



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 - E179+10

inea instituto estadual
do ambiente

Secretaria do
Ambiente e
Sustentabilidade




GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO



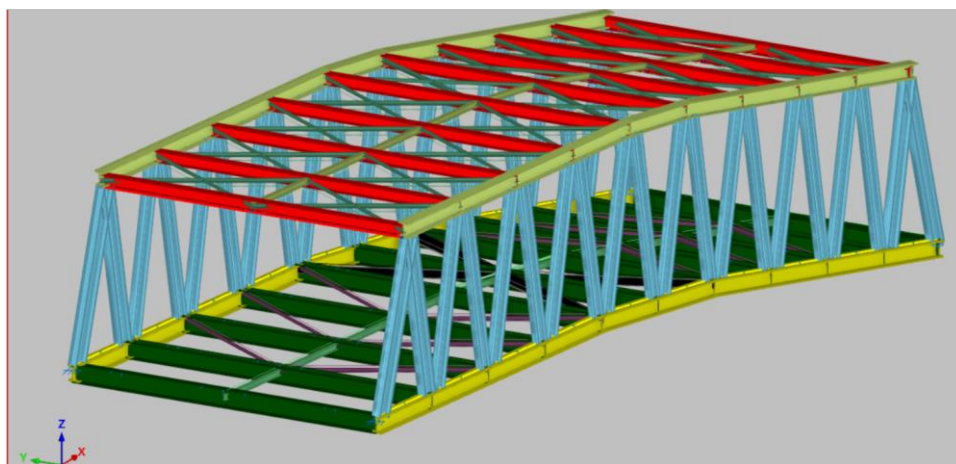
Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312

Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196
www.inea.rj.gov.br


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



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



1. DADOS DA PONTE

1.1 Principais dimensões da ponte

Comprimento total.....	C=2630cm
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=2630cm
Número de vigas longitudinais (vão 01).....	nv1=2
Distância entre longarinas (vão 01)	b1=1145cm
Espessura da laje.....	tc=30cm



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

Espessura média de pavimentaçãotp=10cm
Comprimento máximo sem emendas de chapaCmax=1190cm

1.2 Principais normas e especificações adotadas

Normas ABNT

NBR 5884:2013 - Perfil I estrutural de aço soldado por arco 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 $f_y := 345\text{MPa}$

Resistência à ruptura mínima do aço $f_u := 480\text{MPa}$

Módulo de elasticidade do aço $E_a := 200\text{GPa}$

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

Resistência à compressão do concreto ($\geq 30\text{MPa}$) $f_{ck} := 40\text{MPa}$

Módulo de elasticidade do concreto $E_c := 0.855600 \sqrt{\frac{f_{ck}}{\text{MPa}}} \text{MPa} \quad E_c = 30.105\text{GPa}$

inea instituto estadual
do ambiente

Secretaria do
Ambiente e
Sustentabilidade



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO



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 VCREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.

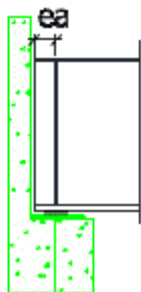


Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

Peso específico do concreto armado da laje $\gamma_c := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
Limite de escoamento do aço das armaduras da laje $f_{yc} := 500 \text{MPa}$
Peso específico do material de pavimentação $\gamma_r := 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$
Classificação do ambiente atmosférico $\text{Amb} := \text{"C2"}$

1.4 Vão teórico de cálculo

Extremidade para o apoio $e_{a1} := 35\text{cm}$
Vão efetivo de cálculo $L_1 := C_1 - 2e_{a1} = 25.6\text{m}$
..... $L_{\min} := L_1 = 25.6\text{m}$



1.5 Dados de tráfego para a fadiga

Vida útil de projeto para a fadiga $VUP := 100\text{yr}$
Volume médio diário de tráfego por faixa (Classe II - DNIT)..... $VMD := \frac{1000}{\text{day}}$
Percentual de tráfego pesado no VMD $\text{ptp} := 15\%$
Volume médio diário de tráfego $VMDP := VMD \cdot \text{ptp} \cdot 150 = 150 \frac{1}{\text{day}}$



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

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

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

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

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

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



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

2. CARGAS NA PONTE

2.1 Carga permanente anterior à cura do concreto - CP1

Balanço da laje

$$\text{Vão 1} \dots\dots\dots b_{11} := \frac{B - (n_{v1} - 1) \cdot b_1}{2} \quad b_{11} = 0 \text{ cm}$$

Laje de concreto

$$\text{Vão 1} \dots\dots\dots q_{11} := t_c \cdot \gamma_c \quad q_{11} = 7.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Mísula da laje de concreto} \dots\dots\dots q_2 := 0 \text{ cm} \gamma_c \quad q_2 = 0 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Peso da estrutura metálica} \dots\dots\dots p_{\text{estru}_1} := 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

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

Vigas de aço + forma

$$\text{Vão 1} \dots\dots\dots q_{31} := (p_{\text{estru}_1} + p_{\text{forma}}) \quad q_{31} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Carga Permanente CP1 total

$$\text{Vão 1} \dots\dots\dots CP_{11} := q_{11} + q_2 + q_{31} = 10.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



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

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

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

..... Vão 1..... $q_{4_1} := n_j \cdot \frac{0.4}{0.25} \quad q_{4_1} = 23.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Pavimentação

..... Vão 1..... $q_{5_1} := \left(t_p \cdot \gamma_r + 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \right) \quad q_{5_1} = 4.4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Carga Permanente CP2 total

..... Vão 1..... $CP_{2_1} := q_{4_1} \cdot \frac{0.25 \text{ m}}{B} + q_{5_1} = 4.9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

2.3 Carga móvel (NBR 7188)

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

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

Coefficiente de
impacto vertical

$LIV := L_1$

$LIV = 25.6 \text{ m}$

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

$CIV = 1.28$

Coefficientes de número de faixas:

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

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

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

inea instituto estadual
do ambiente

Secretaria do
Ambiente e
Sustentabilidade



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO



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.



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

2.4 Forças devidas ao vento – CV

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

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

Fator de rugosidade (Categoria II, Classe B - item 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)..... $S_3 := 1.1$

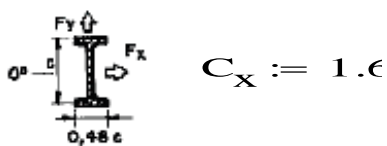
Velocidade característica do vento $V_k := S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot v_0 = 30.58 \frac{m}{s}$

Pressão dinâmica do vento $q_d := \left(0.61 N \cdot \frac{s^2}{m^4}\right) V_k^2 = 0.57 \frac{kN}{m^2}$

Fator de redução para barras de comprimento finito:

$d := 0.60m$ Vão 01 Seja $\frac{C_1}{d} = 43.83 \rightarrow k_{vx1} := 0.825$

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



Fator para vigas paralelas (Figura 08 NBR 6123):

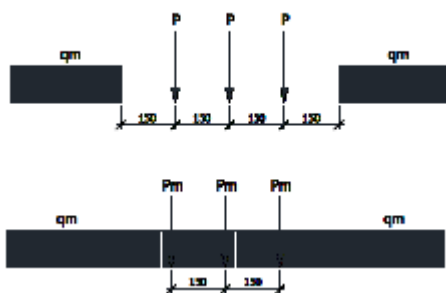
Vão 01 $\frac{b_1}{d} = 19.08$ $\eta_1 := 1$ $f_{vpv1} := 1 + (n_{v1} - 1) \cdot \eta_1 = 2$



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

Vento lateral na ponte $q_{v1} := q_d \cdot C_x \cdot k_{vx1} \cdot f_{vpv1} = 1.5 \frac{kN}{m}$

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 aos 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.

inea instituto estadual
do ambiente

Secretaria do
Ambiente e
Sustentabilidade



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO

Rio2030
A NOVA AGENDA

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312

Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196

www.inea.rj.gov.br

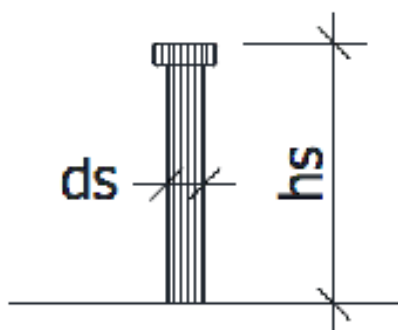
Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico CREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.



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

7. CONECTORES DE CISALHAMENTO

7.1 Resistência de um conector tipo Pino com cabeça – STUD



Altura: $h_s := 120\text{mm}$

Diâmetro: $d_s := 19\text{mm}$

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

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

Resistência à fadiga:

Vida útil projetada VUP = 100-yr

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

Número de ciclos $N_c = 4.654 \times 10^6$

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

Resistência à fadiga $Z_T := \sigma_{SR} \cdot d_s^2$ $Z_T = 14.9\text{kN/stud}$

inea instituto estadual
do ambiente

Secretaria do
Ambiente e
Sustentabilidade



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO



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 VCREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.



