\cdot\frac{kN}{m^2}$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Peso Próprio recapeamento (asfalto) ..... $g_3 := 0\frac{kN}{m^2}$

Peso Próprio New Jersey..... ..... $g_4 := 0\frac{kN}{m^2}$

$g_5 := 0\frac{kN}{m^2}$

Carregamento dos materiais: .... $g_2 := \sum_{n=2}^{5} g_n = 5.5\frac{kN}{m^2}$

$q_{acidental} := 1\frac{kN}{m^2}$

Combinações:

$M_{g1.mxm} := b_{prelaje} \cdot g_1 \cdot \frac{L_x^2}{8} = 0.781 kN \cdot m$

$M_{g2.mxm} := b_{prelaje} \cdot g_2 \cdot \frac{L_x^2}{8} = 2.148 kN \cdot m$

$M_{q.mxm} := b_{prelaje} \cdot q_{acidental} \cdot \frac{L_x^2}{8} = 0.391 kN \cdot m$

Mxm:

$M_{1.mxm} := \gamma_{f.g1} \cdot M_{g1.mxm} + \gamma_{f.g2} \cdot M_{g2.mxm} + \gamma_{f.q} \cdot M_{q.mxm} = 4.502 kN \cdot m$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Armaduras:

Direção x:

Armadura positiva:

Momento resistente de cálculo:

Diâmetro da armadura longitudinal: $\phi_l := 12.5mm$

Diâmetro da armadura transversal: $\phi_t := 5mm$

Largura da seção: $b_w := b_{prelaje} = 50cm$

Altura útil da seção: $d := h_{prelaje} - cob - \frac{\phi_l}{2} = 4.375cm$

Distribuição de tensões no concreto segundo o digrama de retângulo de profundidade:

$$\lambda := \begin{cases} 0.8 & \text{if } f_{ck} \le 50MPa \\ 0.8 - \frac{(f_{ck} - 50MPa)}{400MPa} & \text{if } f_{ck} > 50MPa \end{cases} \quad = 0.8$$

$$\alpha := \begin{cases} 0.85 & \text{if } f_{ck} \le 50MPa \\ 0.85\left(1 - \frac{f_{ck} - 50MPa}{400MPa}\right) & \text{if } f_{ck} > 50MPa \end{cases} \quad = 0.85$$

Força atuante no concreto (zona comprimida):

$F_c(x) := \alpha \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot \lambda \cdot x$

Braço de alavanca:

$z(x) := d - 0.4x$

Momento resistente de cálculo:

$M_{rd}(x) := F_c(x) \cdot z(x)$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Posição da linha neutra da seção:

$x := 0m$

Given

$M_{rd}(x) = M_{1.mxr}$

$x_{LN} := Find(x)$

$x_{LN} = 1.188cm$

$xd := \frac{x_{LN}}{d} = 0.272$

Domínio de deformação:

$$domínio := \begin{cases} 1 \text{ if } xd = 0 \\ 2 \text{ if } 0 < xd \le 0.259 \\ 3 \text{ if } 0.259 < xd \le 0.45 \wedge f_{ck} \le 50MPa \\ 3 \text{ if } 0.259 < xd \le 0.35 \wedge f_{ck} \le 50MPa \\ \text{"x/d está fora de norma "} \text{ otherwise} \end{cases} = 3$$

Deformação:

$$\varepsilon_{sv} := \begin{cases} 0.01 \text{ if } domínio = 2 \\ \frac{0.0035\left(d - x_{LN}\right)}{x_{LN}} \text{ if } domínio = 3 \end{cases} = 0.009385$$

$$\varepsilon_{cv} := \begin{cases} \frac{0.01 x_{LN}}{d - x_{LN}} \text{ if } domínio = 2 \\ 0.0035 \text{ if } domínio = 3 \end{cases} = 0.0035$$

Braço de alavanca:

$z_d := z\left(x_{LN}\right) = 0.039m$

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Área de aço:

$$A_{sl} := \frac{M_{1.mxm}}{b_w \cdot z_d \cdot f_{yd}} = 5.31 \cdot \frac{cm^2}{m}$$

Área mínima de aço da armadura longitudinal:

Taxa de armadura mínima:

$$\rho_{min} := \begin{cases} 0.00150 \text{ if } f_{ck} = 20MPa \\ 0.00150 \text{ if } f_{ck} = 25MPa \\ 0.00150 \text{ if } f_{ck} = 30MPa \\ 0.00164 \text{ if } f_{ck} = 35MPa \\ 0.00179 \text{ if } f_{ck} = 40MPa \\ 0.00194 \text{ if } f_{ck} = 45MPa \\ 0.00208 \text{ if } f_{ck} = 50MPa \end{cases} = 0.00179$$

$\rho_{min} = 0.00179$

$$A_{slmin} := t_c \cdot \rho_{min} = 5.37 \cdot \frac{cm^2}{m}$$

Área adotada de aço da armadura longitudinal:

$$A_{sxm} := \max\left(A_{sl}, A_{slmin}\right) = 5.37 \cdot \frac{cm^2}{m}$$

Como a armadura da pré-laje é maior que a armadura necessária para as lajes, nessa direção, não será necessário complementar para a execução da laje.

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

11. DIMENSIONAMENTO DOS CONSOLOS:

Espessura da Laje de Aproximação: $e_{laje.aproximação} := 0.30m$

Comprimento da Laje de Aproximação $L_{laje.aproximação} := 4.00m$

Largura da Laje de Aproximação: $B_{laje.aproximação} := 11.45m$

Trem-Tipo: $TB := 450$

Carga da Laje de Aproximação: $g_{laje} := e_{laje.aproximação} \cdot g_{pp} = 7.5 \cdot \frac{kN}{m^2}$

Carga Móvel:

Sobrecarga de multidão: $p := \begin{cases} 5\frac{kN}{m^2} & \text{if } TB = 450 \vee TB = 300 \\ 4\frac{kN}{m^2} & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 5 \cdot \frac{kN}{m^2}$

Peso das rodas: $P_r := \begin{cases} 75kN & \text{if } TB = 450 \\ 50kN & \text{if } TB = 300 \\ 40kN & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 75 \cdot kN$

Largura de contato da roda dianteira: $LC_d := \begin{cases} 0.50m & \text{if } TB = 450 \\ 0.40m & \text{if } TB = 300 \\ 0.30m & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 0.5$

Largura de contato da roda intermediária: $LC_i := \begin{cases} 0.50m & \text{if } TB = 450 \\ 0.40m & \text{if } TB = 300 \\ 0.30m & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 0.5$

Largura de contato da roda traseira: $LC_t := \begin{cases} 0.50m & \text{if } TB = 450 \\ 0.40m & \text{if } TB = 300 \\ 0.30m & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 0.5$

Comprimento de contato da roda: $CC := 0.20m$

Comprimento dos eixos: $a := 2.00m$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Coeficiente de Impacto vertical:

$$\varphi := \min\left[1 + 1.06\left(\frac{20}{\frac{L_y}{m} + 50}\right), 1.35\right] \cdot 1.25 = 1.681$$

Peso Móvel:

$$P_{móvel} := \left[g_{laje} + \left(p + \frac{6P_r}{L_{laje.aproximação} \cdot B_{laje.aproximação}}\right) \cdot \varphi\right] \cdot \frac{3}{2} = 48.638 \frac{kN}{m^2}$$

Distância do Ponto de Aplicação da Carga:

$d := 60cm - cob = 57 \cdot cm$ $\quad$ $a_{consolo} := 20cm + cob = 0.23m$

$$A_{s.consolo} := \left(0.1 + \frac{a_{consolo}}{d}\right) \cdot \frac{\left(1.5P_{móvel} \cdot L_{laje.aproximação}\right)}{f_{yd}} = 3.38 \frac{cm^2}{m}$$

Adotar armadura mínima: $\quad \phi$ 10 a c/ 10 cm

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

12. LAJE DE APROXIMAÇÃO:

Largura do vão: $L_x := 4m$

Comprimento do vão: $L_y := 11.45m$

Espessura da Laje: $h_{laje} := e_{laje.aproximação} = 0.3m$

Espessura máxima do pavimento: $h_{pav.max} := 10cm$

Espessura mínima do pavimento: $h_{pav.min} := 5cm$

Espessura média do revestimento: $h_{rev} := \frac{h_{pav.max} + h_{pav.min}}{2} = 0.075m$

