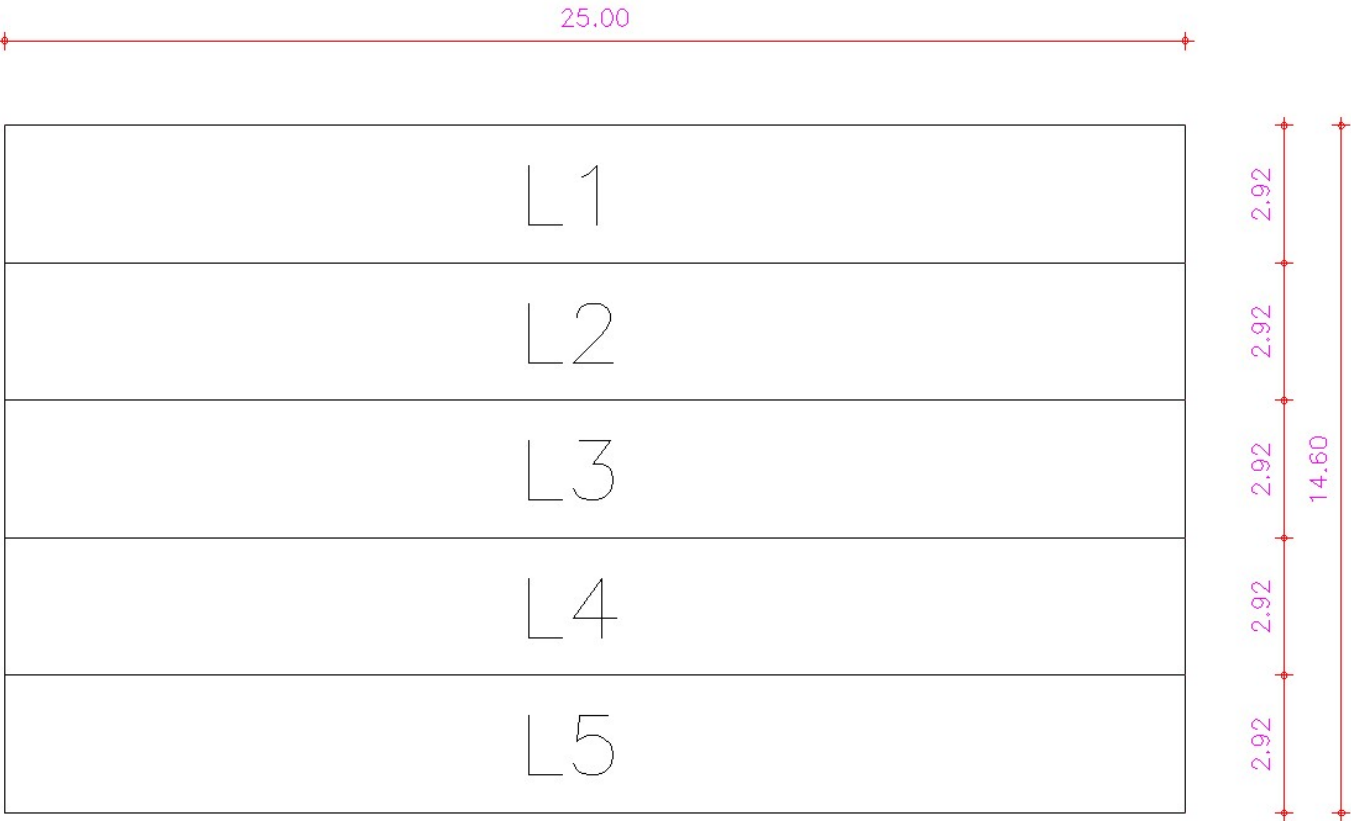


TABULEIRO

DETERMINAR A DIMENSÃO DE CADA LAJE



L1 : 25m X 2,92m  
L2 : 25m X 2,92m  
L3 : 25m X 2,92m  
L4 : 25m X 2,92m  
L5 : 25m X 2,92m

VARIÁVEIS DAS DIMENSÕES

LAJES CENTRAIS

L1X := 25 m      L2X := 25 m      L3X := 25 m      L4X := 25 m      L5X := 25 m  
L1Y := 2,92 m      L2Y := 2,92 m      L3Y := 2,92 m      L4Y := 2,92 m      L5Y := 2,92 m

DETERMINAÇÃO DOS ENGASTES / APOIOS / BORDAS LIVRES

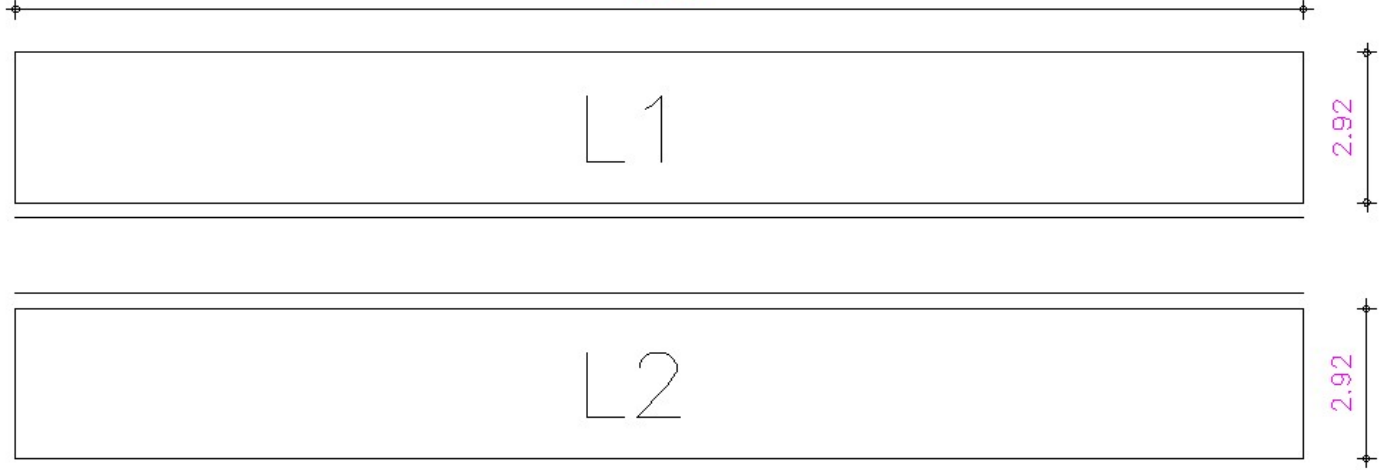
LAJE L1 E L2

LAJE L1 E L2

```
if L1X < L2X
  D1 := L2X
  D2 := L1X
else
  D1 := L1X
  D2 := L2X

if D2 ≥ (1/3) · D1
  R := "L1 ENGASTA EM L2 E L2 ENGASTA EM L1"
else
  R := "L1 APOIA NA VIGA E L2 ENGASTA EM L1"

R = "L1 ENGASTA EM L2 E L2 ENGASTA EM L1"
```