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

Resistência última:

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

Módulo de elasticidade do concreto $E_c = 30.105 \text{ GPa}$

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

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

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



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

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

$F_{zk} = 2367.00 \text{ kN}$

$F_{zd} = 3314.00 \text{ kN}$

$F_{xd} = 20.00 \text{ kN}$

$v_{xd} = 9.35 \text{ mm}$

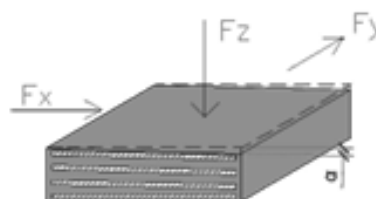
$\alpha_{a,d} = 0.001 \text{ rad}$

$F_{zd,min} = 1883.00 \text{ kN}$

$F_{yd} = 90.00 \text{ kN}$

$v_{yd} = 42.08 \text{ mm}$

$\alpha_{b,d} = 0.0 \text{ rad}$



inea instituto estadual
do ambiente

Secretaria do
Ambiente e
Sustentabilidade



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO

Rio2030
É HORA DE AGIR

Avenida Venezuela, 110 – Praça Mauá – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 20081-312

Tels.: (21) 2332-5302 / 2332-5196

www.inea.rj.gov.br

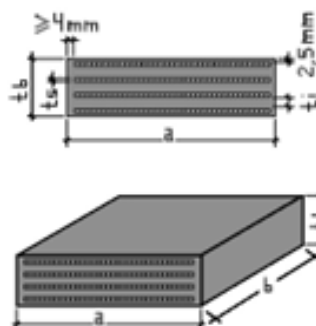
Adib José Francisco Junior
Resp. Técnico VCREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.



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

Aparelho de apoio escolhido

$a = 400.0 \text{ mm}$
 $b = 600.0 \text{ mm}$
 $n = 8.0 \text{ camadas}$
 $t_s = 4.0 \text{ mm}$
 $t_i = 12.0 \text{ mm}$
 $t_b = 137.0 \text{ mm}$



Configurações

* $K_f = 0.6$
 $G = 0.9 \text{ MPa}$
 $E_b = 2000.0 \text{ MPa}$
 $f_y = 210.0 \text{ MPa}$
 $ch = 4.0 \text{ mm}$
 $cv = 2.5 \text{ mm}$
** $K_h = 1.0$

*Para aparelhos de apoio em contato com o concreto $K_f = 0,6$ e, para quais quer outros materiais $K_f = 0,2$.

**Para aparelhos de apoio com presença de furos $K_h = 2,0$, caso contrário, $K_f = 1,0$.

Data: 03/09/2024

Pág. 1 de 2



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

Verificação 1: Máxima deformação total de cálculo

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

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

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

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



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

Verificação 4: Condição limite - estabilidade à flambagem

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

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:

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

Data: 03/09/2024

Pág. 2 de 2

inea instituto estadual
do ambiente

Secretaria do
Ambiente e
Sustentabilidade



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO



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 VCREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.



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

9. ENRIJECEDORES TRANSVERSAIS

Conforme Memória Cype3D.

inea instituto estadual
do ambiente

Secretaria do
Ambiente e
Sustentabilidade




GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO



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.



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

10. LAJES

Largura do vão: $L_x := \frac{L_1}{10} = 2.56m$

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

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

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: $TB := 45C$

Coefficiente de ponderação da estrutura de concreto: $\gamma_{f.g1} := 1.30$

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

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

Coefficiente de ponderação da resistência do concreto: $\gamma_{\sigma c} := 1.4$

Coefficiente de ponderação da resistência do aço: $\gamma_{\sigma s} := 1.15$

Resistência à compressão do concreto: $f_{ck} := 40MPa$ $f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 28.57MPa$

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



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

Carregamentos:

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

$$\text{Comprimento de contato da roda:} \dots\dots\dots CC := 0.20r$$

$$\text{Comprimento dos eixos:} \dots\dots\dots a := 2.00r$$

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):

$$\frac{L_x}{a} = 1.28$$

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

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

$$\lambda := \frac{L_y}{L_x} = 4.473$$

$$\lambda_{adot} := \begin{cases} \lambda & \text{if } \lambda \leq 2 \\ \infty & \text{otherwise} \end{cases} = 1 \times 10^{307}$$



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

Condições de contorno:

Borda direita: $B_d :=$ "apojada"

Borda esquerda: $B_e :=$ "apojada"

Borda superior: $B_s :=$ "engastada" $B_{s\text{adot}} := \begin{cases} B_s & \text{if } \lambda \leq 2 \\ \text{"indefinido"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"indefinido"}$

Borda inferior: $B_i :=$ "engastada" $B_{i\text{adot}} := \begin{cases} B_i & \text{if } \lambda \leq 2 \\ \text{"indefinido"} & \text{otherwise} \end{cases} = \text{"indefinido"}$

Coeficientes:

Tabela adotada: $T_{\text{Rusch}} := 93$

Carregamentos permanentes:

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

Carregamentos móveis:

$M_{pr.mxm} := 0.156m$	$M_{pr.mym} := 0.215m$	$M_{pr.mxe} := 0m$	$M_{pr.mye} := 0.37m$
$M_{p.mxm} := 0m^3$	$M_{p.mym} := 0m^3$	$M_{p.mxe} := 0m^3$	$M_{p.mye} := 0m^3$
$M_{p'.mxm} := 0.022m^3$	$M_{p'.mym} := 0.03m^3$	$M_{p'.mxe} := 0m^3$	$M_{p'.mye} := 0.322m^3$



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

Momentos:

Carregamentos permanentes:

Peso próprio da estrutura:

$$M_{g1.mxm} := k_{mxm} \cdot g_1 \cdot L_x^2 = 0.344 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{g1.mym} := k_{mym} \cdot g_1 \cdot L_x^2 = 2.064 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

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

$$M_{g1.mye} := k_{mye} \cdot g_1 \cdot L_x^2 = 4.08 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Peso dos materiais:

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

$$M_{g2.mym} := k_{mym} \cdot g_2 \cdot L_x^2 = 1.329 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

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

$$M_{g2.mye} := k_{mye} \cdot g_2 \cdot L_x^2 = 2.627 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Carregamento móvel:

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

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

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

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

Combinações:

Mxm:

$$M_{1.mxm} := \gamma_{f.g1} \cdot M_{g1.mxm} + \gamma_{f.g2} \cdot M_{g2.mxm} + \gamma_{f.q} \cdot M_{q.mxm} = 24.573 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{2.mxm} := 1.0 \cdot M_{g1.mxm} + 1.0 \cdot M_{g2.mxm} + 0 = 0.566 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$



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

Coefficiente de fadiga:

$$f_{mxm} := \frac{M_{1.mxm} - M_{2.mxm}}{M_{1.mxm}} \cdot \frac{f_{yk}}{360MPa} = 1.357$$

Mym:

$$M_{1.mym} := \gamma_{f.g1} \cdot M_{g1.mym} + \gamma_{f.g2} \cdot M_{g2.mym} + \gamma_{f.q} \cdot M_{q.mym} = 37.313 \cdot kN \cdot m$$

$$M_{2.mym} := 1.0 \cdot M_{g1.mym} + 1.0 \cdot M_{g2.mym} + 0 = 3.394 \cdot kN \cdot m$$

Coefficiente de fadiga:

$$f_{mym} := \frac{M_{1.mym} - M_{2.mym}}{M_{1.mym}} \cdot \frac{f_{yk}}{360MPa} = 1.263$$

Mxe:

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

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

Coefficiente de fadiga:

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

Mye:

$$M_{1.mye} := \gamma_{f.g1} \cdot M_{g1.mye} + \gamma_{f.g2} \cdot M_{g2.mye} + 1.5 \cdot M_{q.mye} = 68.084 kN \cdot m$$

$$M_{2.mye} := 1.0 \cdot M_{g1.mye} + 1.0 \cdot M_{g2.mye} + 0 = 6.707 kN \cdot m$$



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

Coeficiente de fadiga:

$$f_{mye} := \frac{M_{1.mye} - M_{2.mye}}{M_{1.mye}} \cdot \frac{f_{yk}}{360\text{MPa}} = 1.252$$

Armaduras:

Direção x:

Armadura positiva:

Momento resistente de cálculo:

Diâmetro da armadura longitudinal: $\phi_l := 10\text{mm}$

Diâmetro da armadura transversal: $\phi_t := 10\text{mm}$

Largura da seção: $b_w := 100\text{cm}$

Altura útil da seção: $\underset{\sim}{d} := t_c - c_{ob} - \phi_t - \frac{\phi_l}{2} = 23.5\text{cm}$

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

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

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

Força atuante no concreto (zona comprimida):

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

Braço de alavanca:

$$\underset{\sim}{z}(x) := d - 0.4x$$



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

Momento resistente de cálculo:

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

Posição da linha neutra da seção:

$$x := 0m$$

Given

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

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

$$x_{LN} = 0.543m$$

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

Domínio de deformação:

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

Deformação:

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



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

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

Braço de alavanca:

$$z_d := z(x_{LN}) = 0.233m$$

Área de aço:

$$A_{s1} := \frac{M_{1.mxm}}{b_w \cdot z_d \cdot f_{yd}} = 3.518 \frac{cm^2}{m}$$

Área mínima de aço da armadura longitudinal:

Taxa de armadura mínima:

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

$$\rho_{min} = 0.00179$$

$$A_{s1min} := t_c \cdot \rho_{min} = 5.37 \frac{cm^2}{m}$$

inea instituto estadual
do ambiente

Secretaria do
Ambiente e
Sustentabilidade



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO



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.