Cobrimento: $cob := 5cm$

Peso próprio do concreto: $g_{pp} := 25\frac{kN}{m^3}$

Peso próprio do pavimento: $g_{pp.pav} := 24\frac{kN}{m^3}$

Trem tipo: $TB := 45$

Coeficiente de ponderação da estrutura de concreto: $\gamma_{f.g1} := 1.35$

Coeficiente de ponderação dos pavimentos: $\gamma_{f.g2} := 1.35$

Coeficiente de ponderação do carregamento móvel: $\gamma_{f.q} := 1.5$

Coeficiente de ponderação da resistência do concreto: $\gamma_c := 1.4$

Coeficiente de ponderação da resistência do aço: $\gamma_s := 1.15$

Resistência à compressão do concreto: $f_{ck} := 40MPa$

Resistência ao escoamento do aço (passiva): $f_{yk} := 500MPa$

Carregamentos:

Peso próprio da laje $g_1 := h_{laje} \cdot g_{pp} = 7.5\frac{kN}{m^2}$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Peso Próprio revestimento (asfalto) $g_2 := h_{rev} \cdot g_{pp.pav} = 1.8 \cdot \frac{kN}{m^2}$

Peso Próprio recapeamento (asfalto) $g_3 := 2 \frac{kN}{m^2}$

Carregamento dos materiais: $g_{2a} := \sum_{n=2}^{3} g_n = 3.8 \cdot \frac{kN}{m^2}$

Sobrecarga de multidão: $p := \begin{cases} 5 \frac{kN}{m^2} & \text{if } TB = 450 \vee TB = 300 \\ 4 \frac{kN}{m^2} & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 5 \cdot \frac{kN}{m^2}$

Peso das rodas: $P_r := \begin{cases} 75kN & \text{if } TB = 450 \\ 50kN & \text{if } TB = 300 \\ 40kN & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 75 \cdot kN$

Largura de contato da roda dianteira: $LC_d := \begin{cases} 0.50m & \text{if } TB = 450 \\ 0.40m & \text{if } TB = 300 \\ 0.30m & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 0.5$

Largura de contato da roda intermediária: $LC_i := \begin{cases} 0.50m & \text{if } TB = 450 \\ 0.40m & \text{if } TB = 300 \\ 0.30m & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 0.5$

Largura de contato da roda traseira: $LC_t := \begin{cases} 0.50m & \text{if } TB = 450 \\ 0.40m & \text{if } TB = 300 \\ 0.30m & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 0.5$

Comprimento de contato da roda: $CC := 0.20m$

Comprimento dos eixos: $a := 2.00m$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Coeficiente de Impacto vertical:

$LIV = 4\,m$ $\quad CIV := \begin{cases} 1.35 & \text{if } LIV \le 10m \\ 1.00 + 1.06\left(\frac{20m}{LIV + 50m}\right) & \text{otherwise} \end{cases}$ $\quad CIV = 1.35$

$LIV = 4\,m$

Coeficientes de número de faixas:

$CNF := \begin{cases} 1 - 0.05\left(n_f - 2\right) & \text{if } 1 - 0.05\left(n_f - 2\right) > 0.9 \\ 0.9 & \text{otherwise} \end{cases}$ $\quad CNF = 1$

Coeficiente de Impacto Adicional:

$CIA := 1.25$

Coeficiente indicativo de momento (Tabelas de Rüsch):

$\frac{L_x}{a} = 2$

$t := \sqrt{\max\left(LC_d, LC_i, LC_t\right) \cdot CC} + h_{laje} + h_{pav.max} + h_{pav.min} = 0.766m$

$\frac{t}{a} = 0.383$

$\lambda := \frac{L_y}{L_x} = 2.862$ $\quad \lambda_{adot} := \begin{cases} \lambda & \text{if } \lambda \le 2 \\ \infty & \text{otherwise} \end{cases} = 1 \times 10^{307}$

Condições de contorno:

Borda direita: $Bd := \text{"livre"}$

Borda esquerda: $Be := \text{"livre"}$

Borda superior: $Bs := \text{"apoiada"}$

Borda inferior: $Bi := \text{"apoiada"}$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Coeficientes:

Tabela adotada: $TRusch := 1$

Carregamentos permanentes:

$k_{mxm} := 0.125$ $k_{mym} := 0.021$ $k_{mxe} := -0.00$ $k_{mye} := -0.00$

Carregamentos móveis:

$M_{pr.mxm} := 0.536$ $M_{pr.mym} := 0.331$ $M_{pr.mxe} := -0.00$ $M_{pr.mye} := -0.00$

$M_{p.mxm} := 0.000\,m^3$ $M_{p.mym} := 0.000\,m^3$ $M_{p.mxe} := -0.00\,m^3$ $M_{p.mye} := -0.00\,m^3$

$M_{p'.mxm} := 1.056\,m^3$ $M_{p'.mym} := 0.224\,m^3$ $M_{p'.mxe} := -0.00\,m^3$ $M_{p'.mye} := -0.00\,m^3$

Momentos:

Carregamentos permanentes:

Peso próprio da estrutura:

$M_{g1.mxm} := k_{mxm} \cdot g_1 \cdot L_x^2 = 15\,kN \cdot m$

$M_{g1.mym} := k_{mym} \cdot g_1 \cdot L_x^2 = 2.52\,kN \cdot m$

$M_{g1.mxe} := k_{mxe} \cdot g_1 \cdot L_x^2 = 0\,kN \cdot m$

$M_{g1.mye} := k_{mye} \cdot g_1 \cdot L_x^2 = 0\,kN \cdot m$

Peso dos materiais:

$M_{g2.mxm} := k_{mxm} \cdot g_2 \cdot L_x^2 = 7.6\,kN \cdot m$

$M_{g2.mym} := k_{mym} \cdot g_2 \cdot L_x^2 = 1.277\,kN \cdot m$

$M_{g2.mxe} := k_{mxe} \cdot g_2 \cdot L_x^2 = 0\,kN \cdot m$

$M_{g2.mye} := k_{mye} \cdot g_2 \cdot L_x^2 = 0\,kN \cdot m$

Carregamento móvel

$M_{q.mxm} := CIV \cdot CIA \cdot CNF \cdot \left(M_{pr.mxm} \cdot P_r + M_{p.mxm} \cdot p + M_{p'.mxm} \cdot p\right) = 76.748\,kN \cdot m$

$M_{q.mym} := CIV \cdot CIA \cdot CNF \cdot \left(M_{pr.mym} \cdot P_r + M_{p.mym} \cdot p + M_{p'.mym} \cdot p\right) = 43.782\,kN \cdot m$

$M_{q.mxe} := CIV \cdot CIA \cdot CNF \cdot \left(M_{pr.mxe} \cdot P_r + M_{p.mxe} \cdot p + M_{p'.mxe} \cdot p\right) = 0\,kN \cdot m$

$M_{q.mye} := CIV \cdot CIA \cdot CNF \cdot \left(M_{pr.mye} \cdot P_r + M_{p.mye} \cdot p + M_{p'.mye} \cdot p\right) = 0\,kN \cdot m$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Combinações:

Mxm:

$M_{1.mxm} := \gamma_{f.g1} \cdot M_{g1.mxm} + \gamma_{f.g2} \cdot M_{g2.mxm} + 1.5 \cdot M_{q.mxm} = 145.631\,kN \cdot m$

$M_{2.mxm} := 1.0 \cdot M_{g1.mxm} + 1.0 \cdot M_{g2.mxm} + 0 = 22.6\,kN \cdot m$

Coeficiente de fadiga:

$$f_{mxm} := \frac{M_{1.mxm} - M_{2.mxm}}{M_{1.mxm}} \cdot \frac{f_{yk}}{360MPa} = 1.173$$

Mym:

$M_{1.mym} := \gamma_{f.g1} \cdot M_{g1.mym} + \gamma_{f.g2} \cdot M_{g2.mym} + \gamma_{f.q} \cdot M_{q.mym} = 70.799\,kN \cdot m$

$M_{2.mym} := 1.0 \cdot M_{g1.mym} + 1.0 \cdot M_{g2.mym} + 0 = 3.797\,kN \cdot m$

Coeficiente de fadiga:

$$f_{mym} := \frac{M_{1.mym} - M_{2.mym}}{M_{1.mym}} \cdot \frac{f_{yk}}{360MPa} = 1.314$$

Mxe:

$M_{1.mxe} := \gamma_{f.g1} \cdot M_{g1.mxe} + \gamma_{f.g2} \cdot M_{g2.mxe} + \gamma_{f.q} \cdot M_{q.mxe} = 0\,kN \cdot m$