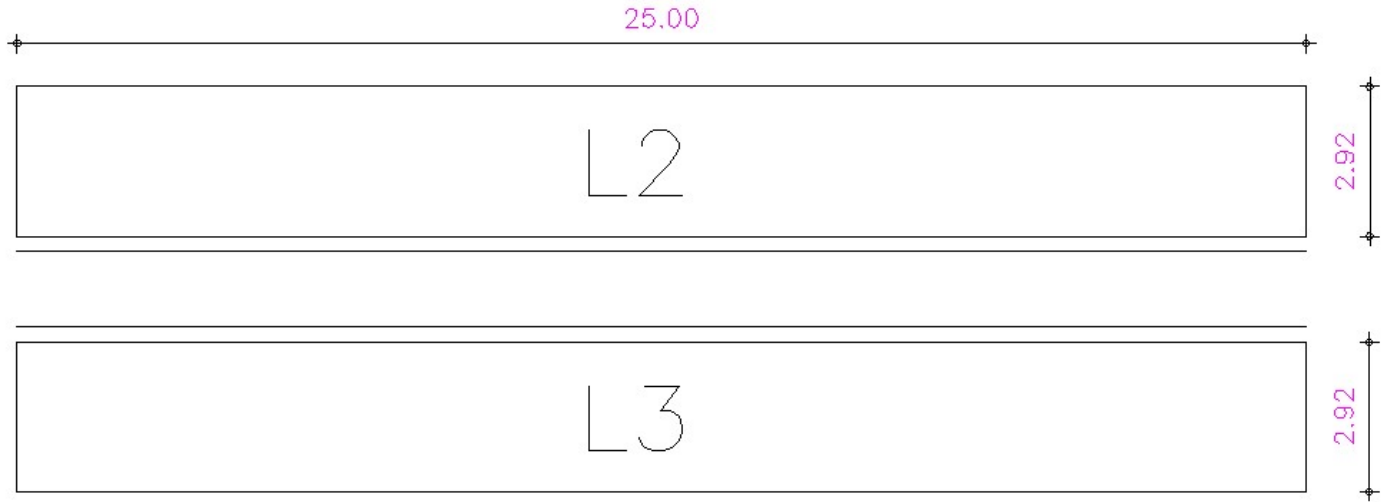
LAJE L2 E L3

LAJE L2 E L3

```
if L2X < L3X
  D1 := L3X
  D2 := L2X
else
  D1 := L2X
  D2 := L3X

if D2 ≥ (1/3) · D1
  R := "L2 ENGASTA EM L3 E L3 ENGASTA EM L2"
else
  R := "L2 APOIA NA VIGA E L3 ENGASTA EM L2"

R = "L2 ENGASTA EM L3 E L3 ENGASTA EM L2"
```



LAJE L3 E L4

LAJE L4 E L5

CARGA PERMANENTE

DADOS INICIAIS

$\gamma_{conc} := 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$\gamma_{pav} := 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$	$g_{recap} := 2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
$L := 25 \text{ m}$	$L_t := 14,6 \text{ m}$	$L_{t_{aux}} := 2,92 \text{ m}$
$H_{laje} := 0,20 \text{ m}$	$E_{med} := 0,04 \text{ m}$	$E_{Passeio} := 0,04 \text{ m}$
$E_{pav} := 0,04 \text{ m}$		

**CÁLCULOS INICIAIS**

$$A_{def} := 0,28 \text{ m}^2$$

$$Q_{def} := \frac{\gamma_{conc} \cdot A_{def} \cdot 1 \text{ m}}{L \cdot Lt_{aux}} = 0,0959 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$PP_{passeio1} := \frac{EP_{passeio} \cdot 2,5 \text{ m} \cdot L \cdot \gamma_{conc}}{L \cdot Lt_{aux}} = 0,8562 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$PP_{passeio2} := \frac{EP_{passeio} \cdot 2,92 \text{ m} \cdot L \cdot \gamma_{conc}}{L \cdot Lt_{aux}} = 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$PP_{passeio3} := \frac{EP_{passeio} \cdot 0,08 \text{ m} \cdot L \cdot \gamma_{conc}}{L \cdot Lt_{aux}} = 0,0274 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$PP_{Ciclovía} := \frac{E_{med} \cdot 2,70 \text{ m} \cdot L \cdot \gamma_{pav}}{L \cdot Lt_{aux}} = 0,8877 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$PP_{Laje1} := \frac{H_{laje} \cdot \gamma_{conc}}{2} = 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$PP_{faixa1} := \frac{E_{pav} \cdot 2,92 \text{ m} \cdot L \cdot \gamma_{pav}}{L \cdot Lt_{aux}} = 0,96 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$PP_{faixa2} := \frac{E_{pav} \cdot 2,92 \text{ m} \cdot L \cdot \gamma_{pav}}{L \cdot Lt_{aux}} = 0,96 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$PP_{faixa3} := \frac{E_{pav} \cdot 0,42 \text{ m} \cdot L \cdot \gamma_{pav}}{L \cdot Lt_{aux}} = 0,1381 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$PP_{faixa4} := \frac{E_{pav} \cdot 0,14 \text{ m} \cdot L \cdot \gamma_{pav}}{L \cdot Lt_{aux}} = 0,046 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$CP11 := PP_{passeio1} + PP_{faixa3} + Q_{def} = 1,0901 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$CP12 := PP_{faixa1} = 24 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$CP13 := PP_{faixa2} = 0,96 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$CP14 := PP_{faixa4} + PP_{Ciclovía} + PP_{passeio3} = 0,9611 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$CP15 := PP_{passeio2} + Q_{def} = 1,0959 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

☐ — CÁLCULO DOS COEFICIENTES PARA A DETERMINAÇÃO DAS TABELAS DE RÜSCH e Dimensionamento —

$$b := 0,5 \text{ m} \quad a := 2 \text{ m} \quad \varphi := 1,602$$

$$T := \sqrt{(0,2 \text{ m} \cdot b)} + (2 \cdot E_{pav}) + H_{laje} = 0,5962 \text{ m}$$

☐ — Laje1 —

$$L1X = 25 \text{ m} \quad L1Y = 2,92 \text{ m}$$

— tabelas —

Dimensões: Vinculações:

$l_x = 2,92$  m Borda superior: Apoiada

$l_y = 25,00$  m Borda inferior: Apoiada

$t = 0,5962$  m Borda esquerda: Apoiada

$a = 2$  m Borda direita: Engastada

Direção do tráfego: ☒  $\updownarrow$  ☐  $\leftrightarrow$

Coefficiente de Impacto ( $\psi$ ):

**Calcular** Mxm Mym Mxe

$l_x/a$	$t/a$				Para todos os valores de $t/a$	
	0,125	0,250	0,5	1,0	$p$	$p'$
0,5	0,24	0,2	0,121	0,082	0,0	0,09
1,0	0,36	0,32	0,225	0,17	0,0	0,18
1,5	0,54	0,51	0,4	0,34	0,02	0,3
2,0	0,73	0,71	0,57	0,53	0,08	0,6
2,5	0,88	0,86	0,73	0,7	0,12	1,11
3,0	1,01	1,0	0,9	0,87	0,2	2,0
4,0	1,21	1,2	1,13	1,11	0,55	4,3
5,0	1,36	1,35	1,31	1,3	0,93	7,0
6,0	1,47	1,46	1,44	1,42	1,05	10,8
7,0	1,55	1,54	1,53	1,52	2,35	16,0
8,0	1,6	1,6	1,6	1,58	3,3	22,1
9,0	1,63	1,63	1,63	1,61	4,3	28,3
10,0	1,65	1,65	1,65	1,62	5,45	35,6

**Resultados:**  
Tabela Utilizada: 87

**Cargas Móveis:**  
 $M_L = 0,47$   
 $M_P = 0,02$   
 $M_{xe} = -59,33$  kN.m/m

**Cargas Permanentes:**  
 $k_{oe} = 0,06$   
 $M_{xe} = 0,59$  kN.m/m

Dimensões: Vinculações:

$l_x = 2,92$  m Borda superior: Apoiada

$l_y = 25,00$  m Borda inferior: Apoiada

$t = 0,5962$  m Borda esquerda: Apoiada

$a = 2$  m Borda direita: Engastada

Direção do tráfego: ☒  $\updownarrow$  ☐  $\leftrightarrow$

Coefficiente de Impacto ( $\psi$ ):

**Calcular** Mxm Mym Mxe

$l_x/a$	$t/a$				Para todos os valores de $t/a$	
	0,125	0,250	0,5	1,0	$p$	$p'$
0,5	0,115	0,058	0,024	0,008	0,0	0,0
1,0	0,16	0,102	0,061	0,035	0,0	0,0
1,5	0,229	0,169	0,105	0,085	0,0	0,01
2,0	0,299	0,236	0,152	0,138	0,0	0,07
2,5	0,354	0,289	0,203	0,176	0,0	0,17
3,0	0,397	0,338	0,253	0,227	0,0	0,24
4,0	0,478	0,428	0,348	0,326	0,06	0,73
5,0	0,55	0,51	0,433	0,412	0,15	1,31
6,0	0,63	0,59	0,51	0,496	0,34	2,09
7,0	0,69	0,66	0,59	0,57	0,55	3,15
8,0	0,74	0,72	0,65	0,63	0,78	4,3
9,0	0,79	0,77	0,7	0,68	1,06	5,47
10,0	0,84	0,81	0,74	0,72	1,38	6,78

**Resultados:**  
Tabela Utilizada: 87

**Cargas Móveis:**  
 $M_L = 0,15$   
 $M_P = 0,00$   
 $M_{xm} = 18,28$  kN.m/m

**Cargas Permanentes:**  
 $k_{um} = 0,06$   
 $M_{xm} = 0,58$  kN.m/m

Dimensões: Vinculações:

$l_x = 2,92$  m Borda superior: Apoiada

$l_y = 25,00$  m Borda inferior: Apoiada

$t = 0,5962$  m Borda esquerda: Apoiada

$a = 2$  m Borda direita: Engastada

Direção do tráfego: ☒  $\updownarrow$  ☐  $\leftrightarrow$

Coefficiente de Impacto ( $\psi$ ):

**Calcular** Mxm Mym Mxe

$l_x/a$	$t/a$				Para todos os valores de $t/a$	
	0,125	0,250	0,5	1,0	$p$	$p'$
0,5	0,148	0,1	0,068	0,038	0,0	0,0
1,0	0,21	0,149	0,1	0,079	0,0	0,0
1,5	0,309	0,268	0,232	0,21	0,0	0,08
2,0	0,421	0,393	0,361	0,34	0,0	0,4
2,5	0,51	0,486	0,45	0,428	0,0	0,99
3,0	0,58	0,55	0,51	0,48	0,0	1,6
4,0	0,69	0,66	0,6	0,58	0,05	3,35
5,0	0,77	0,75	0,68	0,65	0,16	5,38
6,0	0,85	0,82	0,76	0,73	0,3	8,1
7,0	0,91	0,88	0,82	0,79	0,5	11,8
8,0	0,96	0,94	0,88	0,84	0,7	16,0
9,0	1,0	0,99	0,92	0,89	0,95	20,1
10,0	1,04	1,03	0,96	0,94	1,18	24,8

**Resultados:**  
Tabela Utilizada: 87

**Cargas Móveis:**  
 $M_L = 0,25$   
 $M_P = 0,00$   
 $M_P = 0,07$   
 $M_{ym} = 30,75$  kN.m/m

**Cargas Permanentes:**  
 $k_{ym} = 0,01$   
 $M_{ym} = 0,10$  kN.m/m

## Armaduras Principal

$$M_{xm q} := 30,75 \cdot (\text{kN m}) \quad M_{xm g} := 0,1 \cdot (\text{kN m})$$

### Cálculo do momento de desing

$$M_{xm q d} := M_{xm q} \cdot 1,5 = 46,125 (\text{kN m}) \quad M_{xm g d} := 1,35 \cdot M_{xm g} = 0,135 \text{ kN m}$$

$$M_{xmd} := M_{xm q d} + M_{xm g d} = 46,26 \text{ kN m}$$

### Cálculo da área de aço:

$$b_w := 100 \text{ cm} \quad d' := 5 \text{ cm} \quad f_{ck} := 30 \text{ MPa} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad f_{yk} := 500 \text{ MPa} = 50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$d := H_{laje} - d' = 15 \text{ cm}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{1,4}$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{1,15}$$

$$M_{xmd} = 46,26 \text{ kN m}$$

### Cálculo da ductilidade $\xi$ da seção transversal

$$a := 0,4$$

$$b := -1$$

$$c := \frac{M_{xmd}}{(0,68 \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd})} = 0,1411$$

$$\text{delta} := b^2 - 4 \cdot a \cdot c = 0,7742$$

$$\text{if } \text{delta} < 0 \quad = \text{"Ok"}$$

"Seção Inválida"

else

"Ok"

$$\text{raiz}_1 := \frac{(-b + \sqrt{\text{delta}})}{(2 \cdot a)} = 2,3499$$

$$\text{raiz}_2 := \frac{(-b - \sqrt{\text{delta}})}{(2 \cdot a)} = 0,1501$$

$$\text{epsilon} := \min \left( \left[ \text{raiz}_1 \quad \text{raiz}_2 \right] \right) = 0,1501$$

### Verificação de necessidade de armadura dupla

$$\text{if } \text{epsilon} \leq 0,45 = \text{"okay"}$$

"okay"

else

"não okay"

### Posição da Linha Neutra:

$$x := \text{epsilon} \cdot d = 2,2517 \text{ cm}$$

$$y := 0,8 \cdot x = 1,8013 \text{ cm}$$

**Definição dos Domínios:**

```

Dominio := ""
if epslon < 0                                     = "Dominio 2"
  "Dominio 1"
else
  if (((0 < epslon)) ∧ (epslon ≤ 0,259))
    "Dominio 2"
  else
    if (((0,259 < epslon)) ∧ (epslon ≤ 0,450))
      "Dominio 3a"
    else
      if (((0,450 < epslon)) ∧ (epslon ≤ 0,628))
        "Dominio 3b"
      else
        if (((0,628 < epslon)) ∧ (epslon ≤ 1))
          "Dominio 4"
        else
          "Dominio 5"

```

**Área de Aço:**

$bitola := 12,5 \text{ mm}$

$$A_s := \frac{Mxmd}{(fyd \cdot (d - 0,4 \cdot x))} = 7,55 \text{ cm}^2$$

$$taxa\_armadura := \frac{0,208}{100} = 0,0021$$

$$A_{s,min} := taxa\_armadura \cdot bw \cdot (d + d') = 4,16 \text{ cm}^2$$

$$area\_bitola := \pi \cdot \frac{(bitola^2)}{4} = 0,0001 \text{ m}^2$$

$$num\_bitolas := \frac{A_s}{area\_bitola} = 6,15$$

$$casas\_decimais := \text{mod}(num\_bitolas; 1) = 0,1493$$

$$\text{if } casas\_decimais \leq 0,5$$

$$Num\_bitolasadotadas := num\_bitolas + (1 - casas\_decimais)$$

$$\text{else}$$

$$Num\_bitolasadotadas := \text{round}(num\_bitolas; 0)$$

$$Num\_bitolasadotadas = 7$$

**Espaçamento**

$$Comprimento := Lly \quad Num\_espaçamento := Num\_bitolasadotadas - 1 = 6$$

$$Espaçamento := Num\_espaçamento \cdot Comprimento = 17,52 \text{ m}$$

$$EspaçamentoReal := \frac{Comprimento}{Espaçamento} \cdot 100 = 16,67 \quad \text{Espaçamentoadotado} := 16,5 \text{ cm}$$

**Espaçamento máximo**

```

if Hlaje · 2 > 20 cm
    Smax := 20 cm
else
    Smax := Hlaje · 2

Smax = 20 cm

if Espaçamentoadotado > Smax
    Espaçamentoadotado := Smax

Espaçamentoadotado = 16,5 cm

```

**Numero de bitolas totais**

$$NumbitolasT := \frac{Comprimento}{Espaçamentoadotado} = 18$$

**COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)**  
 6118 – 2023

**9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração**

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2 \phi$ ;
- b) em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4 \phi$ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8 \phi$ .