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

Área adotada de aço da armadura longitudinal:

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

$$A_{sxm}^* := A_{sxm} \cdot f_{mxm} = 7.287 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Quantidade de barras e espaçamento da armadura longitudinal:

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

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

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

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

Área efetiva de aço da armadura longitudinal:

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



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

Direção y:

Armadura positiva:

Momento resistente de cálculo:

Diâmetro da armadura longitudinal: $\phi_l := 10\text{mm}$

Diâmetro da armadura transversal: $\phi_t := 12.5\text{mm}$

Largura da seção: $b_w := 100\text{cm}$

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

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

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

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

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:

$$x := 0\text{m}$$

Given



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

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

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

$$x_{LN} = 0.838cr$$

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

Domínio de deformação:

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

Deformação:

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

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

Braço de alavanca:

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



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

Área de aço:

$$A_{s1} := \frac{M_{1.mym}}{b_w \cdot z_d \cdot f_{yd}} = 5.428 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Área mínima de aço da armadura longitudinal:

Taxa de armadura mínima:

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

$$\rho_{min} = 0.00179$$

$$A_{s1min} := t_c \cdot \rho_{min} = 5.37 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Área adotada de aço da armadura longitudinal:

$$A_{sym} := \max(A_{s1}, A_{s1min}) = 5.428 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$A^*_{sym} := A_{sym} \cdot f_{mym} = 6.853 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$



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

Quantidade de barras e espaçamento da armadura longitudinal:

$$\begin{aligned} A_{\phi l} &:= \frac{\pi \phi_l^2}{4} = 0.785 \text{ cm}^2 \\ n_{bl} &:= \text{Ceil} \left(\frac{A_{sym}^*}{A_{\phi l}}, \frac{1}{m} \right) = 9 \frac{1}{m} \\ s_l &:= \text{Floor} \left(\frac{100 \frac{\text{cm}}{m}}{n_{bl}}, 1 \text{ cm} \right) = 0.11 \text{ m} \\ n_{bladot} &:= \text{Ceil} \left(\frac{100 \frac{\text{cm}}{m}}{\min(s_l, 20 \text{ cm}, 2 \cdot t_c)}, \frac{1}{m} \right) = 10 \frac{1}{m} \end{aligned}$$

Área efetiva de aço da armadura longitudinal:

$$\begin{aligned} A_{sel} &:= n_{bladot} \cdot A_{\phi l} = 7.854 \frac{\text{cm}^2}{m} \\ A_{sym} &:= A_{sel} = 7.854 \frac{\text{cm}^2}{m} \end{aligned}$$

Armadura negativa:

Momento resistente de cálculo:

Diâmetro da armadura longitudinal: $\phi_l := 12.5 \text{ mm}$

Diâmetro da armadura transversal: $\phi_t := 10 \text{ mm}$

Largura da seção: $b_w := 100 \text{ cm}$

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



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

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

$$\lambda_{\text{con}} := \begin{cases} 0.8 & \text{if } f_{ck} \leq 50\text{MPa} \\ 0.8 - \frac{(f_{ck} - 50\text{MPa})}{400\text{MPa}} & \text{if } f_{ck} > 50\text{MPa} \end{cases} = 0.8$$
$$\alpha_{\text{con}} := \begin{cases} 0.85 & \text{if } f_{ck} \leq 50\text{MPa} \\ 0.85 \left(1 - \frac{f_{ck} - 50\text{MPa}}{400\text{MPa}} \right) & \text{if } f_{ck} > 50\text{MPa} \end{cases} = 0.85$$

Força atuante no concreto (zona comprimida):

$$F_c(x) := \alpha_{\text{con}} \cdot f_{cd} \cdot \lambda_{\text{con}} \cdot x$$

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:

$$x_{\text{LN}} := 0\text{m}$$

Given

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

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

$$x_{\text{LN}} = 1.54\text{cm}$$

$$x_d := \frac{x_{\text{LN}}}{d} = 0.066$$



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

Domínio de deformação:

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

Deformação:

$$\varepsilon_{sw} := \begin{cases} 0.01 & \text{if domínio} = 2 \\ \frac{0.0035(d - x_{LN})}{x_{LN}} & \text{if domínio} = 3 \end{cases} = 0.01$$
$$\varepsilon_{sw} := \begin{cases} \frac{0.01x_{LN}}{d - x_{LN}} & \text{if domínio} = 2 \\ 0.0035 & \text{if domínio} = 3 \end{cases} = 0.00071$$

Braço de alavanca:

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

Área de aço:

$$A_{sl} := \frac{|M_{l.mye}|}{b_w \cdot z_d \cdot f_{yd}} = 9.972 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$



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

Área mínima de aço da armadura longitudinal:

Taxa de armadura mínima:

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

$$\rho_{min} = 0.00179$$

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

Área adotada de aço da armadura longitudinal:

$$A_{sye} := \max(A_{sl}, A_{smin}) = 9.972 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$A^*_{sye} := f_{mxm} \cdot A_{sye} = 13.531 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Quantidade de barras e espaçamento da armadura longitudinal:

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

$$n_{bl} := \text{Ceil} \left(\frac{A^*_{sye}}{A_{\phi l}}, \frac{1}{\text{m}} \right) = 12 \frac{1}{\text{m}}$$



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

$$s_{bl} := \text{Floor} \left(\frac{100 \frac{\text{cm}}{\text{m}}}{n_{bl}}, 1 \text{ cm} \right) = 8 \text{ cm}$$
$$n_{bladot} := \text{Ceil} \left(\frac{100 \frac{\text{cm}}{\text{m}}}{\min(s_{bl}, 20 \text{ cm}, 2 \cdot t_c)}, \frac{1}{\text{m}} \right) = 13 \frac{1}{\text{m}}$$

Área efetiva de aço da armadura longitudinal:

$$A_{sel} := n_{bladot} \cdot A_{bl} = 15.953 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

$$A_{sye} := A_{sel} = 15.953 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$



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

10.1 PRÉ-LAJES

Largura do vão:.....	$L_v := 2.50m$	
Espessura da pré-laje:	$h_{prelaje} := 8cm$	
Largura da pré-laje	$b_{prelaje} := 50cm$	
Cobrimento:.....	$c_{ob} := 3cm$	
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:	$TB := 45C$	
Coefficiente de ponderação da estrutura de concreto:	$\gamma_{f.g1} := 1.30$	
Coefficiente de ponderação dos pavimentos:	$\gamma_{f.g2} := 1.35$	
Coefficiente de ponderação do carregamento móvel:	$\gamma_{f.q} := 1.5$	
Coefficiente de ponderação da resistência do concreto:	$\gamma_{c} := 1.4$	
Coefficiente de ponderação da resistência do aço:	$\gamma_{s} := 1.15$	
Resistência à compressão do concreto:	$f_{ck} := 40MPa$	$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 28.571MPa$
Resistência ao escoamento do aço (passiva):	$f_{yk} := 500MPa$	$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = 434.783MPa$
<u>Carregamentos:</u>		
Peso próprio da laje	$g_1 := h_{prelaje} \cdot g_{pp} = 2 \frac{kN}{m^2}$	
Peso Próprio revestimento (asfalto).....	$g_2 := h_{capa} \cdot g_{pp} = 5.5 \frac{kN}{m^2}$	



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

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

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

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

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

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

Combinações:

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

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

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

Mxm:

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



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

Armaduras:

Direção x:

Armadura positiva:

Momento resistente de cálculo:

Diâmetro da armadura longitudinal: $\phi_1 := 12.5\text{mm}$

Diâmetro da armadura transversal: $\phi_t := 5\text{mm}$

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

Altura útil da seção: $d := h_{\text{prelaje}} - c_{\text{ob}} - \frac{\phi_1}{2} = 4.375\text{cm}$