$M_{2.mxe} := 1.0 \cdot M_{g1.mxe} + 1.0 M_{g2.mxe} + 0 = 0\,kN \cdot m$

Coeficiente de fadiga:

$$f_{mxe} := \frac{M_{1.mxe} - M_{2.mxe}}{M_{1.mxe}} \cdot \frac{f_{yk}}{360MPa} = 0$$

Mye:

$M_{1.mye} := \gamma_{f.g1} \cdot M_{g1.mye} + \gamma_{f.g2} \cdot M_{g2.mye} + 1.5 \cdot M_{q.mye} = 0\,kN \cdot m$

$M_{2.mye} := 1.0 \cdot M_{g1.mye} + 1.0 \cdot M_{g2.mye} + 0 = 0\,kN \cdot m$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Coeficiente de fadiga:

$$f_{mye} := \frac{M_{1.mye} - M_{2.mye}}{M_{1.mye}} \cdot \frac{f_{yk}}{360MPa} = 0$$

Dimensionamento das armaduras:

Direção x:

Armadura positiva:

A) Cálculo dos esforços:

Coeficiente de ponderação dos esforços: $\gamma_f := 1.4$

Largura da faixa de muro: $b_w := 1.0m$

Momento máximo no muro:

$M_{dmax} := M_{1.mxm} = 145.6kN \cdot m$

B) Momento resistente de cálculo:

Coeficiente de ponderação da resistência do concreto: $\gamma_c := 1.4$

Coeficiente de ponderação da resistência do concreto: $\gamma_s := 1.15$

Resistência de projeto do concreto à compressão: $f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 28.571MPa$

Resistência de projeto do aço ao escoamento: $f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783MPa$

Diâmetro da armadura longitudinal: $\phi_l := 16mm$

Diâmetro da armadura transversal: $\phi_t := 12.5mm$

Altura útil da seção: $d := h_{laje} - cob - \phi_t - \frac{\phi_l}{2} = 0.23m$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Distribuição de tensões no concreto segundo o digrama de retângulo de profundidade:

$$\lambda := \begin{cases} 0.8 & \text{if } f_{ck} \le 50MPa \\ 0.8 - \dfrac{(f_{ck} - 50MPa)}{400MPa} & \text{if } f_{ck} > 50MPa \end{cases} \qquad = 0.8$$

$$\alpha := \begin{cases} 0.85 & \text{if } f_{ck} \le 50MPa \\ 0.85\left(1 - \dfrac{f_{ck} - 50MPa}{400MPa}\right) & \text{if } f_{ck} > 50MPa \end{cases} \qquad = 0.85$$

Força atuante no concreto (zona comprimida):

$$F_c(x) := b_w \cdot \alpha \cdot f_{cd} \cdot \lambda \cdot x$$

Braço de alavanca:

$$z(x) := d - 0.4x$$

Momento resistente de cálculo:

$$M_{rd}(x) := F_c(x) \cdot z(x)$$

Posição da linha neutra da seção:

$x := 0m$

Given

$M_{rd}(x) = M_{dmax}$

$x_{LN} := Find(x)$

$x_{LN} = 3.477cm$

$$xd := \frac{x_{LN}}{d} = 0.151$$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Domínio de deformação:

$$domínio := \begin{cases} 1 \text{ if } xd = 0 \\ 2 \text{ if } 0 < xd \le 0.259 \\ 3 \text{ if } 0.259 < xd \le 0.45 \wedge f_{ck} \le 50MPa \\ 3 \text{ if } 0.259 < xd \le 0.35 \wedge f_{ck} \le 50MPa \\ \text{"x/d está fora de norma "} \text{ otherwise} \end{cases} = 2$$

Deformação:

$$\varepsilon_{sv} := \begin{cases} 0.01 \text{ if } domínio = 2 \\ \dfrac{0.0035\left(d - x_{LN}\right)}{x_{LN}} \text{ if } domínio = 3 \end{cases} = 0.01$$

$$\varepsilon_{cv} := \begin{cases} \dfrac{0.01 x_{LN}}{d - x_{LN}} \text{ if } domínio = 2 \\ 0.0035 \text{ if } domínio = 3 \end{cases} = 0.00179$$

Braço de alavanca:

$$z_d := z\left(x_{LN}\right) = 0.216m$$

Área de aço da armadura longitudinal:

$$A_{sl} := \frac{M_{dmax}}{z_d \cdot f_{yd} \cdot b_w} = 15.536 \frac{cm^2}{m}$$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Área mínima de aço da armadura longitudinal:

Taxa de armadura mínima:

$$\rho_{min} := \begin{cases} 0.00150 \text{ if } f_{ck} = 20MPa \vee f_{ck} = 25MPa \vee f_{ck} = 30MPa = 0.00179 \\ 0.00164 \text{ if } f_{ck} = 35MPa \\ 0.00179 \text{ if } f_{ck} = 40MPa \\ 0.00194 \text{ if } f_{ck} = 45MPa \\ 0.00208 \text{ if } f_{ck} = 50MPa \end{cases}$$

$$A_{slmin} := e_{laje.aproximação} \cdot \rho_{min} = 5.37 \frac{cm^2}{m}$$

Área adotada de aço da armadura longitudinal:

$$A_{sxm} := \max\left(A_{sl}, A_{slmin}\right) = 15.536 \frac{cm^2}{m}$$

$$A^*_{sxm} := f_{mxm} \cdot A_{sxm} = 18.23 \frac{cm^2}{m}$$

$$A_{sl.adot} := A^*_{sxm} = 18.23 \frac{cm^2}{m}$$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Quantidade de barras e espaçamento da armadura longitudinal:

$A_{\phi l} := \frac{\pi \phi_l^2}{4} = 2.011\,cm^2$

$n_{bl} := Ceil\left(\frac{A^*_{sxm}}{A_{\phi l}}, \frac{1}{m}\right) = 10\frac{1}{m}$ $\phi_l = 0.016m$

$s_l := Floor\left(\frac{100\frac{cm}{m}}{n_{bl}}, 1cm\right) = 10\,cm$

$n_{bladot} := Ceil\left(\frac{100\frac{cm}{m}}{\min(s_l, 20cm, 2\cdot h_{laje})}, \frac{1}{m}\right) = 10\frac{1}{m}$

Área efetiva de aço da armadura longitudinal:

$A_{sel} := n_{bladot} \cdot A_{\phi l} = 20.106\frac{cm^2}{m}$

$A_{sxm} := A_{sel} = 20.106\frac{cm^2}{m}$

Direção y:
Armadura positiva:

A) Cálculo dos esforços:

Coeficiente de ponderação dos esforços: $\gamma_f := 1.4$

Largura da faixa de muro: $b_w := 1.0m$

Momento máximo no muro:

$M_{dmax} := M_{1.mym} = 70.8\,kN\cdot m$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

B) Momento resistente de cálculo:

Coeficiente de ponderação da resistência do concreto: $\gamma_c := 1.4$

Coeficiente de ponderação da resistência do concreto: $\gamma_s := 1.15$

Resistência de projeto do concreto à compressão: $f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 28.571\,MPa$

Resistência de projeto do aço ao escoamento: $f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783\,MPa$

Diâmetro da armadura longitudinal: $\phi_l := 12.5mm$

Diâmetro da armadura transversal: $\phi_t := 16mm$

Altura útil da seção: $d := h_{laje} - cob - \frac{\phi_l}{2} = 0.244m$

Distribuição de tensões no concreto segundo o digrama de retângulo de profundidade:

$$\lambda := \begin{cases} 0.8 & \text{if } f_{ck} \le 50MPa \\ 0.8 - \frac{(f_{ck} - 50MPa)}{400MPa} & \text{if } f_{ck} > 50MPa \end{cases} \quad = 0.8$$

$$\alpha := \begin{cases} 0.85 & \text{if } f_{ck} \le 50MPa \\ 0.85\left(1 - \frac{f_{ck} - 50MPa}{400MPa}\right) & \text{if } f_{ck} > 50MPa \end{cases} \quad = 0.85$$

Força atuante no concreto (zona comprimida):

$$F_c(x) := b_w \cdot \alpha \cdot f_{cd} \cdot \lambda \cdot x$$

Braço de alavanca:

$$z(x) := d - 0.4x$$

Momento resistente de cálculo:

$$M_{rd}(x) := F_c(x) \cdot z(x)$$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Posição da linha neutra da seção:

$x := 0m$

Given

$M_{rd}(x) = M_{dmax}$

$x_{LN} := Find(x)$

$x_{LN} = 1.534 \cdot cm$

$xd := \frac{x_{LN}}{d} = 0.063$

Domínio de deformação:

$$domínio := \begin{cases} 1 \text{ if } xd = 0 \\ 2 \text{ if } 0 < xd \le 0.259 \\ 3 \text{ if } 0.259 < xd \le 0.45 \wedge f_{ck} \le 50MPa \\ 3 \text{ if } 0.259 < xd \le 0.35 \wedge f_{ck} \le 50MPa \\ \text{"x/d está fora de norma "} \text{ otherwise} \end{cases} = 2$$

Deformação:

$$\varepsilon_s := \begin{cases} 0.01 \text{ if } domínio = 2 \\ \frac{0.0035\left(d - x_{LN}\right)}{x_{LN}} \text{ if } domínio = 3 \end{cases} = 0.01$$

$$\varepsilon_c := \begin{cases} \frac{0.01 x_{LN}}{d - x_{LN}} \text{ if } domínio = 2 \\ 0.0035 \text{ if } domínio = 3 \end{cases} = 0.00067$$

Braço de alavanca:

$z_d := z\left(x_{LN}\right) = 0.238m$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Área de aço da armadura longitudinal:

$$A_{sl} := \frac{M_{dmax}}{z_d \cdot f_{yd} \cdot b_w} = 6.853 \frac{cm^2}{m}$$

Área mínima de aço da armadura longitudinal:

Taxa de armadura mínima:

$$\rho_{min} := \begin{cases} 0.00150 \text{ if } f_{ck} = 20MPa \vee f_{ck} = 25MPa \vee f_{ck} = 30MPa \\ 0.00164 \text{ if } f_{ck} = 35MPa \\ 0.00179 \text{ if } f_{ck} = 40MPa \\ 0.00194 \text{ if } f_{ck} = 45MPa \\ 0.00208 \text{ if } f_{ck} = 50MPa \end{cases} = 0.00179$$

$$A_{slmin} := e_{laje.aproximação} \cdot \rho_{min} = 5.37 \frac{cm^2}{m}$$

Área adotada de aço da armadura longitudinal:

$$A_{sym} := \max\left(A_{sl}, A_{slmin}\right) = 6.853 \frac{cm^2}{m}$$

$$A^*_{sym} := f_{mym} \cdot A_{sym} = 9.008 \frac{cm^2}{m}$$

$$A_{sladot} := A^*_{sym} = 9.008 \frac{cm^2}{m}$$

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Quantidade de barras e espaçamento da armadura longitudinal:

$$A_{\phi l} := \frac{\pi \phi_l^2}{4} = 1.227\,cm^2$$

$$n_{bl} := Ceil\left(\frac{A^*_{sym}}{A_{\phi l}}, \frac{1}{m}\right) = 8\frac{1}{m}$$

$$s_l := Floor\left(\frac{100\frac{cm}{m}}{n_{bl}}, 1cm\right) = 12\cdot cm$$

$$n_{bladot} := Ceil\left(\frac{100\frac{cm}{m}}{\min\left(s_l, 20cm, 2\cdot h_{laje}\right)}, \frac{1}{m}\right) = 9\frac{1}{m}$$

Área efetiva de aço da armadura longitudinal:

$$A_{sel} := n_{bladot}\cdot A_{\phi l} = 11.045\frac{cm^2}{m}$$

$$A_{sym} := A_{sel} = 11.045\frac{cm^2}{m}$$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

13. DIMENSIONAMENTO DAS CORTINAS:

13.1 Dados dos Materiais:

Peso específico do material: $\gamma_{concreto} := 25\frac{kN}{m^3}$

Classe de agressividade ambiental: $CAA := 3$

Controle tecnológico rigoroso na obra: $ctr := "não"$

Contato direto com agente agressivo: $agressivo := "não"$

Cobrimento da estrutura de concreto:

$$cob := \begin{cases} 4.5cm & \text{if } agressivo = "sim" \\ 3.0cm & \text{if } CAA = 1 \wedge ctr = "não" \\ 3.0cm & \text{if } CAA = 2 \wedge ctr = "não" \\ 4.0cm & \text{if } CAA = 3 \wedge ctr = "não" \\ 5.0cm & \text{if } CAA = 4 \wedge ctr = "não" \\ 2.5cm & \text{if } CAA = 1 \wedge ctr = "sim" \\ 2.5cm & \text{if } CAA = 2 \wedge ctr = "sim" \\ 3.5cm & \text{if } CAA = 3 \wedge ctr = "sim" \\ 4.5cm & \text{if } CAA = 4 \wedge ctr = "sim" \\ 4.5cm & \text{otherwise} \end{cases} = 4 \cdot cm$$

Resistência à compressão do concreto aos 28 dias: $f_{ck} := 40MPa$

Resistência á Compressão Mínima:

$$f_{ckmin} := \begin{cases} 20MPa & \text{if } CAA = 1 \\ 25MPa & \text{if } CAA = 2 \\ 30MPa & \text{if } CAA = 3 \\ 40MPa & \text{if } CAA = 4 \end{cases} = 30 \cdot MPa$$

$$verificação_{fck} := \begin{cases} "ok" & \text{if } f_{ck} \geq f_{ckmin} \\ "aumentar\ fck" & \text{otherwise} \end{cases} = "ok"$$

Resistência ao escoamento do aço: $f_{yk} := 500MPa$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

13.2 Empuxo de Terra no Encontro

Características do solo, terreno e contenção:

Tipo de solo: $solo := "argiloso"$

Número de golpes SPT: $N_{spt} := 3$

Peso específico saturado do solo: $\gamma_{solo} := 18\frac{kN}{m^3}$

Tensão Admissível do solo: $\sigma_{adm} := \min\left(\frac{\sqrt{N_{spt}} - 1}{10}, \frac{N_{spt}}{30}\right) MPa = 0.073MPa$

Ângulo de atrito interno do solo: $\varphi := 28° + (0.4 \cdot N_{spt})° = 29.2°$

Superfície do muro (lisa, parcial, rugosa): $surface := "lisa"$

Ângulo de atrito entre a terro e o muro: $\varphi_1 := \begin{cases} 0 & \text{if } surface = "lisa" \\ 0.5\varphi & \text{if } surface = "parcial" \\ \varphi & \text{if } surface = "rugosa" \end{cases} = 0$

Ângulo de inclinação do terreno adjacente: $\alpha := 0°$

Ângulo de inclinação do paramento interno do muro com a vertical: $\theta := 0$ $\beta := 90° - \theta = 90°$

Altura do muro: $h := 1.20m$

Comprimento do Muro: $L_{muro} := 11.45m$

Espessura do Muro: $e_{muro} := 0.30m$

Sobrecarga sobre o terreno: $q := 20\frac{kN}{m^2}$

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Empuxo de terra:

Coeficientes de empuxo:

Coeficiente de empuxo ativo:

$$K_a := \frac{(\sin(\beta + \varphi))^2}{(\sin(\beta))^2 \cdot \sin(\beta - \varphi_1) \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi - \alpha)\sin(\varphi + \varphi_1)}{\sin(\beta - \varphi_1)\sin(\beta + \alpha)}}\right)^2} = 0.344$$

Coeficiente de empuxo passivo:

$$K_p := \frac{1}{K_a} = 2.905$$

Determinação analítica de empuxo:

Altura de solo equivalente à sobrecarga:

$$h_0 := \frac{q}{\gamma_{solo}} = 1.111\,m$$

Altura total:

$$H := h + h_0 = 2.311\,m$$

Pressão do solo sobre o encontro:

$$p_a := K_a \cdot \gamma_{solo} \cdot H = 14.319\,kPa$$

Grandeza do empuxo:

$$E_a := \frac{1}{2} \cdot K_a \cdot \gamma_{solo} \cdot \left(H^2 - h_0^2\right) = 12.722\,\frac{kN}{m}$$

Direção do empuxo:

$$\delta := \theta + \varphi_1 = 0 \cdot ^c$$

Componentes do empuxo:

Horizontal:

$$E_{aH} := E_a \cdot \cos(\delta) = 12.7\,\frac{kN}{m}$$

Vertical:

$$E_{aV} := E_a \cdot \sin(\delta) = 0\,\frac{kN}{m}$$

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Ponto de aplicação do empuxo:

$$y := \frac{h}{3}\cdot\frac{\left(2\cdot h_0 + H\right)}{h_0 + H} = 0.53\,m$$

Momento Atuante na cortina:

$$M_{cortina} := \frac{E_{aH}\cdot y^2}{2} = 1.8\,kN\cdot m$$

Dimensionamento das armaduras:

A) Cálculo dos esforços:

Coeficiente de ponderação dos esforços: $\gamma_f := 1.4$

Largura da faixa de muro: $b_w := 1.0\,m$

Momento máximo no muro:

$M_{max} := M_{cortina} = 1.8\,kN\cdot m$

$M_{dmax} := \gamma_f \cdot M_{max} = 2.5\,kN\cdot m$

B) Momento resistente de cálculo:

Coeficiente de ponderação da resistência do concreto: $\gamma_c := 1.4$

Coeficiente de ponderação da resistência do concreto: $\gamma_s := 1.15$

Resistência de projeto do concreto à compressão: $f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 28.571\,MPa$

Resistência de projeto do aço ao escoamento: $f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783\,MPa$

Diâmetro da armadura longitudinal: $\phi_l := 10\,mm$

Diâmetro da armadura transversal: $\phi_t := 10\,mm$

Altura útil da seção: $d := e_{muro} - cob - \phi_t - \frac{\phi_l}{2} = 0.245\,m$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Distribuição de tensões no concreto segundo o digrama de retângulo de profundidade:

$$\lambda := \begin{cases} 0.8 \text{ if } f_{ck} \le 50MPa \\ 0.8 - \dfrac{(f_{ck} - 50MPa)}{400MPa} \text{ if } f_{ck} > 50MPa \end{cases} \quad = 0.8$$

$$\alpha := \begin{cases} 0.85 \text{ if } f_{ck} \le 50MPa \\ 0.85\left(1 - \dfrac{f_{ck} - 50MPa}{400MPa}\right) \text{ if } f_{ck} > 50MPa \end{cases} \quad = 0.85$$

Força atuante no concreto (zona comprida):

$F_c(x) := b_w \cdot \alpha \cdot f_{cd} \cdot \lambda \cdot x$

Braço de alavanca:

$z(x) := d - 0.4x$

Momento resistente de cálculo:

$M_{rd}(x) := F_c(x) \cdot z(x)$

Posição da linha neutra da seção:

$x := 0m$

Given

$M_{rd}(x) = M_{dmax}$

$x_{LN} := \text{Find}(x)$

$x_{LN} = 0.053cm$

$xd := \dfrac{x_{LN}}{d} = 2.146 \times 10^{-3}$

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Domínio de deformação:

$$domínio := \begin{cases} 1 \text{ if } xd = 0 \\ 2 \text{ if } 0 < xd \le 0.259 \\ 3 \text{ if } 0.259 < xd \le 0.45 \wedge f_{ck} \le 50MPa \\ 3 \text{ if } 0.259 < xd \le 0.35 \wedge f_{ck} \le 50MPa \\ \text{"x/d está fora de norma "} \text{ otherwise} \end{cases} = 2$$

Deformação:

$$\varepsilon_{sd} := \begin{cases} 0.01 \text{ if } domínio = 2 \\ \dfrac{0.0035\left(d - x_{LN}\right)}{x_{LN}} \text{ if } domínio = 3 \end{cases} = 0.01$$

$$\varepsilon_{cd} := \begin{cases} \dfrac{0.01 x_{LN}}{d - x_{LN}} \text{ if } domínio = 2 \\ 0.0035 \text{ if } domínio = 3 \end{cases} = 2.15045 \times 10^{-5}$$

Braço de alavanca:

$$z_d := z\left(x_{LN}\right) = 0.245m$$

Área de aço da armadura longitudinal:

$$A_{sl} := \frac{M_{dmax}}{z_d \cdot f_{yd} \cdot b_w} = 0.235 \frac{cm^2}{m}$$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Área mínima de aço da armadura longitudinal:

Taxa de armadura mínima:

$$\rho_{min} := \begin{cases} 0.00150 \text{ if } f_{ck} = 20MPa \vee f_{ck} = 25MPa \vee f_{ck} = 30MPa = 0.00179 \\ 0.00164 \text{ if } f_{ck} = 35MPa \\ 0.00179 \text{ if } f_{ck} = 40MPa \\ 0.00194 \text{ if } f_{ck} = 45MPa \\ 0.00208 \text{ if } f_{ck} = 50MPa \end{cases}$$

$$A_{slmin} := e_{muro} \cdot \rho_{min} = 5.37 \frac{cm^2}{m}$$

Quantidade de barras e espaçamento da armadura longitudinal:

$$A_{\phi l} := \frac{\pi \phi_l^2}{4} = 0.785 cm^2$$

$$n_{bl1} := Ceil\left(\frac{A_{sladot1}}{A_{\phi l}}, \frac{1}{m}\right) = 7 \frac{1}{m}$$

$$s_{l1} := \frac{100 \frac{cm}{m}}{n_{bl1}} = 0.143m$$

$$n_{bladot1} := Ceil\left(\frac{100 \frac{cm}{m}}{\min(s_{l1}, 20cm, 2 \cdot h)}, \frac{1}{m}\right) = 7 \frac{1}{m}$$

$$s_{ladot1} := \frac{100 \frac{cm}{m}}{n_{bladot1}} = 14.286cm$$

Área efetiva de aço da armadura longitudinal:

$$A_{sel1} := n_{bladot1} \cdot A_{\phi l} = 5.498 \frac{cm^2}{m}$$

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

14. ARMADURA DE FRETAGEM

Esforço:

$P := 3314kN$ $a := 40cm$ $d := 150cm$ $\frac{a}{d} = 0.267$

$Z := 0.25 \cdot P \cdot \left(1 - \frac{a}{d}\right) = 607.567 \cdot kN$

Armaduras:

$f_{yk} = 500 \cdot MPa$

$f_{yd} = 434.783MPa$

$A_s := \frac{1.4 \cdot Z}{f_{yd}} = 19.564 \cdot cm^2$

10 voltas de ϕ 10 = 8.0 cm2/camada

3 camadas de 10 voltas = 24.0cm2

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

15. DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

Esforços:	Perfis:	Parafusos:	Coeficientes
$T_{diagonal.i} := 53kN$	**L45x5**	M22 – ISSO Class 10.9	$\gamma_{a1} := 1.1$
$T_{diagonal.s} := 49kN$	**L60x4**	$f_{yb} := 900MPa$	$\gamma_{a2} := 1.35$
$V_{travessa.i} := 500kN$	**CVS 600x190**	$f_{ub} := 1000MPa$	$\gamma_{e} := 1.20$
$V_{travessa.s} := 32kN$	**CVS 300x27**	$d_b := 24mm$	$\gamma_{w1} := 1.25$
		$d_0 := 26\,mm$	$\gamma_{w2} := 1.35$
		$A_b := \frac{\pi \cdot d_b^2}{4} = 452.389mm^2$	$\phi_c := 1.5$
		$A_{be} := 0.75A_b = 339.292mm^2$	$\phi_v := 0.4$

Distância das bordas: $e_1 := 1.1d_0 = 28.6mm$ $e_1 := 30mm$

Distância entre furos: $p_1 := 2.2d_0 = 0.057m$ $p_1 := 60mm$

15.1 Tração L45x5

$b_{f1} := 45mm$ $t_1 := 5mm$ Aço ASTM A588 $f_y = 345 \cdot MPa$ $f_u = 480 \cdot MPa$

Resistência ao Cisalhamento de 01 parafuso: $F_{v.Rd} := 2\frac{\phi_v \cdot A_{be} \cdot f_{ub}}{\gamma_{a2}} = 201.062kN$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Pressão de Contato no furo de 01 parafuso: $F_{c.Rd} := 2\frac{\phi_c \cdot t_1 \cdot e_1 \cdot f_u}{\gamma_{a2}} = 160 \cdot kN$

Quantidade de Parafusos: $n_{parafusos} := Ceil\left[\left(\frac{T_{diagonal.i}}{\min\left(F_{v.Rd}, F_{c.Rd}\right)}\right), 2\right] = 2$

Resistência à tração do elemento: $e_c := 1.75cm \qquad l_c := n_{parafusos} \cdot p_1 = 120 \cdot mm$

$C_t := \min\left(0.9, 1 - \frac{e_c}{l_c}\right) = 0.854$

$A_g := 580mm^2$

$A_{net} := A_g - d_0 \cdot t_1 = 450 \cdot mm^2$

$N_{tRd} := \min\left(\frac{2C_t \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{a2}}, \frac{2A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}\right) = 273.333 \cdot kN$