**Logo**

```
Comprimento ancoragem := 8 · bitola = 10 cm
```

**VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA**

$$\begin{aligned}
 Mminq &:= Mxm q \cdot 0 & Mming &:= Mxm g & Mmaxq &:= Mxm q \cdot 0,8 & Mmaxg &:= Mxm g \\
 Mxmin_{freq} &:= Mminq + Mming = 0,1 \text{ kN m} & Mxmax_{freq} &:= Mmaxq + Mmaxg = 24,7 \text{ kN m} \\
 \Delta M_{freq} &:= Mxmax_{freq} - Mxmin_{freq} = 24,6 \text{ kN m}
 \end{aligned}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{Espaçamentoadotado} = 6,0606 \quad area\_bitola = 0,0001 \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$As_f := NB \cdot area\_bitola = 7,4375 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

**posição da linha neutra**

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot As_f + \sqrt{(As_f \cdot \alpha_e)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 4,0381 \text{ cm}$$

## Momento de Inércia

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + ae \cdot As_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 11131,9968 \text{ cm}^4$$

## Variação máxima de tensão

$$\Delta\sigma S_s := ae \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 242,2422 \text{ MPa}$$

```

if ΔσSs ≤ 190 MPa = "Não Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"

```

```
Num_bitolasadotadas := 9
```

## Espaçamento

```
Comprimento := L1Y          Num_espaçamento := Num_bitolasadotadas - 1 = 8
```

```
Espaçamento := Num_espaçamento · Comprimento = 23,36 m
```

```
EspaçamentoReal := Comprimento / Espaçamento · 100 = 12,5
```

```
Espaçamentoadotado := 12,5 cm
```

## Espaçamento máximo

```

if Hlaje · 2 > 20 cm
  Smax := 20 cm
else
  Smax := Hlaje · 2

```

```
Smax = 20 cm
```

```

if Espaçamentoadotado > Smax
  Espaçamentoadotado := Smax

```

```
Espaçamentoadotado = 12,5 cm
```

## Numero de bitolas totais

```
NumbitolasT := Comprimento / Espaçamentoadotado = 23
```

```

COMPIMENTO DE ANCORAGEM(virada)
6118 - 2023

```

## 9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2\phi$ ;
- em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4\phi$ ;
- em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8\phi$ .



Logo

$$\text{Comprimento ancoragem} := 8 \cdot \text{bitola} = 10 \text{ cm}$$

### VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

$$M_{\min q} := M_{xmq} \cdot 0 \quad M_{\min g} := M_{xmg} \quad M_{\max q} := M_{xmq} \cdot 0,8 \quad M_{\max g} := M_{xmg}$$

$$M_{\min_{freq}} := M_{\min q} + M_{\min g} = 0,1 \text{ kN m} \quad M_{\max_{freq}} := M_{\max q} + M_{\max g} = 24,7 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{freq} := M_{\max_{freq}} - M_{\min_{freq}} = 24,6 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{\text{Espaçamento adotado}} = 8 \quad \text{area\_bitola} = 0,0001 \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$A_{s_f} := NB \cdot \text{area\_bitola} = 9,8175 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot A_{s_f} + \sqrt{(\alpha_e \cdot A_{s_f})^2 + 2 \cdot b_w \cdot \alpha_e \cdot d \cdot A_{s_f}}}{b_w} = 4,5333 \text{ cm}$$

Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{b_w \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_{s_f} \cdot (d - x_{ii})^2 = 13860,6564 \text{ cm}^4$$

Variação máxima de tensão

$$\Delta \sigma_{S_s} := \alpha_e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 185,763 \text{ MPa}$$

<pre> if <math>\Delta \sigma_{S_s} \leq 190 \text{ MPa}</math> = "Okay"   m := "Okay" else   m := "Não Okay" </pre>
---

### Verificação e Formação de Fissura

$$\alpha := 1,5 \quad Y_t := \frac{H_{laje}}{2} = 10 \text{ cm} \quad F_{ct} := 0,7 \cdot \left( 0,3 \cdot \left( \sqrt[3]{f_{ck}^2} \right) \right) \cdot \frac{1,7955}{10} = 0,1795$$

$$I_C := \frac{b_w \cdot H_{laje}^3}{12} = 66666,6667 \text{ cm}^4$$

Momento fissuração para lajes

$$M_r := \frac{\alpha \cdot F_{ct} \cdot I_C}{Y_t}$$

$$M_r := 2027,528 \text{ kN cm}$$

Momento fletor máximo meio do vão

$$Md_{rara} := Mxmg + MxmQ = 3085 \text{ kN cm}$$

$$\text{if } Mr < Md_{rara}$$

$m := \text{"Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"}$

else

$m := \text{"não ocorre fissuras"}$

$m = \text{"Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"}$

### Verificação de Abertura de Fissuras

barras nervuradas

$$Md_{freq} := Mxmg + 0,5 \cdot MxmQ = 15,475 \text{ kN m} \quad \alpha_e := 15 \quad \eta_1 := 2,25$$

$$bitola = 12,5 \text{ mm} \quad d' = 5 \text{ cm} \quad Esi := 210 \text{ GPa}$$

$$fct_m := 0,3 \cdot \left( fck \cdot \frac{2}{3} \right)$$

$$fct_m := 0,28964 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{cri} := bw \cdot (d' + 8 \cdot bitola) = 1500 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{cri} := \frac{As_f}{A_{cri}} = 0,6545 \%$$

O cálculo no estágio II (que admite comportamento linear dos materiais e despreza a resistência à tração do concreto) pode ser feito considerando a relação  $\alpha_e$  entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto igual a 15.