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

$$\lambda := \begin{cases} 0.8 & \text{if } f_{ck} \leq 50\text{MPa} \\ 0.8 - \frac{(f_{ck} - 50\text{MPa})}{400\text{MPa}} & \text{if } f_{ck} > 50\text{MPa} \end{cases} = 0.8$$
$$\alpha := \begin{cases} 0.85 & \text{if } f_{ck} \leq 50\text{MPa} \\ 0.85 \left(1 - \frac{f_{ck} - 50\text{MPa}}{400\text{MPa}} \right) & \text{if } f_{ck} > 50\text{MPa} \end{cases} = 0.85$$

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:

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



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

Posição da linha neutra da seção:

$$\underline{x} := 0\text{m}$$

Given

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

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

$$\underline{x}_{LN} = 1.188\text{m}$$

$$\underline{x}_d := \frac{\underline{x}_{LN}}{d} = 0.272$$

Domínio de deformação:

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

Deformação:

$$\underline{\varepsilon}_s := \begin{cases} 0.01 & \text{if } \text{domínio} = 2 \\ 0.0035(d - \underline{x}_{LN}) & \text{if } \text{domínio} = 3 \end{cases} = 0.009385$$
$$\underline{\varepsilon}_m := \begin{cases} \frac{0.01 \underline{x}_{LN}}{d - \underline{x}_{LN}} & \text{if } \text{domínio} = 2 \\ 0.0035 & \text{if } \text{domínio} = 3 \end{cases} = 0.0035$$

Braço de alavanca:

$$\underline{z}_d := z(\underline{x}_{LN}) = 0.039\text{m}$$



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

Área de aço:

$$A_{s1} := \frac{M_{1, \text{mxm}}}{b_w \cdot z_d \cdot f_{yd}} = 5.37 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Área mínima de aço da armadura longitudinal:

Taxa de armadura mínima:

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

$$\rho_{\min} = 0.00179$$

$$A_{s1 \min} := t_c \cdot \rho_{\min} = 5.37 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

Área adotada de aço da armadura longitudinal:

$$A_{s \text{ adm}} := \max(A_{s1}, A_{s1 \min}) = 5.37 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$

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.



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

11. DIMENSIONAMENTO DOS CONSOLOS:

Espessura da Laje de Aproximação:	$e_{\text{laje.aproximação}} := 0.30\text{m}$
Comprimento da Laje de Aproximação	$L_{\text{laje.aproximação}} := 4.00\text{m}$
Largura da Laje de Aproximação:	$B_{\text{laje.aproximação}} := 11.45\text{r}$
Trem-Tipo:	$TB := 450$
Carga da Laje de Aproximação:	$g_{\text{laje}} := e_{\text{laje.aproximação}} \cdot g_{\text{pp}} = 7.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Carga Móvel:

Sobrecarga de multidão:	$p_{\text{m}} := \begin{cases} 5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} & \text{if } TB = 450 \vee TB = 300 \\ 4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
Peso das rodas:	$P_{\text{r}} := \begin{cases} 75\text{kN} & \text{if } TB = 450 \\ 50\text{kN} & \text{if } TB = 300 \\ 40\text{kN} & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 75\text{kN}$
Largura de contato da roda dianteira:	$LC_1 := \begin{cases} 0.50\text{m} & \text{if } TB = 450 \\ 0.40\text{m} & \text{if } TB = 300 \\ 0.30\text{m} & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 0.5$
Largura de contato da roda intermediária:	$LC_2 := \begin{cases} 0.50\text{m} & \text{if } TB = 450 \\ 0.40\text{m} & \text{if } TB = 300 \\ 0.30\text{m} & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 0.5$
Largura de contato da roda traseira:	$LC_3 := \begin{cases} 0.50\text{m} & \text{if } TB = 450 \\ 0.40\text{m} & \text{if } TB = 300 \\ 0.30\text{m} & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 0.5$
Comprimento de contato da roda:	$CC := 0.20\text{r}$
Comprimento dos eixos:	$a := 2.00\text{r}$



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

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:

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

Distância do Ponto de Aplicação da Carga:

$$d_{\text{xxx}} := 60\text{cm} - \text{cob} = 57\text{cm} \quad a_{\text{consolo}} := 20\text{cm} + \text{cob} = 0.23\text{m}$$

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

Adotar armadura mínima: ϕ 10 a c/ 10 cm



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

12. LAJE DE APROXIMAÇÃO:

Largura do vão:	$L_v := 4m$
Comprimento do vão:	$L_c := 11.45m$
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:	$h_{cov} := \frac{h_{pav.max} + h_{pav.min}}{2} = 0.075m$
Cobrimeto:	$cob := 5cm$
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:	$TB := 45C$
Coefficiente de ponderação da estrutura de concreto:	$\gamma_{f.g1} := 1.35$
Coefficiente de ponderação dos pavimentos:	$\gamma_{f.g2} := 1.35$
Coefficiente de ponderação do carregamento móvel:	$\gamma_{f.q} := 1.5$
Coefficiente de ponderação da resistência do concreto:	$\gamma_{m} := 1.4$
Coefficiente de ponderação da resistência do aço:	$\gamma_{m} := 1.15$
Resistência à compressão do concreto:	$f_{cdk} := 40MPa$
Resistência ao escoamento do aço (passiva):	$f_{ydk} := 500MPa$

Carregamentos:

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



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

Peso Próprio revestimento (asfalto)	$g_2 := h_{rev} \cdot g_{pp.pav} = 1.8 \frac{kN}{m^2}$
Peso Próprio recapeamento (asfalto)	$g_3 := 2 \frac{kN}{m^2}$
Carregamento dos materiais:	$g_{2,3} := \sum_{n=2}^3 g_n = 3.8 \frac{kN}{m^2}$
Sobrecarga de multidão:	$p_{mv} := \begin{cases} 5 \frac{kN}{m^2} & \text{if } TB = 450 \vee TB = 300 \\ 4 \frac{kN}{m^2} & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 5 \cdot \frac{kN}{m^2}$
Peso das rodas:	$P_{r,v} := \begin{cases} 75kN & \text{if } TB = 450 \\ 50kN & \text{if } TB = 300 \\ 40kN & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 75kN$
Largura de contato da roda dianteira:	$LC_{d,v} := \begin{cases} 0.50m & \text{if } TB = 450 \\ 0.40m & \text{if } TB = 300 \\ 0.30m & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 0.5$
Largura de contato da roda intermediária:	$LC_{i,v} := \begin{cases} 0.50m & \text{if } TB = 450 \\ 0.40m & \text{if } TB = 300 \\ 0.30m & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 0.5$
Largura de contato da roda traseira:	$LC_{t,v} := \begin{cases} 0.50m & \text{if } TB = 450 \\ 0.40m & \text{if } TB = 300 \\ 0.30m & \text{if } TB = 240 \end{cases} = 0.5$
Comprimento de contato da roda:	$CC_{r,v} := 0.20r$
Comprimento dos eixos:	$a_{v,v} := 2.00r$



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

Coefficiente de Impacto vertical:

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

LIV = 4m

Coefficientes de número de faixas:

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

Coefficiente de Impacto Adicional:

$$\text{CIA} := 1.2^4$$

Coefficiente indicativo de momento (Tabelas de Rüsch):

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

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

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

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

Condições de contorno:

Borda direita: $B_d := \text{"livre"}$
Borda esquerda: $B_e := \text{"livre"}$
Borda superior: $B_s := \text{"apoitada"}$
Borda inferior: $B_i := \text{"apoitada"}$

inea instituto estadual
do ambiente

Secretaria do
Ambiente e
Sustentabilidade



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO



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 VCREA RJ 152.925/D
HYDRA ENG. E SANEAMENTO LTDA.