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

15.2 Tração L60x4

$b_{cl} := 60mm$ $t_1 := 4mm$ Aço ASTM A588 $f_y = 345 \cdot MPa$ $f_u = 480 \cdot MPa$

Resistência ao Cisalhamento de 01 parafuso: $F_{v.Rd} := 2\frac{\phi_v \cdot A_{be} \cdot f_{ub}}{\gamma_{a2}} = 201.062kN$

Pressão de Contato no furo de 01 parafuso: $F_{c.Rd} := 2\frac{\phi_c \cdot t_1 \cdot e_1 \cdot f_u}{\gamma_{a2}} = 128 \cdot kN$

Quantidade de Parafusos: $n_{parafusos} := Ceil\left[\left(\frac{T_{diagonal.i}}{\min\left(F_{v.Rd}, F_{c.Rd}\right)}\right), 2\right] = 2$

Resistência à tração do elemento: $e_c := 1.75cm$ $l_c := n_{parafusos} \cdot p_1 = 120 \cdot mm$

$C_t := \min\left(0.9, 1 - \frac{e_c}{l_c}\right) = 0.854$

$A_g := 580mm^2$

$A_{net} := A_g - d_0 \cdot t_1 = 476 \cdot mm^2$

$N_{t.Rd} := \min\left(\frac{2C_t \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{a2}}, \frac{2A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}\right) = 289.126 \cdot kN$

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

15.3 Cisalhamento CVS 600x190

$h_w := 500mm$ $t_w := 16mm$ Aço ASTM A588 $f_y = 345 \cdot MPa$ $f_u = 480 \cdot MPa$

Resistência ao Cisalhamento de 01 parafuso: $F_{v.Rd} := \frac{\phi_v \cdot A_{be} \cdot f_{ub}}{\gamma_{a2}} = 100.531kN$

Pressão de Contato no furo de 01 parafuso: $F_{c.Rd} := \frac{\phi_c \cdot t_w \cdot e_1 \cdot f_u}{\gamma_{a2}} = 256 \cdot kN$

Quantidade de Parafusos: $n_{parafusos} := Ceil\left[\left(\frac{V_{travessa.i}}{\min(F_{v.Rd}, F_{c.Rd})}\right), 1\right] = 5$

Resistência à tração do elemento:

$e_c := 15cm$ $l_c := n_{parafusos} \cdot p_1 = 300 \cdot mm$

$C_t := \min\left(0.9, 1 - \frac{e_c}{l_c}\right) = 0.5$

$A_g := b_{f1} \cdot t_1 = 240 \cdot mm^2$

$A_{net} := A_g - d_0 \cdot t_1 = 136 \cdot mm^2$

$N_{tRd} := \min\left(\frac{C_t \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{a2}}, \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}\right) = 24.178 \cdot kN$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

15.4 Cisalhamento CVS300x27

$h_w := 200mm$ $t_w := 8mm$ Aço ASTM A588 $f_y = 345 \cdot MPa$ $f_u = 480 \cdot MPa$

Resistência ao Cisalhamento de 01 parafuso:

$$F_{v.Rd} := \frac{\phi_v \cdot A_{be} \cdot f_{ub}}{\gamma_{a2}} = 100.531kN$$

Pressão de Contato no furo de 01 parafuso:

$$F_{c.Rd} := \frac{\phi_c \cdot t_w \cdot e_1 \cdot f_u}{\gamma_{a2}} = 128 \cdot kN$$

Quantidade de Parafusos:

$$n_{parafusos} := Ceil\left[\left(\frac{V_{travessa.s}}{\min\left(F_{v.Rd}, F_{c.Rd}\right)}\right), 1\right] = 1$$

Resistência à tração do elemento:

$e_c := 15cm$ $l_c := n_{parafusos} \cdot p_1 = 60 \cdot mm$

$$C_t := \min\left(0.9, 1 - \frac{e_c}{l_c}\right) = -1.5$$

$$A_g := b_{f1} \cdot t_1 = 240 \cdot mm^2$$

$$A_{net} := A_g - d_0 \cdot t_1 = 136 \cdot mm^2$$

$$N_{t.Rd} := \min\left(\frac{C_t \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{a2}}, \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}}\right) = -72.533 \cdot kN$$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

16. Enrijecedor de Apoio

Reação máxima de cálculo no apoio de cada viga:

$R_{sd_1} := 3410kN = 3410 \cdot kN$

$b_{s_1} := 400mm$ $t_{s_1} := 25mm$

$t_{w_1} := 19mm$ $d_1 := 600mm$

$E_a := 200GPa$

Escolha da chapa do enrijecedor (de cada lado da alma), seja:

Largura do enrijecedor Bsa = 165mm < $\frac{b_{s_1}}{2} - \frac{t_{s_1}}{2} - 1cm = 177.5 \cdot mm$

Espessura do enrijecedor tsa = 40mm > $\frac{b_{sa}}{0.48 \cdot \sqrt{\frac{E_a}{f_y}}} = 14.277 \cdot mm$

$A_{sa} := b_{sa} \cdot t_{sa} + 12 t_{w_1} \cdot t_{w_1}$

$A_{sa} = 109.32 \cdot cm^2$

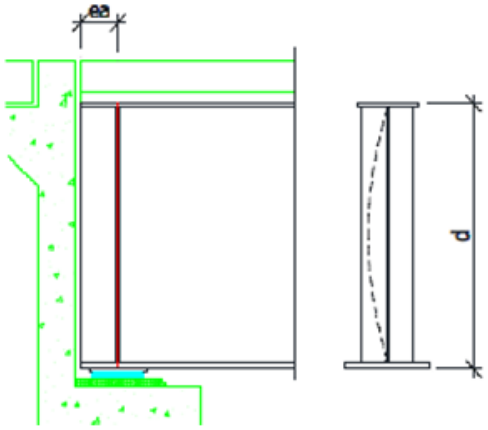
Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

$$I_{sa} := \frac{\left[12 t_{w_1} \cdot \left(t_{w_1}\right)^3 + t_{sa} \cdot \left(2 b_{sa}\right)^3\right]}{12}$$

$$I_{sa} = 1.199 \times 10^4 \cdot cm^4$$

$$r_{sa} := \sqrt{\frac{I_{sa}}{A_{sa}}}$$

$$r_{sa} = 10.474\,cm$$



Verificação do esmagamento:

$$Re_{rd} := \frac{1.8 t_{sa} \cdot 2\left(b_{sa} - 3 t_{w_1}\right) \cdot f_y}{1.35}$$

$Re_{rd} = 3974.4\,kN$ > $R_{sd_1} = 3410\,kN$

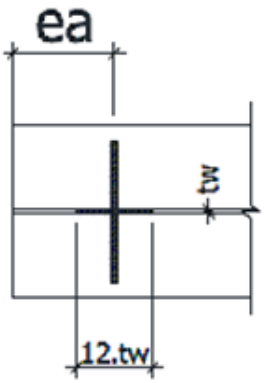
Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Verificação das resistências à compressão:

$$\lambda_0 := \frac{0.75 d_1}{r_{sa} \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E_a}} \qquad \lambda_0 = 0.057$$

$$\chi := \begin{cases} 0.658^{\lambda_0^2} & \text{if } \lambda_0 \le 1.5 \\ \frac{0.877}{\lambda_0^2} & \text{if } \lambda_0 > 1.5 \end{cases} \qquad \chi = 0.99865$$

$$Rc_{rd} := \frac{\chi \cdot A_{sa} \cdot f_y}{1.1} \qquad Rc_{rd} = 3424\,kN$$



$$\frac{R_{sd_1}}{Rc_{rd}} = 1 \qquad < 1 \qquad \text{---> Ok}$$

--> Usar 2 chapas de 165x550x40cm

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

17. Enrijecedor da Diagonal

Reação máxima de cálculo no apoio de cada viga:

$R_{sd_1} := 2363kN = 2363 \cdot kN$

$b_{s_1} := 400mm$ $t_{s_1} := 19mm$

$t_{w_1} := 16mm$ $d_1 := 600mm$

$E_a := 200GPa$

Escolha da chapa do enrijecedor (de cada lado da alma), seja:

Largura do enrijecedor ..... $b_{sa} := 165mm < \frac{b_{s_1}}{2} - \frac{t_{s_1}}{2} - 1cm = 180.5mm$