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot As_f + \sqrt{(As_f \cdot \alpha_e)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 5,3353 \text{ cm}$$

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot As_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 18817,6179 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{si} := \alpha_e \cdot \left( \frac{Md_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 11,922 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

logo

O valor característico da abertura de fissuras ( $w_k$ ), determinado para cada parte da região de envolvimento, é o menor obtido pelas expressões a seguir.

$$w_k = \frac{\phi_i}{12,5\eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \frac{3\sigma_{Si}}{f_{ct,m}} \quad (8.161)$$

$$w_k = \frac{\phi_i}{12,5\eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \left( \frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right) \quad (8.162)$$

$$wk1 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{Esi} \right) \cdot \left( \frac{3 \cdot \sigma_{si}}{fct_m} \right) = 0,0312 \text{ mm}$$

$$w_{k2} := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \right) \cdot \left( \frac{4}{\rho_{cri}} + 45 \right) = 0,1656 \text{ mm}$$

```

if wk1 < wk2
    wk := wk1
else
    wk := wk2

```

Abertura da fissura

$$\bar{w}_k = 0,0312 \text{ mm}$$

```

if wk < 0,3 mm = "okay"
    "okay"
else
    "não okay"

```

☐ — Armaduras Secundária

$$M_{xm q} := 18,28 \cdot (\text{kN m}) \quad M_{xm g} := 0,58 \cdot (\text{kN m})$$

Cálculo do momento de desing

$$M_{xm qd} := M_{xm q} \cdot 1,5 = 27,42 (\text{kN m})$$

$$M_{xm gd} := 1,35 \cdot M_{xm g} = 0,783 \text{ kN m}$$

$$M_{xmd} := M_{xm qd} + M_{xm gd} = 28,203 \text{ kN m}$$

Cálculo da área de aço:

$$b_w := 100 \text{ cm} \quad d' := 5 \text{ cm} \quad f_{ck} := 30 \text{ MPa} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad f_{yk} := 500 \text{ MPa} = 50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$d := H_{laje} - d' = 15 \text{ cm}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{1,4}$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{1,15}$$

$$M_{xmd} = 28,203 \text{ kN m}$$

Cálculo da ductilidade  $\xi$  da seção transversal

$$a := 0,4$$

$$b := -1$$

$$c := \frac{M_{xmd}}{(0,68 \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd})} = 0,086$$

$$\delta := b^2 - 4 \cdot a \cdot c = 0,8624$$

```

if delta < 0 = "Ok"
    "Seção Inválida"
else
    "Ok"

```

$$raiz_1 := \frac{(-b + \sqrt{\delta})}{(2 \cdot a)} = 2,4108$$

$$raiz_2 := \frac{(-b - \sqrt{\text{delta}})}{(2 \cdot a)} = 0,0892$$

$$\text{epsilon} := \min \left( \left[ \text{raiz}_1 \text{ raiz}_2 \right] \right) = 0,0892$$

Verificação de necessidade de armadura dupla

```
if epsilon ≤ 0,45 = "okay"
    "okay"
else
    "não okay"
```

**Posição da Linha Neutra:**

$$x := \text{epsilon} \cdot d = 1,3381 \text{ cm}$$

$$y := 0,8 \cdot x = 1,0705 \text{ cm}$$

**Definição dos Domínios:**

```
Dominio := ""
if epsilon < 0                                = "Dominio 2"
    "Dominio 1"
else
    if (((0 < epsilon)) ∧ (epsilon ≤ 0,259))
        "Dominio 2"
    else
        if (((0,259 < epsilon)) ∧ (epsilon ≤ 0,450))
            "Dominio 3a"
        else
            if (((0,450 < epsilon)) ∧ (epsilon ≤ 0,628))
                "Dominio 3b"
            else
                if (((0,628 < epsilon)) ∧ (epsilon ≤ 1))
                    "Dominio 4"
                else
                    "Dominio 5"
```

**Área de Aço:**

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

$$A_s := \frac{Mxmd}{(f_yd \cdot (d - 0,4 \cdot x))} = 4,48 \text{ cm}^2$$

$$\text{taxa\_armadura} := \frac{0,208}{100} = 0,0021$$

$$A_{s,min} := \text{taxa\_armadura} \cdot b_w \cdot (d + d') = 4,16 \text{ cm}^2$$

$$\text{area\_bitola} := \pi \cdot \frac{(\text{bitola}^2)}{4} = 7,854 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\text{num\_bitolas} := \frac{A_s}{\text{area\_bitola}} = 5,71$$

$$\text{casas\_decimais} := \text{mod}(\text{num\_bitolas}; 1) = 0,7098$$

```
if casas_decimais ≤ 0,5
    Num_bitolasadotadas := num_bitolas + (1 - casas_decimais)
else
    Num_bitolasadotadas := round(num_bitolas; 0)
```

$$\text{Num\_bitolasadotadas} = 6$$

## Espaçamento

$$\text{Comprimento} := L1X \quad \text{Num\_espaçamento} := \text{Num\_bitolasadotadas} - 1 = 5$$

$$\text{Espaçamento} := \text{Num\_espaçamento} \cdot \text{Comprimento} = 125 \text{ m}$$

$$\text{EspaçamentoReal} := \frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamento}} \cdot 100 = 20 \quad \text{Espaçamentoadotado} := 20 \text{ cm}$$

## Espaçamento máximo

$$\text{if } H\text{laje} \cdot 2 > 20 \text{ cm}$$

$$S_{\max} := 20 \text{ cm}$$

else

$$S_{\max} := H\text{laje} \cdot 2$$

$$S_{\max} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{if } \text{Espaçamentoadotado} > S_{\max}$$

$$\text{Espaçamentoadotado} := S_{\max}$$

$$\text{Espaçamentoadotado} = 20 \text{ cm}$$

## Numero de bitolas totais

$$\text{NumbitolasT} := \frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamentoadotado}} = 125$$

$$\text{COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)} \\ 6118 - 2023$$

### 9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2 \phi$ ;
- em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4 \phi$ ;
- em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8 \phi$ .

## Logo

$$\text{Comprimento ancoragem} := 8 \cdot \text{bitola} = 8 \text{ cm}$$

## VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

$$M_{\min q} := M_{xmq} \cdot 0 \quad M_{\min g} := M_{xmg} \quad M_{\max q} := M_{xmq} \cdot 0,8 \quad M_{\max g} := M_{xmg}$$

$$M_{x\min_{\text{freq}}} := M_{\min q} + M_{\min g} = 0,58 \text{ kN m} \quad M_{x\max_{\text{freq}}} := M_{\max q} + M_{\max g} = 15,204 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{\text{freq}} := M_{x\max_{\text{freq}}} - M_{x\min_{\text{freq}}} = 14,624 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{\text{E espaçamento adotado}} = 5$$

$$\text{area\_bitola} = 7,854 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\alpha e := 10$$

$$As_f := NB \cdot \text{area\_bitola} = 3,927 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha e \cdot As_f + \sqrt{(As_f \cdot \alpha e)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 3,062 \text{ cm}$$

Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha e \cdot As_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 6553,5453 \text{ cm}^4$$

Variação máxima de tensão

$$\Delta \sigma_s := \alpha e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 266,3914 \text{ MPa}$$

```
if Δσs ≤ 190 MPa = "Não Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"
```

$$\text{Num\_bitolas adotadas} := 8$$

Espaçamento

$$\text{Comprimento} := L_{ly} \quad \text{Num\_espaçamento} := \text{Num\_bitolas adotadas} - 1 = 7$$

$$\text{E espaçamento} := \text{Num\_espaçamento} \cdot \text{Comprimento} = 20,44 \text{ m}$$

$$\text{E espaçamento Real} := \frac{\text{Comprimento}}{\text{E espaçamento}} \cdot 100 = 14,29 \quad \text{E espaçamento adotado} := 14 \text{ cm}$$

Espaçamento máximo

```
if Hlaje · 2 > 20 cm
  Smax := 20 cm
else
  Smax := Hlaje · 2
```

$$Smax = 20 \text{ cm}$$

```
if E espaçamento adotado > Smax
  E espaçamento adotado := Smax
```

$$\text{E espaçamento adotado} = 14 \text{ cm}$$

Numero de bitolas totais

$$NumbitolasT := \frac{Comprimento}{Espaceamento\dot{a}dotado} = 21$$

COMPIMENTO DE ANCORAGEM(virada)  
6118 - 2023

#### 9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2\phi$ ;
- b) em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4\phi$ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8\phi$ .