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

Coeficientes:

Tabela adotada: $T_{Rusch} := 1$

Carregamentos permanentes:

$$k_{mxm} := 0.125r \quad k_{mym} := 0.02r \quad k_{mxe} := -0.00r \quad k_{mye} := -0.00r$$

Carregamentos móveis:

$$\begin{aligned} M_{p,mxm} &:= 0.536r & M_{p,mym} &:= 0.33r & M_{p,mxe} &:= -0.00r & M_{p,mye} &:= -0.00r \\ M_{p,mxm} &:= 0.000m^3 & M_{p,mym} &:= 0.000m^3 & M_{p,mxe} &:= -0.00m^3 & M_{p,mye} &:= -0.00m^3 \\ M_{p',mxm} &:= 1.056m^3 & M_{p',mym} &:= 0.224m^3 & M_{p',mxe} &:= -0.00m^3 & M_{p',mye} &:= -0.00m^3 \end{aligned}$$

Momentos:

Carregamentos permanentes:

Peso próprio da estrutura:

$$\begin{aligned} M_{g1,mxm} &:= k_{mxm} g_1 \cdot L_x^2 = 15 \text{ kN}\cdot r \\ M_{g1,mym} &:= k_{mym} g_1 \cdot L_x^2 = 2.52 \text{ kN}\cdot m \\ M_{g1,mxe} &:= k_{mxe} g_1 \cdot L_x^2 = 0 \text{ kN}\cdot r \\ M_{g1,mye} &:= k_{mye} g_1 \cdot L_x^2 = 0 \text{ kN}\cdot m \end{aligned}$$

Peso dos materiais:

$$\begin{aligned} M_{g2,mxm} &:= k_{mxm} g_2 \cdot L_x^2 = 7.6 \text{ kN}\cdot r \\ M_{g2,mym} &:= k_{mym} g_2 \cdot L_x^2 = 1.277 \text{ kN}\cdot r \\ M_{g2,mxe} &:= k_{mxe} g_2 \cdot L_x^2 = 0 \text{ kN}\cdot r \\ M_{g2,mye} &:= k_{mye} g_2 \cdot L_x^2 = 0 \text{ kN}\cdot r \end{aligned}$$

Carregamento móvel

$$\begin{aligned} M_{q,mxm} &:= CIV \cdot CIA \cdot CNF (M_{pr,mxm} P_r + M_{p,mxm} P + M_{p',mxm} P) = 76.748 \text{ kN}\cdot m \\ M_{q,mym} &:= CIV \cdot CIA \cdot CNF (M_{pr,mym} P_r + M_{p,mym} P + M_{p',mym} P) = 43.782 \text{ kN}\cdot m \\ M_{q,mxe} &:= CIV \cdot CIA \cdot CNF (M_{pr,mxe} P_r + M_{p,mxe} P + M_{p',mxe} P) = 0 \text{ kN}\cdot r \\ M_{q,mye} &:= CIV \cdot CIA \cdot CNF (M_{pr,mye} P_r + M_{p,mye} P + M_{p',mye} P) = 0 \text{ kN}\cdot m \end{aligned}$$



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

Combinações:

Mxm:

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

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

Coeficiente de fadiga:

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

Mym:

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

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

Coeficiente de fadiga:

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

Mxe:

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

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

Coeficiente de fadiga:

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

Mye:

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

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



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

Coeficiente de fadiga:

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

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: $b_w := 1.0\text{m}$

Momento máximo no muro: $M_{dmax} := M_{1, mxm} = 145.6\text{kN}\cdot\text{m}$

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: $f_{cd} := \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 28.57\text{MPa}$

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

Diâmetro da armadura longitudinal: $\phi_l := 16\text{mm}$

Diâmetro da armadura transversal: $\phi_t := 12.5\text{mm}$

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



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

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

$$\lambda_w := \begin{cases} 0.8 & \text{if } f_{ck} \leq 50\text{MPa} \\ 0.8 - \frac{(f_{ck} - 50\text{MPa})}{400\text{MPa}} & \text{if } f_{ck} > 50\text{MPa} \end{cases} = 0.8$$
$$\alpha_w := \begin{cases} 0.85 & \text{if } f_{ck} \leq 50\text{MPa} \\ 0.85 \left(1 - \frac{f_{ck} - 50\text{MPa}}{400\text{MPa}} \right) & \text{if } f_{ck} > 50\text{MPa} \end{cases} = 0.85$$

Força atuante no concreto (zona comprimida):

$$F_c(x) := b_w \cdot \alpha_w \cdot f_{cd} \cdot \lambda_w \cdot x$$

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:

$$x_w := 0\text{m}$$

Given

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

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

$$x_{LN} = 3.477\text{cm}$$

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



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

Domínio de deformação:

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

Deformação:

$$\varepsilon_{sw} := \begin{cases} 0.01 & \text{if } \text{domínio} = 2 \\ \frac{0.0035(d - x_{LN})}{x_{LN}} & \text{if } \text{domínio} = 3 \end{cases} = 0.01$$
$$\varepsilon_{sw} := \begin{cases} \frac{0.01x_{LN}}{d - x_{LN}} & \text{if } \text{domínio} = 2 \\ 0.0035 & \text{if } \text{domínio} = 3 \end{cases} = 0.00179$$

Braço de alavanca:

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

Área de aço da armadura longitudinal:

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



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

Área mínima de aço da armadura longitudinal:
Taxa de armadura mínima:

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

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

Área adotada de aço da armadura longitudinal:

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

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

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



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

Quantidade de barras e espaçamento da armadura longitudinal:

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

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

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

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

Área efetiva de aço da armadura longitudinal:

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

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

Direção y:

Armadura positiva:

A) Cálculo dos esforços:

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

Largura da faixa de muro: $b_{ww} := 1.0 \text{ m}$

Momento máximo no muro:

$$M_{lmax} := M_{l.mym} = 70.8 \text{ kN}\cdot\text{m}$$



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

B) Momento resistente de cálculo:

Coefficiente de ponderação da resistência do concreto: $\gamma_{cd} := 1.4$

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

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

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

Diâmetro da armadura longitudinal: $\phi_l := 12.5 \text{ mm}$

Diâmetro da armadura transversal: $\phi_t := 16 \text{ mm}$

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

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

$$\lambda := \begin{cases} 0.8 & \text{if } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \\ 0.8 - \frac{(f_{ck} - 50 \text{ MPa})}{400 \text{ MPa}} & \text{if } f_{ck} > 50 \text{ MPa} \end{cases} = 0.8$$
$$\alpha := \begin{cases} 0.85 & \text{if } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} \\ 0.85 \left(1 - \frac{f_{ck} - 50 \text{ MPa}}{400 \text{ MPa}} \right) & \text{if } f_{ck} > 50 \text{ MPa} \end{cases} = 0.85$$

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:

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



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

Posição da linha neutra da seção:

$$\begin{aligned}
 x_{LN} &:= 0m \\
 \text{Given} \\
 M_{rd}(x) &= M_{dmax} \\
 x_{LN} &:= \text{Find}(x) \\
 x_{LN} &= 1.534 \cdot cm \\
 x_d &:= \frac{x_{LN}}{d} = 0.063
 \end{aligned}$$

Domínio de deformação:

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

Deformação:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_{sx} &:= \begin{cases} 0.01 & \text{if } \text{domínio} = 2 \\ \frac{0.0035(d - x_{LN})}{x_{LN}} & \text{if } \text{domínio} = 3 \end{cases} = 0.01 \\
 \varepsilon_{sx} &:= \begin{cases} \frac{0.01x_{LN}}{d - x_{LN}} & \text{if } \text{domínio} = 2 \\ 0.0035 & \text{if } \text{domínio} = 3 \end{cases} = 0.00067
 \end{aligned}$$

Braço de alavanca:

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



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

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:

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

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

Área adotada de aço da armadura longitudinal:

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

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

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



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

Quantidade de barras e espaçamento da armadura longitudinal:

$$A_{\phi} := \frac{\pi \phi_1^2}{4} = 1.227 \text{ cm}^2$$

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

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

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

Área efetiva de aço da armadura longitudinal:

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

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



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

13. DIMENSIONAMENTO DAS CORTINAS:

13.1 Dados dos Materiais:

Peso específico do material:

$$\gamma_{\text{concreto}} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

Classe de agressividade ambiental:

$$\text{CAA} := 3$$

Controle tecnológico rigoroso na obra:

$$\text{ctr} := \text{"não"}$$

Contato direto com agente agressivo:

$$\text{agressivo} := \text{"não"}$$

Cobrimento da estrutura de concreto:

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

Resistência à compressão do concreto aos 28 dias:

$$f_{ck} := 40\text{MPa}$$

Resistência à Compressão Mínima:

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

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

Resistência ao escoamento do aço:

$$f_{yk} := 500\text{MPa}$$



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

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

Ângulo de atrito interno do solo: $\phi := 28^\circ + (0.4 N_{spt})^\circ = 29.2^\circ$

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

Ângulo de atrito entre a terra e o muro: $\phi_1 := \begin{cases} 0 & \text{if surface = "lisa"} \\ 0.5\phi & \text{if surface = "parcial"} \\ \phi & \text{if surface = "rugosa"} \end{cases} = 0$

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

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

$$\beta := 90^\circ - \theta = 90^\circ$$

Altura do muro: $h := 1.20r$

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

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

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



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

Empuxo de terra:

Coefficientes de empuxo:

Coefficiente de empuxo ativo:

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

Coefficiente de empuxo passivo:

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

Determinação analítica de empuxo:

Altura de solo equivalente à sobrecarga:

$$h_0 := \frac{q}{\gamma_{\text{solo}}} = 1.11 \text{ m}$$

Altura total:

$$H := h + h_0 = 2.31 \text{ m}$$

Pressão do solo sobre o encontro:

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

Grandeza do empuxo:

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

Direção do empuxo:

$$\delta := \theta + \varphi_1 = 0^\circ$$

Componentes do empuxo:

Horizontal:

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

Vertical:

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



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

Ponto de aplicação do empuxo:

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

Momento Atuante na cortina:

$$M_{\text{cortina}} := \frac{E_a H \cdot y^2}{2} = 1.8 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Dimensionamento das armaduras:

A) Cálculo dos esforços:

Coefficiente de ponderação dos esforços:

$$\gamma_c := 1.4$$

Largura da faixa de muro:

$$b_w := 1.0\text{m}$$

Momento máximo no muro:

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

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

B) Momento resistente de cálculo:

Coefficiente de ponderação da resistência do concreto:

$$\gamma_c := 1.4$$

Coefficiente de ponderação da resistência do concreto:

$$\gamma_s := 1.15$$

Resistência de projeto do concreto à compressão:

$$f_{\text{cd}} := \frac{f_{\text{ck}}}{\gamma_c} = 28.571 \text{ MPa}$$

Resistência de projeto do aço ao escoamento:

$$f_{\text{yd}} := \frac{f_{\text{yk}}}{\gamma_s} = 434.783 \text{ MPa}$$

Diâmetro da armadura longitudinal:

$$\phi_l := 10\text{mm}$$

Diâmetro da armadura transversal:

$$\phi_t := 10\text{mm}$$

Altura útil da seção:

$$d := e_{\text{muro}} - c_{\text{ob}} - \phi_t - \frac{\phi_l}{2} = 0.245\text{m}$$



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

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

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

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

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:

$$x := 0\text{m}$$

Given

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

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

$$x_{LN} = 0.053\text{cm}$$

$$x_d := \frac{x_{LN}}{d} = 2.146 \times 10^{-3}$$



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

Domínio de deformação:

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

Deformação:

$$\varepsilon_{sw} := \begin{cases} 0.01 & \text{if } \text{domínio} = 2 \\ \frac{0.0035(d - x_{LN})}{x_{LN}} & \text{if } \text{domínio} = 3 \end{cases} = 0.01$$
$$\varepsilon_{sw} := \begin{cases} \frac{0.01x_{LN}}{d - x_{LN}} & \text{if } \text{domínio} = 2 \\ 0.0035 & \text{if } \text{domínio} = 3 \end{cases} = 2.15045 \times 10^{-5}$$

Braço de alavanca:

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

Área de aço da armadura longitudinal:

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



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

Área mínima de aço da armadura longitudinal:

Taxa de armadura mínima:

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

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

Quantidade de barras e espaçamento da armadura longitudinal:

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

$$n_{bl} := \text{Ceil}\left(\frac{A_{sldot1}}{A_{\phi l}}, \frac{1}{\text{m}}\right) = 7 \frac{1}{\text{m}}$$

$$s_{ll} := \frac{100 \frac{\text{cm}}{\text{m}}}{n_{bl}} = 0.143 \text{m}$$

$$n_{bldot1} := \text{Ceil}\left(\frac{100 \frac{\text{cm}}{\text{m}}}{\min(s_{ll}, 20\text{cm}, 2 \cdot h)}, \frac{1}{\text{m}}\right) = 7 \frac{1}{\text{m}}$$

$$s_{ldot1} := \frac{100 \frac{\text{cm}}{\text{m}}}{n_{bldot1}} = 14.286 \text{cm}$$

Área efetiva de aço da armadura longitudinal:

$$A_{sel1} := n_{bldot1} \cdot A_{\phi l} = 5.498 \frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$$



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

14. ARMADURA DE FRETAGEM

Esforço:

$$P := 3224 \text{ kN} \quad a := 40 \text{ cm} \quad d := 150 \text{ cm} \quad \frac{a}{d} = 0.267$$

$$Z := 0.25P \cdot \left(1 - \frac{a}{d}\right) = 591.067 \text{ kN}$$

Armaduras:

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = 434.783 \text{ MPa}$$

$$A_s := \frac{1.4Z}{f_{yd}} = 19.032 \text{ cm}^2$$

10 voltas de $\phi 10 = 8.0 \text{ cm}^2/\text{camada}$

3 camadas de 10 voltas = 24.0 cm^2



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

15. DIMENSIONAMENTO DAS LIGAÇÕES

Esforços:	Perfis:	Parafusos:	Coeficientes
$T_{\text{diagonal.i}} := 117\text{kN}$	L45x5	M22 – ISSO Class 10.9	$\gamma_{a1} := 1.1$
$T_{\text{diagonal.s}} := 58\text{kN}$	L60x4	$f_{yb} := 900\text{MPa}$	$\gamma_{a2} := 1.35$
$V_{\text{travessa.i}} := 510\text{kN}$	CVS 600x190	$f_{ub} := 1000\text{MPa}$	$\gamma_e := 1.20$
$V_{\text{travessa.s}} := 55\text{kN}$	CVS 300x27	$d_b := 24\text{mm}$	$\gamma_{w1} := 1.25$
		$d_0 := 26\text{mm}$	$\gamma_{w2} := 1.35$
		$A_b := \frac{\pi \cdot d_b^2}{4} = 452.389\text{mm}^2$	$\phi_c := 1.5$
		$A_{be} := 0.75A_b = 339.292\text{mm}^2$	$\phi_v := 0.4$

Distância das bordas: $e_1 := 1.1d_0 = 28.6\text{mm}$ $e_{1w} := 30\text{mm}$

Distância entre furos: $p_1 := 2.2d_0 = 0.057\text{m}$ $p_{1w} := 60\text{mm}$



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

15.1 Tração L100x100x6

$b_{f1} := 110\text{mm}$ $t_1 := 6\text{mm}$ Aço ASTM A588 $f_y = 345\text{MPa}$ $f_u = 480\text{MPa}$

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

Pressão de Contato no furo de 01 parafuso: $F_{c.Rd} := 2 \frac{\phi_c \cdot t_1 \cdot e_1 \cdot f_u}{\gamma_{a2}} = 192\text{kN}$

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

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

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

$$A_g := 580\text{mm}^2$$

$$A_{\text{net}} := A_g - d_0 \cdot t_1 = 424\text{mm}^2$$

$$N_{tRd} := \min \left(\frac{2C_t \cdot A_{\text{net}} \cdot f_u}{\gamma_{a2}}, \frac{2A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \right) = 257.54\text{kN}$$



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

15.2 Tração L110x110x10

$b_{f1} := 110\text{mm}$ $t_{f1} := 10\text{mm}$ Aço ASTM A588 $f_y = 345\text{MPa}$ $f_u = 480\text{MPa}$

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

Pressão de Contato no furo de 01 parafuso: $F_{c,Rd} := 2 \frac{\phi_c \cdot t_{f1} \cdot e_1 \cdot f_u}{\gamma_{a2}} = 320\text{kN}$

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

15.3 Cisalhamento CVS 600x210

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

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

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

Quantidade de Parafusos: $n_{\text{parafusos}} := \text{Ceil} \left[\left(\frac{V_{\text{travessa.i}}}{\min(F_{v,Rd}, F_{c,Rd})} \right), 1 \right] = 6$



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

Resistência à tração do elemento:

$$e_{av} := 15 \text{ cm} \quad l_{av} := n_{\text{parafusos}} \cdot p_1 = 360 \text{ mm}$$

$$C_t := \min \left(0.9, 1 - \frac{e_c}{l_c} \right) = 0.583$$

$$A_g := b_{f1} \cdot t_1 = 1.1 \times 10^3 \cdot \text{mm}^2$$

$$A_{net} := A_g - d_0 \cdot t_1 = 840 \text{ mm}^2$$

$$N_{tRd} := \min \left(\frac{C_t \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{a2}}, \frac{A_g \cdot f_y}{\gamma_{a1}} \right) = 174.222 \text{ kN}$$



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

15.4 Cisalhamento CVS400x113

$h_{ww} := 300\text{mm}$ $t_{ww} := 9.5\text{mm}$ Aço ASTM A588 $f_y = 345\text{MPa}$ $f_u = 480\text{MPa}$

Resistência ao Cisalhamento de 01 parafuso: $F_{v,Rd} := \frac{\phi_v \cdot A_{be} \cdot f_{ub}}{\gamma_{a2}} = 100.53\text{ kN}$

Pressão de Contato no furo de 01 parafuso: $F_{c,Rd} := \frac{\phi_c \cdot t_w \cdot e_1 \cdot f_u}{\gamma_{a2}} = 152\text{ kN}$