Espessura do enrijecedor ..... $t_{sa} := 40mm > \frac{b_{sa}}{0.48 \cdot \sqrt{\frac{E_a}{f_y}}} = 14.277mm$

$A_{sa} := b_{sa} \cdot t_{sa} + 12 t_{w_1} \cdot t_{w_1}$

$A_{sa} = 96.72 \cdot cm^2$

$I_{sa} := \frac{\left[12 t_{w_1} \cdot \left(t_{w_1}\right)^3 + t_{sa} \cdot (2b_{s}\right.}{12}$

$I_{sa} = 1.199 \times 10^4 \cdot cm^4$

$r_{sa} := \sqrt{\frac{I_{sa}}{A_{sa}}}$

$r_{sa} = 11.132 \cdot cm$

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Verificação do esmagamento:

$$Re_{rd} := \frac{1.8 t_{sa} \cdot 2\left(b_{sa} - 3t_{w_1}\right) \cdot f_y}{1.35}$$

$Re_{rd} = 4305.6\,kN$ > $R_{sd_1} = 2363\,kN$

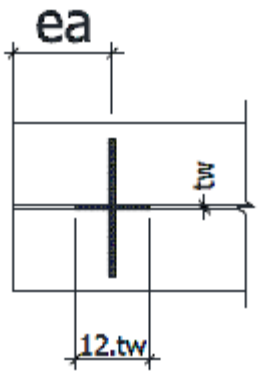
Verificação das resistências à compressão:

$$\lambda_0 := \frac{0.75 d_1}{r_{sa} \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E_a}}$$

$\lambda_0 = 0.053$

$$\chi := \begin{cases} 0.658^{\lambda_0^2} & \text{if } \lambda_0 \le 1.5 \\ \frac{0.877}{\lambda_0^2} & \text{if } \lambda_0 > 1.5 \end{cases}$$

$\chi = 0.99881$



$$Rc_{rd} := \frac{\chi \cdot A_{sa} \cdot f_y}{1.1}$$

$Rc_{rd} = 3029.9\,kN$

$\frac{R_{sd_1}}{Rc_{rd}} = 0.78$ < 1 ---> Ok

--> Usar 2 chapas de 165x562x20cm

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

18. Conectores de Cisalhamento

18.1 Trecho 01

Dimensões dos perfis

Perfil:

$d_1 := 600mm$

$t_{w_1} := 16mm$

$b_{s_1} := 400mm$

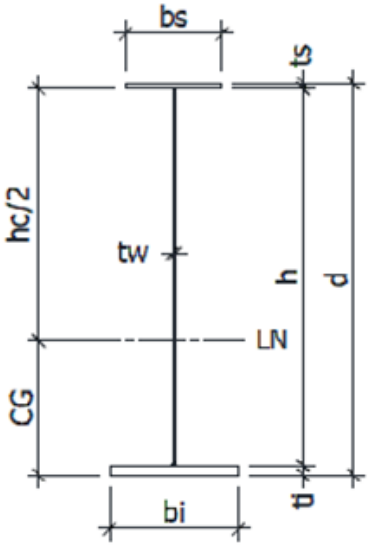
$b_{i_1} := 400mm$

$t_{s_1} := 22.4mm$

$t_{i_1} := 22.4mm$

$hh(i) := d_i - t_{i_i} - t_{s_i}$

$h_1 := hh(1) = 555.2mm$



Proporções limites recomendadas:

NBR 16694, item 12.1 - Verificação das proporções limites recomendadas para os perfis

Alma das Vigas

$\frac{h_1}{t_{w_1}} = 34.7$

< 150 sem enrijecedor longitudinal

< 300 com enrijecedor longitudinal

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Mesas comprimidas e tracionadas

$b_{s_1} = 400\,mm > \frac{h_1}{6} = 79.167\,mm$

$b_{i_1} = 400\,mm > \frac{h_1}{6} = 79.167\,mm$

$\frac{b_{s_1}}{2t_{s_1}} = 5.333 < 12$

$\frac{b_{i_1}}{2t_{i_1}} = 5.333 < 12$

$t_{s_1} = 37.5\,mm > 1.1t_{w_1} = 27.5\,mm$

$t_{i_1} = 37.5\,mm > 1.1t_{w_1} = 27.5\,mm$

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Propriedades do perfil de aço – Formulário

$$a(i) := b_{s_i} \cdot t_{s_i} + b_{i_i} \cdot t_{i_i} + h_i \cdot t_{w_i}$$

$$CG(i) := \frac{b_{s_i} \cdot t_{s_i} \cdot \left(d_i - \frac{t_{s_i}}{2}\right) + h_i \cdot t_{w_i} \cdot \left(\frac{h_i}{2} + t_{i_i}\right) + b_{i_i} \cdot t_{i_i} \cdot \left(\frac{t_{i_i}}{2}\right)}{a(i)}$$

$$peso(i) := a(i) \cdot \gamma_s \qquad hc(i) := \left(d_i - t_{s_i} - CG(i)\right) \cdot 2$$

$$Ix(i) := \frac{b_{s_i} \cdot \left(t_{s_i}\right)^3 + b_{i_i} \cdot \left(t_{i_i}\right)^3 + t_{w_i} \cdot \left(h_i\right)^3}{12} + \left(d_i - CG(i) - \frac{t_{s_i}}{2}\right)^2 \cdot t_{s_i} \cdot b_{s_i} + \left(CG(i) - \frac{t_{i_i}}{2}\right)^2 t_{i_i} \cdot b_{i_i} \ldots + \left(\frac{h_i}{2} + t_{i_i} - CG(i)\right)^2 \cdot h_i \cdot t_{w_i}$$

$$WS(i) := \frac{Ix(i)}{d_i - CG(i)} \qquad WI(i) := \frac{Ix(i)}{CG(i)} \qquad Rx(i) := \sqrt{\frac{Ix(i)}{a(i)}}$$

$$Iy(i) := \frac{t_{s_i} \cdot \left(b_{s_i}\right)^3 + t_{i_i} \left(b_{i_i}\right)^3 + h_i \cdot \left(t_{w_i}\right)^3}{12} \qquad Iyc(i) := \frac{t_{s_i} \cdot \left(b_{s_i}\right)^3}{12}$$

$$Wy(i) := \frac{Iy(i)}{\frac{b_{i_i}}{2}} \qquad Ry(i) := \sqrt{\frac{Iy(i)}{a(i)}} \qquad Wbi(i) := \frac{t_{i_i} \cdot \left(b_{i_i}\right)^2}{6} \qquad Iyt(i) := \frac{t_{i_i} \cdot \left(b_{i_i}\right)^3}{12}$$

$$R_{yc}(i) := \sqrt{\frac{Iyc(i)}{a(i)}} \qquad R_{yt}(i) := \sqrt{\frac{Iyc(i)}{a(i)}}$$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Propriedades dos perfis de aço

PERFIL 01

Área	$A_1 := a(1) = 418.75 \cdot cm^2$
Altura da alma	$h_1 = 475 \cdot mm$
Centro de gravidade	$cg_1 := CG(1) = 27.5 \cdot cm$
Altura comprimida da alma x 2	$h_{c_1} := hc(1) = 47.5 \cdot cm$
Momento de inércia X	$I_{x_1} := Ix(1) = 2.197 \times 10^5 \cdot cm^4$
Módulo elástico superior X	$W_{Sx_1} := WS(1) = 7.988 \times 10^3 \cdot cm^3$
Módulo elástico inferior X	$W_{Ix_1} := WI(1) = 7.988 \times 10^3 \cdot cm^3$
Raio de giração X	$r_{x_1} := Rx(1) = 22.904 \cdot cm$
Momento de inércia Y	$I_{y_1} := Iy(1) = 4.006 \times 10^4 \cdot cm^4$
Inércia Y da mesa comprimida	$I_{yc_1} := Iyc(1) = 2 \times 10^4 \cdot cm^4$
Inércia Y da mesa tracionada	$I_{yt_1} := Iyt(1) = 2 \times 10^4 \cdot cm^4$

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Módulo elástico Y	$W_{y_1} := Wy(1) = 2.003 \times 10^3 \cdot cm^3$
Raio de giração Y	$r_{y_1} := Ry(1) = 9.781 \cdot cm$
Raio de giração comprimido Yc	$r_{yc_1} := R_{yc}(1) = 0.069\,m$
Raio de giração tracionado Yc	$r_{tc_1} := R_{yt}(1) = 0.069\,m$
0,1 < Iyc/Iyt < 9	$\frac{I_{yc_1}}{I_{yt_1}} = 1$