Logo

$$Comprimento\dot{a}ncoragem := 8 \cdot bitola = 8 \text{ cm}$$

#### VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

$$Mminq := Mxm q \cdot 0 \quad Mming := Mxmg \quad Mmaxq := Mxm q \cdot 0,8 \quad Mmaxg := Mxmg$$

$$Mxmin_{freq} := Mminq + Mming = 0,58 \text{ kN m} \quad Mxmax_{freq} := Mmaxq + Mmaxg = 15,204 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{freq} := Mxmax_{freq} - Mxmin_{freq} = 14,624 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{Espaceamento\dot{a}dotado} = 7,1429 \quad area\_bitola = 7,854 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$As_f := NB \cdot area\_bitola = 5,61 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot As_f + \sqrt{(\alpha_e \cdot As_f)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 3,5796 \text{ cm}$$

Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot As_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 8845,7666 \text{ cm}^4$$

Variação máxima de tensão

$$\Delta \sigma_s := \alpha_e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 188,8041 \text{ MPa}$$

```
if Δσs ≤ 190 MPa = "Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"
```

### Verificação e Formação de Fissura

$$\alpha := 1,5 \quad Yt := \frac{Hlaje}{2} = 10 \text{ cm} \quad F_{ct} := 0,7 \cdot \left( 0,3 \cdot \left( \sqrt[3]{fck^2} \right) \right) \frac{1,7955}{10} = 0,1795$$

$$I_C := \frac{bw \cdot Hlaje^3}{12} = 66666,6667 \text{ cm}^4$$

Momento fissuração para lajes

$$Mr := \frac{\alpha \cdot F_{ct} \cdot I_C}{Yt}$$

$$Mr := 2027,528 \text{ kN cm}$$

Momento fletor maximo meio do vão

$$Md_{rara} := Mxmg + Mxm q = 1886 \text{ kN cm}$$

if  $Mr < Md_{rara}$   
 $m := \text{"Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"}$   
else  
 $m := \text{"não ocorre fissuras"}$

$m = \text{"não ocorre fissuras"}$

### Verificação de Abertura de Fissuras

barras nervuradas

$$Md_{freq} := Mxmg + 0,5 \cdot Mxm q = 9,72 \text{ kN m} \quad \alpha_e := 15 \quad \eta_1 := 2,25$$

$$bitola = 10 \text{ mm} \quad d' = 5 \text{ cm} \quad Esi := 210 \text{ GPa}$$

$$fct_m := 0,3 \cdot \left( fck \cdot \frac{2}{3} \right) = 28964,6815$$

$$fct_m := 0,28964 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{cri} := bw \cdot (d' + 8 \cdot bitola) = 1300 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{cri} := \frac{As_f}{A_{cri}} = 0,4315 \%$$

O cálculo no estágio II (que admite comportamento linear dos materiais e despreza a resistência à tração do concreto) pode ser feito considerando a relação  $\alpha_e$  entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto igual a 15.

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot As_f + \sqrt{(\alpha_e \cdot As_f)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 4,2529 \text{ cm}$$

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot As_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 12283,4115 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{si} := \alpha_e \cdot \left( \frac{Md_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 12,7564 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$



logo

O valor característico da abertura de fissuras ( $w_k$ ), determinado para cada parte da região de envolvimento, é o menor obtido pelas expressões a seguir.

$$w_k = \frac{\phi_i}{12.5\eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \frac{3\sigma_{Si}}{f_{ct,m}} \quad (8.161)$$

$$w_k = \frac{\phi_i}{12.5\eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \left( \frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right) \quad (8.162)$$

$$Wk1 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \right) \cdot \left( \frac{3 \cdot \sigma_{Si}}{f_{ct,m}} \right) = 0,0285 \text{ mm}$$

$$Wk2 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \right) \cdot \left( \frac{4}{\rho_{cri}} + 45 \right) = 0,2099 \text{ mm}$$

```
if Wk1 < Wk2
  Wk := Wk1
else
  Wk := Wk2
```

Abertura da fissura

$$Wk = 0,0285 \text{ mm}$$

```
if Wk < 0,3 mm = "okay"
  "okay"
else
  "não okay"
```

☐ — Armaduras Engaste

$$Mxm_q := 59,33 \cdot (\text{kN m}) \quad Mxm_g := 0,59 \cdot (\text{kN m})$$

Cálculo do momento de desing

$$Mxm_{qd} := Mxm_q \cdot 1,5 = 88,995 (\text{kN m})$$

$$Mxm_{gd} := 1,35 \cdot Mxm_g = 0,7965 \text{ kN m}$$

$$Mxm_d := Mxm_{qd} + Mxm_{gd} = 89,7915 \text{ kN m}$$

Cálculo da área de aço:

$$bw := 100 \text{ cm} \quad d' := 5 \text{ cm}$$

$$f_{ck} := 30 \text{ MPa} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{yk} := 500 \text{ MPa} = 50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$d := H_{laje} - d' = 15 \text{ cm}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{1,4}$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{1,15}$$

$$Mxm_d = 89,7915 \text{ kN m}$$

Cálculo da ductilidade  $\xi$  da seção transversal

$a := 0,4$

$b := -1$

$c := \frac{M_{xmd}}{(0,68 \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd})} = 0,2739$

$\Delta := b^2 - 4 \cdot a \cdot c = 0,5618$

```
if  $\Delta < 0$  = "Ok"
  "Seção Inválida"
else
  "Ok"
```

$raiz_1 := \frac{(-b + \sqrt{\Delta})}{(2 \cdot a)} = 2,1869$

$raiz_2 := \frac{(-b - \sqrt{\Delta})}{(2 \cdot a)} = 0,3131$

$\epsilon := \min([raiz_1 \ raiz_2]) = 0,3131$

Verificação de necessidade de armadura dupla

```
if  $\epsilon \leq 0,45$  = "okay"
  "okay"
else
  "não okay"
```

**Posição da Linha Neutra:**

$x := \epsilon \cdot d = 4,6962$  cm

$y := 0,8 \cdot x = 3,757$  cm

**Definição dos Domínios:**

```
Dominio := ""
if  $\epsilon < 0$  = "Dominio 3a"
  "Dominio 1"
else
  if  $((0 < \epsilon) \wedge (\epsilon \leq 0,259))$ 
    "Dominio 2"
  else
    if  $((0,259 < \epsilon) \wedge (\epsilon \leq 0,450))$ 
      "Dominio 3a"
    else
      if  $((0,450 < \epsilon) \wedge (\epsilon \leq 0,628))$ 
        "Dominio 3b"
      else
        if  $((0,628 < \epsilon) \wedge (\epsilon \leq 1))$ 
          "Dominio 4"
        else
          "Dominio 5"
```