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



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

16. Enrijecedor de Apoio

Reação máxima de cálculo no apoio de cada viga:

$$R_{sd1} := 3410 \text{ kN} = 3410 \cdot \text{kN}$$

$$b_{s1} := 400 \text{ mm} \quad t_{s1} := 44 \text{ mm}$$

$$t_{w1} := 22.4 \text{ mm} \quad d_1 := 600 \text{ mm}$$

$$E_a := 200 \text{ GPa}$$

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

$$\text{Largura do enrijecedor} \quad b_{sa} = 160 \text{ mm} < \frac{b_{s1}}{2} - \frac{t_{s1}}{2} - 1 \text{ cm} = 168 \text{ mm}$$

$$\text{Espessura do enrijecedor} \quad t_{sa} = 40 \text{ mm} > \frac{b_{sa}}{0.48 \cdot \sqrt{\frac{E_a}{f_y}}} = 13.844 \text{ mm}$$

$$A_{sa} := b_{sa} \cdot t_{sa} + 12 t_{w1} \cdot t_{w1}$$

$$A_{sa} = 124.211 \text{ cm}^2$$



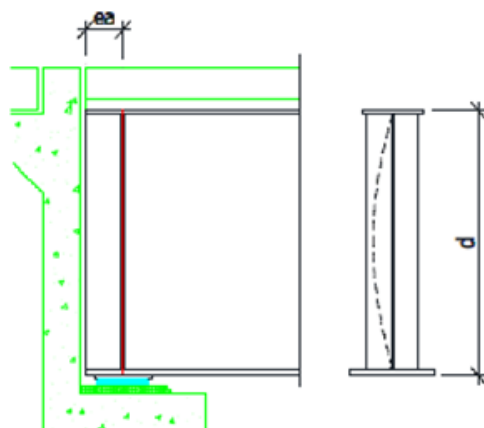
Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

$$I_{sa} := \frac{[12t_{w1} \cdot (t_{w1})^3 + t_{sa} \cdot (2b_{sa})^3]}{12}$$

$$I_{sa} = 1.095 \times 10^4 \cdot \text{cm}^4$$

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

$$r_{sa} = 9.388 \text{ cm}$$



Verificação do esmagamento:

$$Re_{rd} := \frac{1.8t_{sa} \cdot 2(b_{sa} - 3t_{w1}) \cdot f_y}{1.35}$$

$$Re_{rd} = 3415.04 \text{ kN} > R_{sd1} = 3410 \text{ kN}$$



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

Verificação das resistências à compressão:

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

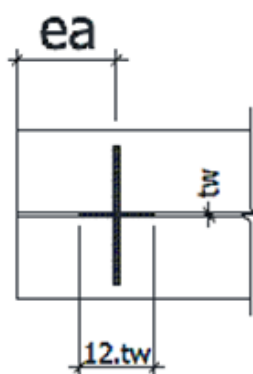
$$\lambda_0 = 0.063$$

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

$$\chi = 0.99832$$

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

$$R_{c_{rd}} = 3889.2 \text{ kN}$$



$$\frac{R_{sd1}}{R_{c_{rd}}} = 0.88 < 1 \rightarrow \text{Ok}$$

--> Usar 2 chapas de 250x512x40cm



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

17. Enrijecedor da Diagonal

Reação máxima de cálculo no apoio de cada viga:

$$R_{sd1} := 2500 \text{ kN} = 2500 \cdot \text{kN}$$

$$b_{s1} := 400 \text{ mm}$$

$$t_{s1} := 25 \text{ mm}$$

$$t_{w1} := 22.4 \text{ mm}$$

$$d_1 := 550 \text{ mm}$$

$$E_a := 200 \text{ GPa}$$

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

Largura do enrijecedor $b_{sa} := 160 \text{ mm}$ < $\frac{b_{s1}}{2} - \frac{t_{s1}}{2} - 1 \text{ cm} = 177.5 \text{ mm}$

Espessura do enrijecedor $t_{sa} := 40 \text{ mm}$ > $\frac{b_{sa}}{0.48 \sqrt{\frac{E_a}{f_y}}} = 13.844 \text{ mm}$

$$A_{sa} := b_{sa} \cdot t_{sa} + 12 t_{w1} \cdot t_{w1}$$

$$A_{sa} = 124.211 \cdot \text{cm}^2$$

$$I_{sa} := \frac{12 t_{w1} \cdot (t_{w1})^3 + t_{sa} \cdot (2 b_{sa})^3}{12}$$

$$I_{sa} = 1.095 \times 10^4 \cdot \text{cm}^4$$

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

$$r_{sa} = 9.388 \cdot \text{cm}$$



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

Verificação do esmagamento:

$$R_{e_{rd}} := \frac{1.8 t_{sa} \cdot 2(b_{sa} - 3t_{w1}) \cdot f_y}{1.35}$$

$$R_{e_{rd}} = 3415.04 \text{ kN} > R_{sd1} = 2500 \text{ kN}$$

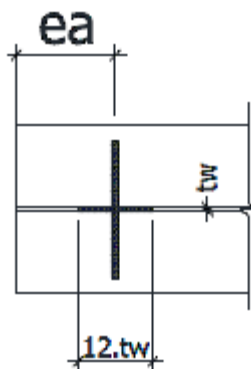
Verificação das resistências à compressão:

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

$$\lambda_0 = 0.058$$

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

$$\chi = 0.99859$$



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

$$R_{c_{rd}} = 3890.2 \text{ kN}$$

$$\frac{R_{sd1}}{R_{c_{rd}}} = 0.64 < 1 \text{ ---> Ok}$$

--> Usar 2 chapas de 160x512x30cm



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

18. Conectores de Cisalhamento

Dimensões dos perfis

Perfil:

$$d_1 := 600\text{mm}$$

$$t_{w1} := 16\text{mm}$$

$$b_{s1} := 400\text{mm}$$

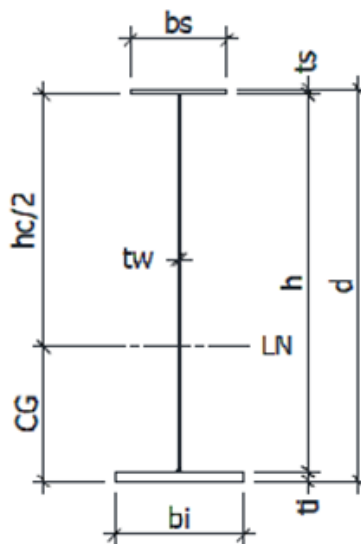
$$b_{i1} := 400\text{mm}$$

$$t_{s1} := 22.4\text{mm}$$

$$t_{i1} := 22.4\text{mm}$$

$$hh(i) := d_i - t_{i1} - t_{s1}$$

$$h_{i1} := hh(1) = 555.2\text{mm}$$



Proporções limites recomendadas:

Alma das Vigas

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

$$\frac{h_1}{t_{w1}} = 34.7$$

< 150 sem enrijecedor longitudinal

< 300 com enrijecedor longitudinal



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

Mesas comprimidas e tracionadas

$$b_{s1} = 400 \text{ mrr} > \frac{h_1}{6} = 92.533 \text{ mrr}$$

$$b_{i1} = 400 \text{ mrr} > \frac{h_1}{6} = 92.533 \text{ mrr}$$

$$\frac{b_{s1}}{2t_{s1}} = 8.929 < 12$$

$$\frac{b_{i1}}{2t_{i1}} = 8.929 < 12$$

$$t_{s1} = 22.4 \text{ mrr} > 1.1t_{w1} = 17.6 \text{ mrr}$$

$$t_{i1} = 22.4 \text{ mrr} > 1.1t_{w1} = 17.6 \text{ mrr}$$



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

Propriedades do perfil de aço – Formulário

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

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

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

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

$$+ \left(\frac{h_i}{2} + t_{i_i} - CG(i)\right) \cdot h_i \cdot t_{w_i}$$

$$WS(i) := \frac{Ix(i)}{d_i - CG(i)}$$

$$WI(i) := \frac{Ix(i)}{CG(i)}$$

$$Rx(i) := \sqrt{\frac{Ix(i)}{a(i)}}$$

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

$$Iyc(i) := \frac{t_{s_i} \cdot (b_{s_i})^3}{12}$$

$$Wy(i) := \frac{Iy(i)}{\frac{b_{i_i}}{2}}$$

$$Ry(i) := \sqrt{\frac{Iy(i)}{a(i)}}$$

$$Wbi(i) := \frac{t_{i_i} \cdot (b_{i_i})^2}{6}$$

$$Iyt(i) := \frac{t_{i_i} \cdot (b_{i_i})^3}{12}$$

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

$$R_{yt}(i) := \sqrt{\frac{Iyt(i)}{a(i)}}$$

inea instituto estadual
do ambiente

Secretaria do
Ambiente e
Sustentabilidade



GOVERNO DO ESTADO
RIO DE JANEIRO



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.