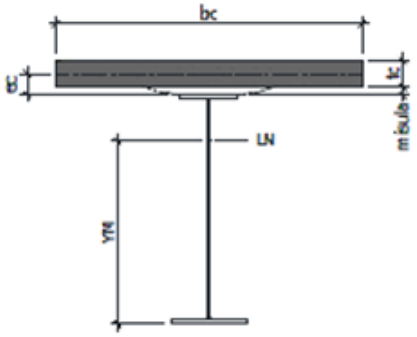
Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Propriedades da seção mista de aço e concreto - formulário

Largura efetiva da mesa de concreto

$bc(i) := 2.50m$

Vão 01 ..... $b_{c_1} := bc(1) = 2.5m$



$t_c = 30\cdot cm$ $misula := 0cm$ $e_c := \frac{(t_c)}{2} + misula$ $e_c = 15\cdot cm$

Relação Ea/Ec para:

$E_a = 200\cdot GPa$ $E_c = 30.105\cdot GPa$ $n := \frac{E_a}{E_c}$

$N_1 := n$ $N_2 := 3n$

$$YM(i,k) := \frac{\frac{b_{c_k}}{N_1}\cdot t_c\cdot\left(e_c + d_i\right) + a(i)\cdot CG(i)}{\frac{b_{c_k}}{N_1}\cdot t_c + a(i)}$$

$$YMF(i,k) := \frac{\frac{b_{c_k}}{N_2}\cdot t_c\cdot\left(e_c + d_i\right) + a(i)\cdot CG(i)}{\frac{b_{c_k}}{N_2}\cdot t_c + a(i)}$$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

$$IM(i,k) := Ix(i) + a(i)\cdot(YM(i,k) - CG(i))^2 + \frac{\frac{b_{c_k}}{N_1}\cdot t_c^{\,3}}{12} + \frac{b_{c_k}}{N_1}\cdot t_c\cdot\left(e_c + d_i - YM(i,k)\right)^2$$

$$IMF(i,k) := Ix(i) + a(i)\cdot(YMF(i,k) - CG(i))^2 + \frac{\frac{b_{c_k}}{N_2}\cdot t_c^{\,3}}{12} + \frac{b_{c_k}}{N_2}\cdot t_c\cdot\left(e_c + d_i - YMF(i,k)\right)^2$$

$$WSM(i,k) := \frac{IM(i,k)}{d_i - YM(i,k)} \qquad WSMF(i,k) := \frac{IMF(i,k)}{d_i - YMF(i,k)}$$

$$WIM(i,k) := \frac{IM(i,k)}{YM(i,k)} \qquad WIMF(i,k) := \frac{IMF(i,k)}{YMF(i,k)}$$

$$WC(i,k) := \frac{IM(i,k)\cdot N_1}{\left(d_i + e_c + \frac{t_c}{2}\right) - YM(i,k)} \qquad WCF(i,k) := \frac{IMF(i,k)\cdot N_2}{\left(d_i + e_c + \frac{t_c}{2}\right) - YMF(i,k)}$$

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Propriedades das seções mistas de aço e concreto:

Perfil 01 - Vão 01

Relação n = Ea/Ec inicial

$N_1 = 6.643$

$Ym_1 := YM(1,1) = 0.585m$

$I_{m_1} := IM(1,1) = 8.561\times 10^5\cdot cm^4$

$W_{sm_1} := WSM(1,1) = -2.445\times 10^5\cdot cm^3$

$W_{im_1} := WIM(1,1) = 1.463\times 10^4\cdot cm^3$

$W_{c_1} := WC(1,1) = 2.146\times 10^5\cdot cm^3$

Relação n = Ea/Ec para longa duração

$N_2 = 19.93$

$Ymf_1 := YMF(1,1) = 0.476m$

$I_{mf_1} := IMF(1,1) = 6.059\times 10^5\cdot cm^4$

$W_{smf_1} := WSMF(1,1) = 8.205\times 10^4\cdot cm^3$

$W_{imf_1} := WIMF(1,1) = 1.272\times 10^4\cdot cm^3$

$W_{cf_1} := WCF(1,1) = 3.23\times 10^5\cdot cm^3$

$QCM_{01} := 180kN$ $I_{m_1} = 856061.363cm^4$ $m_0 := \frac{(b_{c_1}\cdot t_c)}{N_1}\cdot(d_1 + e_c - Ym_1)$ $m_0 = 1.298\times 10^4\cdot cm^3$

Cisalhamento horizontal /cm:

$$S_{r0} := \frac{\begin{cases} 1.5\cdot QCM_{01} & \text{if } Nc \geq 6\times 10^6 \\ (0.5\,QCM_{01}) & \text{otherwise} \end{cases}\cdot m_0}{I_{m_1}}$$

$S_{r0} = 1.365\cdot\frac{kN}{cm}$

Número de studs / grupo afastado de: $esp_{0_1} := 15cm$ <= 60cm -- OK

$n0s_1 := \frac{esp_{0_1}\cdot S_{r0}}{Z_r}$ $n0s_1 = 1.37$ $n0s_1 := ceil\left(\frac{esp_{0_1}\cdot S_{r0}}{Z_r}\right)$ $n0s_1 = 2$ --> ***Usar grupos de 2 studs diam. 19mmx120mm afastados de 20cm***

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Espaçamento mínimo transversal ..... $s_{t.min} := 4 \cdot d_s$ $s_{t.min} = 76 \cdot mm$ $b_{transv} := 76mm$

Espaçamento mínimo longitudinal ..... $s_{l.min} := 6 \cdot d_s$ $s_{l.min} = 114 \cdot mm$

Largura da mesa superior ..... $b_{s_1} = 400 \cdot mm$

Cobrimento lateral mínimo ..... $b_{cob} := 25mm + \frac{d_s}{2} = 34.5 \cdot mm$

Apoio mínimo na pré-laje treliçada ..... $b_{pre} := 45mm$

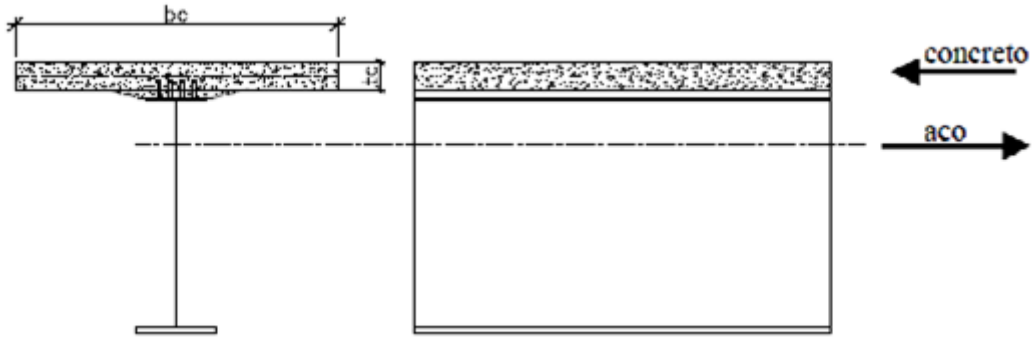
Número máximo de conectores/seção ..... $ceil\left(\frac{b_{s_1} - 2s_{t.min}}{s_{t.min}}\right) = 4$

$l_{vão} := 11.50m$

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312
Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Verificação da quantidade mínima de conectores (interação total)



Resistência última do perfil de aço:

$T_{ad} := A_1 \cdot f_y$ $\quad T_{ad} = 14446.9 \cdot kN$

Resistência última da laje de concreto:

$C_{cd} := 0.85 \cdot f_{ck} \cdot b_{c_1} \cdot t_c$ $\quad C_{cd} = 25500 \cdot kN$

$\min(T_{ad}, C_{cd}) = 14446.9\,kN$

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

Número mínimo de conectores do tipo STUD em toda a viga:

$$N_{s.min} := \frac{\min(T_{ad}, C_{cd})}{Q_{rd}} \qquad N_{s.min} = 153 \quad \text{STUDs}$$

Número de conectores dimensionados pela fadiga em toda a viga:

$$N_{STUDS} := \text{floor}\left(\frac{l_{vão}}{esp_{0_1}} \cdot n0s_1\right) \qquad N_{STUDS} = 153 \quad \text{STUDs} > N_{s.min} \text{ -- OK}$$

Engº Rafael Agenor dos Santos
Gerente
INEA/DIRRAM/GEROSMA
ID: 4373732-2

Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.