**Área de Aço:**

$$bitola := 16 \text{ mm}$$

$$A_s := \frac{M_{xmd}}{(f_y d \cdot (d - 0,4 \cdot x))} = 15,74 \text{ cm}^2$$

$$taxa\_armadura := \frac{0,208}{100} = 0,0021$$

$$A_{s,min} := taxa\_armadura \cdot bw \cdot (d + d') = 4,16 \text{ cm}^2$$

$$area\_bitola := \pi \cdot \frac{(bitola^2)}{4} = 0,0002 \text{ m}^2$$

$$num\_bitolas := \frac{A_s}{area\_bitola} = 7,83$$

$$casas\_decimais := \text{mod}(num\_bitolas; 1) = 0,828$$

$$\text{if } casas\_decimais \leq 0,5$$

$$Num\_bitolasadotadas := num\_bitolas + (1 - casas\_decimais)$$

$$\text{else}$$

$$Num\_bitolasadotadas := \text{round}(num\_bitolas; 0)$$

$$Num\_bitolasadotadas = 8$$

**Espaçamento**

$$Comprimento := L1X$$

$$Num\_espaçamento := Num\_bitolasadotadas - 1 = 7$$

$$Espaçamento := Num\_espaçamento \cdot Comprimento = 175 \text{ m}$$

$$EspaçamentoReal := \frac{Comprimento}{Espaçamento} \cdot 100 = 14,29$$

$$Espaçamentoadotado := 14 \text{ cm}$$

**Espaçamento máximo**

$$\text{if } H_{laje} \cdot 2 > 20 \text{ cm}$$

$$S_{max} := 20 \text{ cm}$$

$$\text{else}$$

$$S_{max} := H_{laje} \cdot 2$$

$$S_{max} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{if } Espaçamentoadotado > S_{max}$$

$$Espaçamentoadotado := S_{max}$$

$$Espaçamentoadotado = 14 \text{ cm}$$

**Numero de bitolas totais**

$$NumbitolasT := \frac{Comprimento}{Espaçamentoadotado} = 179$$

**COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)**

6118 - 2023

**9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração**

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2 \phi$ ;
- b) em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4 \phi$ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8 \phi$ .

**Logo**

$$\text{Comprimento ancoragem} := 8 \cdot \text{bitola} = 12,8 \text{ cm}$$

**VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA**

$$M_{minq} := M_{xm}q \cdot 0 \quad M_{ming} := M_{xm}g \quad M_{maxq} := M_{xm}q \cdot 0,8 \quad M_{maxg} := M_{xm}g$$

$$M_{x_{min}_{freq}} := M_{minq} + M_{ming} = 0,59 \text{ kN m} \quad M_{x_{max}_{freq}} := M_{maxq} + M_{maxg} = 48,054 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{freq} := M_{x_{max}_{freq}} - M_{x_{min}_{freq}} = 47,464 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{\text{Espaçamento adotado}} = 7,1429 \quad \text{area\_bitola} = 0,0002 \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$A_{s_f} := NB \cdot \text{area\_bitola} = 14,3616 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

**posição da linha neutra**

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot A_{s_f} + \sqrt{(\alpha_e \cdot A_{s_f})^2 + 2 \cdot b_w \cdot \alpha_e \cdot d \cdot A_{s_f}}}{b_w} = 5,283 \text{ cm}$$

**Momento de Inercia**

$$I_{ii} := \frac{b_w \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_{s_f} \cdot (d - x_{ii})^2 = 18475,1705 \text{ cm}^4$$

**Variação máxima de tensão**

$$\Delta \sigma_{S_s} := \alpha_e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 249,6362 \text{ MPa}$$

```
if ΔσSs ≤ 190 MPa = "Não Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"
```

$$\text{Num\_bitolas adotadas} := 11$$

**Espaçamento**

$$\text{Comprimento} := L1x$$

$$\text{Num\_espaçamento} := \text{Num\_bitolas adotadas} - 1 = 10$$

$$Espaceamento := Num\_espaceamento \cdot Comprimento = 250 \text{ m}$$

$$EspaceamentoReal := \frac{Comprimento}{Espaceamento} \cdot 100 = 10$$

$$Espaceamentoadoado := 10 \text{ cm}$$

### Espaceamento máximo

$$\text{if } Hlaje \cdot 2 > 20 \text{ cm}$$

$$Smax := 20 \text{ cm}$$

else

$$Smax := Hlaje \cdot 2$$

$$Smax = 20 \text{ cm}$$

$$\text{if } Espaceamentoadoado > Smax$$

$$Espaceamentoadoado := Smax$$

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

### Numero de bitolas totais

$$NumbitolasT := \frac{Comprimento}{Espaceamentoadoado} = 250$$

$$\text{COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)} \\ 6118 - 2023$$

#### 9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2 \phi$ ;
- b) em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4 \phi$ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8 \phi$ .

### Logo

$$Comprimento ancoragem := 8 \cdot bitola = 12,8 \text{ cm}$$

### VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

$$Mminq := Mxm q \cdot 0 \quad Mming := Mxm g \quad Mmaxq := Mxm q \cdot 0,8 \quad Mmaxg := Mxm g$$

$$Mxmin_{freq} := Mminq + Mming = 0,59 \text{ kN m} \quad Mxmax_{freq} := Mmaxq + Mmaxg = 48,054 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{freq} := Mxmax_{freq} - Mxmin_{freq} = 47,464 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{Espaceamentoadoado} = 10$$

$$area\_bitola = 0,0002 \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$As_f := NB \cdot area\_bitola = 20,1062 \text{ cm}^2 \text{ por metro}$$

posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha e \cdot A_{s_f} + \sqrt{(A_{s_f} \cdot \alpha e)^2 + 2 \cdot b_w \cdot \alpha e \cdot d \cdot A_{s_f}}}{b_w} = 6,0119 \text{ cm}$$

Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{b_w \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha e \cdot A_{s_f} \cdot (d - x_{ii})^2 = 23485,9023 \text{ cm}^4$$

Variação maxima de tensão

$$\Delta \sigma_{S_s} := \alpha e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 181,6452 \text{ MPa}$$

```
if ΔσSs ≤ 190 MPa = "Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"
```

Verificação e Formação de Fissura

$$\alpha := 1,5 \quad Y_t := \frac{H_{laje}}{2} = 10 \text{ cm} \quad F_{ct} := 0,7 \cdot \left( 0,3 \cdot \left( \sqrt[3]{f_{ck}^2} \right) \right) \frac{1,7955}{10} = 0,1795$$

$$I_c := \frac{b_w \cdot H_{laje}^3}{12} = 66666,6667 \text{ cm}^4$$

Momento fissuração para lajes

$$M_r := \frac{\alpha \cdot F_{ct} \cdot I_c}{Y_t}$$

$$M_r := 2027,528 \text{ kN cm}$$

Momento fletor maximo meio do vão

$$M_{d_{rara}} := M_{xmg} + M_{xm} = 5992 \text{ kN cm}$$

if  $M_r < M_{d_{rara}}$

$m :=$  "Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"

else

$m :=$  "não ocorre fissuras"

$m =$  "Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"

Verificação de Abertura de Fissuras

barras nervuradas

$$M_{d_{freq}} := M_{xmg} + 0,5 \cdot M_{xm} = 30,255 \text{ kN m} \quad \alpha e := 15 \quad \eta_1 := 2,25$$

$$bitola = 16 \text{ mm} \quad d' = 5 \text{ cm} \quad E_{si} := 210 \text{ GPa}$$

$$f_{ct_m} := 0,3 \cdot \left( f_{ck} \frac{2}{3} \right)$$

$$f_{ct_m} := 0,22104 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{cri} := bw \cdot (d' + 8 \cdot bitola)^2 = 1780 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{cri} := \frac{As_f}{A_{cri}} = 1,1296 \%$$

O cálculo no estágio II (que admite comportamento linear dos materiais e despreza a resistência à tração do concreto) pode ser feito considerando a relação  $\alpha_e$  entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto igual a 15.