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

Propriedades dos perfis de aço

PERFIL 01

Área

$$A_1 := a(1) = 268.032 \cdot \text{cm}^2$$

Altura da alma

$$h_1 = 555.2 \cdot \text{mm}$$

Centro de gravidade

$$cg_1 := CG(1) = 30 \cdot \text{cm}$$

Altura comprimida da alma x 2

$$h_{c1} := hc(1) = 55.52 \cdot \text{cm}$$

Momento de inércia X

$$I_{x1} := Ix(1) = 1.724 \times 10^5 \cdot \text{cm}^4$$

Módulo elástico superior X

$$W_{Sx1} := WS(1) = 5.745 \times 10^3 \cdot \text{cm}^3$$

Módulo elástico inferior X

$$W_{Ix1} := WI(1) = 5.745 \times 10^3 \cdot \text{cm}^3$$

Raio de giração X

$$r_{x1} := Rx(1) = 25.358 \cdot \text{cm}$$

Momento de inércia Y

$$I_{y1} := Iy(1) = 2.391 \times 10^4 \cdot \text{cm}^4$$

Inércia Y da mesa comprimida

$$I_{yc1} := Iyc(1) = 1.195 \times 10^4 \cdot \text{cm}^4$$

Inércia Y da mesa tracionada

$$I_{yt1} := Iyt(1) = 1.195 \times 10^4 \cdot \text{cm}^4$$



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

Módulo elástico Y $W_{y_1} := W_y(1) = 1.196 \times 10^3 \cdot \text{cm}^3$

Raio de giração Y $r_{y_1} := R_y(1) = 9.445 \cdot \text{cm}$

Raio de giração comprimido Yc $r_{yc_1} := R_{yc}(1) = 0.067 \text{ m}$

Raio de giração tracionado Yc $r_{yt_1} := R_{yt}(1) = 0.067 \text{ m}$

0,1 < Iyc/Iyt < 9 $\frac{I_{yc_1}}{I_{yt_1}} = 1$



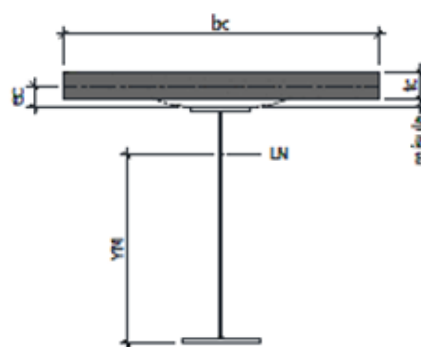
Governo do Estado do Rio de Janeiro
 Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
 Instituto Estadual do Ambiente - INEA
 Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

Propriedades da seção mista de aço e concreto - formulário

Largura efetiva da mesa de concreto

$$b_c(i) := 2.70 \text{ m}$$

Vão 01 $b_{c1} := b_c(1) = 2.7 \text{ m}$



$$t_c = 30 \text{ cm} \quad \text{misula} := 0 \text{ cm} \quad e_{cg} := \frac{(t_c)}{2} + \text{misula} \quad e_c = 15 \text{ cm}$$

Relação E_a/E_c para:

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

$$N_1 := n \quad N_2 := 3n$$

$$YM(i, k) := \frac{\frac{b_{c_k}}{N_1} \cdot t_c \cdot (e_c + d_i) + a(i) \cdot CG(i)}{\frac{b_{c_k}}{N_1} \cdot t_c + a(i)} \quad YMF(i, k) := \frac{\frac{b_{c_k}}{N_2} \cdot t_c \cdot (e_c + d_i) + a(i) \cdot CG(i)}{\frac{b_{c_k}}{N_2} \cdot t_c + a(i)}$$



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

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

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

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

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

$$WIM(i, k) := \frac{IM(i, k)}{YM(i, k)}$$

$$WIMF(i, k) := \frac{IMF(i, k)}{YMF(i, k)}$$

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

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



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

Propriedades das seções mistas de aço e concreto:

Perfil 01 - Vão 01

Relação $n = E_a/E_c$ inicial

$$N_1 = 6.643$$

$$Y_{m1} := YM(1, 1) = 0.669m$$

$$I_{m1} := IM(1, 1) = 7.087 \times 10^5 \cdot cm^4$$

$$W_{sm1} := WSM(1, 1) = -1.029 \times 10^5 \cdot cm^3$$

$$W_{im1} := WIM(1, 1) = 1.06 \times 10^4 \cdot cm^3$$

$$W_{c1} := WC(1, 1) = 2.037 \times 10^5 \cdot cm^3$$

Relação $n = E_a/E_c$ para longa duração

$$N_2 = 19.93$$

$$Y_{mf1} := YMF(1, 1) = 0.571m$$

$$I_{mf1} := IMF(1, 1) = 5.299 \times 10^5 \cdot cm^4$$

$$W_{smf1} := WSMF(1, 1) = 1.838 \times 10^5 \cdot cm^3$$

$$W_{imf1} := WIMF(1, 1) = 9.278 \times 10^3 \cdot cm^3$$

$$W_{cf1} := WCF(1, 1) = 3.212 \times 10^5 \cdot cm^3$$

$$QCM_{01} := 180kN$$

$$I_{m1} = 708749.319cm^4$$

$$m_0 := \frac{(b_{c1} \cdot t_c)}{N_1} \cdot (d_1 + e_c - Y_{m1})$$

$$m_0 = 9.888 \times 10^3 \cdot cm^3$$

Cisalhamento horizontal /cm:

$$S_{r0} := \frac{\begin{cases} 1.5 \cdot QCM_{01} & \text{if } N_c \geq 6 \times 10^6 \cdot m_0 \\ (0.5 QCM_{01}) & \text{otherwise} \end{cases}}{I_{m1}}$$

$$S_{r0} = 1.256 \cdot \frac{kN}{cm}$$

Número de studs / grupo afastado de:

$$esp_{01} := 20cm$$

$\leq 60cm$ -- OK

$$n0s_1 := \frac{esp_{01} \cdot S_{r0}}{Z_r} \quad n0s_1 = 1.68$$

$$n0s_1 := \text{ceil} \left(\frac{esp_{01} \cdot S_{r0}}{Z_r} \right)$$

$$n0s_1 = 2$$

--> Usar grupos de 2 studs diam. 19mmx120mm afastados de 20cm



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

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

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

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

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

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

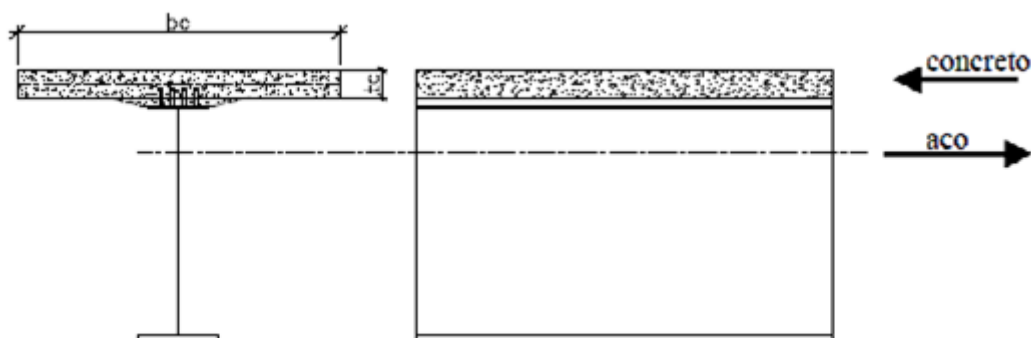
Número máximo de conectores/seção $\text{ceil} \left(\frac{b_{s_1} - 2s_{t.min}}{s_{t.min}} \right) = 4$

$l_{vão} := 11.50 \text{m}$



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

Verificação da quantidade mínima de conectores (interação total)



Resistência última do perfil de aço:

$$T_{ad} := A_1 \cdot f_y$$

$$T_{ad} = 9247.1 \cdot \text{kN}$$

Resistência última da laje de concreto:

$$C_{cd} := 0.85 \cdot f_{ck} \cdot b_{c1} \cdot t_c$$

$$C_{cd} = 27540 \cdot \text{kN}$$

$$\min(T_{ad}, C_{cd}) = 9247.1 \cdot \text{kN}$$



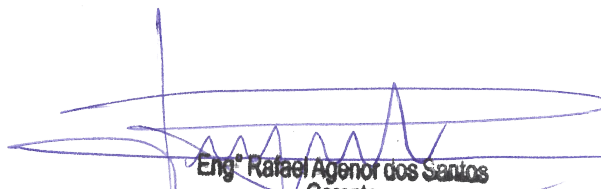
Governo do Estado do Rio de Janeiro
Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade - SEAS
Instituto Estadual do Ambiente - INEA
Diretoria de Recuperação Ambiental - DIRRAM

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

$$N_{s.min} := \frac{\min(T_{ad}, C_{cd})}{Q_{rd}} \quad N_{s.min} = 98 \quad \text{STUDs}$$

Número de conectores dimensionados pela fadiga em toda a viga:

$$N_{STUDS} := \text{floor} \left(\frac{l_{vão}}{esp_{01}} \cdot n_{0s1} \right) \quad N_{STUDS} = 115 \quad \text{STUDs} > N_{s.min} \text{ -- OK}$$


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