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot As_f + \sqrt{(As_f \cdot \alpha_e)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 6,9627 \text{ cm}$$

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot As_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 30733,891 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{si} := \alpha_e \cdot \left( \frac{Md_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 11,868 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

logo

O valor característico da abertura de fissuras ( $w_k$ ), determinado para cada parte da região de envolvimento, é o menor obtido pelas expressões a seguir.

$$w_k = \frac{\phi_i}{12.5\eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \frac{3\sigma_{Si}}{f_{ct,m}} \quad (8.161)$$

$$w_k = \frac{\phi_i}{12.5\eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \left( \frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right) \quad (8.162)$$

$$wk1 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \right) \cdot \left( \frac{3 \cdot \sigma_{si}}{f_{ct_m}} \right) = 0,0518 \text{ mm}$$

$$wk2 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \right) \cdot \left( \frac{4}{\rho_{cri}} + 45 \right) = 0,1283 \text{ mm}$$

if  $wk1 < wk2$

$wk := wk1$

else

$wk := wk2$

Abertura da fissura

$$wk = 0,0518 \text{ mm}$$

if  $wk < 0,3 \text{ mm} = \text{"okay"}$

"okay"


else

"não okay"

Laje2

$$L2X = 25 \text{ m} \quad L2Y = 2,92 \text{ m}$$

tabelas



Dimensões:

$l_x = 2,92$  m

$l_y = 25,00$  m

$t = 0,5962$  m

$a = 2$  m

Vinculações:

Borda superior: Apoiada

Borda inferior: Apoiada

Borda esquerda: Engastada

Borda direita: Engastada

Direção do tráfego: ☒ ☐

Coefficiente de Impacto ( $\phi$ ): 1,60

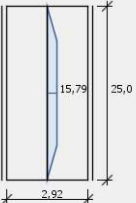
Calcular

Mxm

Mym

Mxe

lx/a	t/a				Para todos os valores de t/a		
	0,125	0,250	0,5	1,0	p	p'	
0,5	0,118	0,083	0,041	0,02	0,0	0,0	<div>Resultados:</div> <div>Tabela Utilizada:93</div> <div>Cargas Móveis:</div> <div>ML=0,17</div> <div>MP=0,00</div> <div>MP=0,05</div> <div>Mxm=20,34 kN.m/m</div> <div>Cargas Permanentes:</div> <div>kxm=0,04</div> <div>Mxm=0,34 kN.m/m</div>
1,0	0,171	0,129	0,078	0,061	0,0	0,0	
1,5	0,227	0,18	0,131	0,127	0,0	0,05	
2,0	0,289	0,241	0,2	0,185	0,0	0,2	
2,5	0,347	0,305	0,265	0,235	0,0	0,45	
3,0	0,4	0,358	0,322	0,291	0,0	0,85	
4,0	0,51	0,468	0,431	0,395	0,05	1,72	
5,0	0,6	0,56	0,53	0,48	0,14	2,84	
6,0	0,69	0,66	0,62	0,57	0,26	4,5	
7,0	0,76	0,73	0,7	0,63	0,4	6,9	
8,0	0,82	0,8	0,76	0,69	0,56	9,4	
9,0	0,87	0,84	0,81	0,73	0,7	12,2	
10,0	0,9	0,87	0,83	0,75	0,9	15,85	



Dimensões:

$l_x = 2,92$  m

$l_y = 25,00$  m

$t = 0,5962$  m

$a = 2$  m

Vinculações:

Borda superior: Apoiada

Borda inferior: Apoiada

Borda esquerda: Engastada

Borda direita: Engastada

Direção do tráfego: ☒ ☐

Coefficiente de Impacto ( $\phi$ ): 1,60

Calcular

Mxm

Mym

Mxe

lx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0	p	p'
0,5	0,095	0,054	0,032	0,005	0,0	0,0
1,0	0,148	0,092	0,058	0,02	0,0	0,0
1,5	0,203	0,147	0,081	0,045	0,0	0,02
2,0	0,257	0,206	0,116	0,079	0,0	0,05
2,5	0,296	0,248	0,156	0,118	0,0	0,11
3,0	0,331	0,284	0,2	0,166	0,02	0,22
4,0	0,401	0,352	0,287	0,254	0,08	0,45
5,0	0,46	0,416	0,367	0,333	0,18	0,74
6,0	0,52	0,482	0,44	0,411	0,32	1,17
7,0	0,58	0,54	0,51	0,475	0,54	1,78
8,0	0,64	0,6	0,57	0,53	0,8	2,37
9,0	0,68	0,65	0,62	0,58	1,04	3,13
10,0	0,73	0,7	0,65	0,62	1,28	3,96

Resultados:

Tabela Utilizada:93

Cargas Móveis:

ML=0,13

MP=0,00

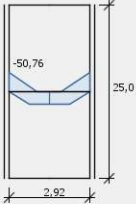
MP=0,02

Mym=15,79 kN.m/m

Cargas Permanentes:

kym=0,01

Mym=0,06 kN.m/m



Dimensões:

$l_x = 2,92$  m

$l_y = 25,00$  m

$t = 0,5962$  m

$a = 2$  m

Vinculações:

Borda superior: Apoiada

Borda inferior: Apoiada

Borda esquerda: Engastada

Borda direita: Engastada

Direção do tráfego: ☒ ☐

Coefficiente de Impacto ( $\phi$ ): 1,60

Calcular

Mxm

Mym

Mxe

lx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0	p	p'
0,5	0,25	0,19	0,12	0,05	0,0	0,05
1,0	0,32	0,26	0,18	0,09	0,0	0,1
1,5	0,47	0,43	0,35	0,23	0,0	0,35
2,0	0,64	0,61	0,54	0,398	0,0	0,8
2,5	0,76	0,74	0,69	0,55	0,01	1,45
3,0	0,87	0,85	0,81	0,71	0,05	2,1
4,0	1,05	1,05	1,01	0,97	0,1	3,4
5,0	1,21	1,21	1,18	1,15	0,33	4,7
6,0	1,34	1,34	1,31	1,28	0,8	7,0
7,0	1,44	1,44	1,42	1,39	1,4	10,3
8,0	1,52	1,52	1,5	1,47	2,1	15,0
9,0	1,57	1,57	1,56	1,53	3,0	20,4
10,0	1,59	1,59	1,58	1,56	3,74	25,9

Resultados:

Tabela Utilizada:93

Cargas Móveis:

$M_L=0,40$

$M_P=0,00$

$M_P=0,33$

$M_{xe}=50,76 \text{ kN.m/m}$

Cargas Permanentes:

$k_{xe}=0,08$

$M_{xe}=0,68 \text{ kN.m/m}$



## Armaduras Principal

$$M_{xmq} := 20,34 \cdot (\text{kN m}) \quad M_{xmg} := 0,34 \cdot (\text{kN m})$$

### Cálculo do momento de desing

$$M_{xmqd} := M_{xmq} \cdot 1,5 = 30,51 (\text{kN m})$$

$$M_{xmgd} := 1,35 \cdot M_{xmg} = 0,459 \text{ kN m}$$

$$M_{xmd} := M_{xmqd} + M_{xmgd} = 30,969 \text{ kN m}$$

### Cálculo da área de aço:

$$b_w := 100 \text{ cm} \quad d' := 5 \text{ cm} \quad f_{ck} := 30 \text{ MPa} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad f_{yk} := 500 \text{ MPa} = 50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$d := H_{laje} - d' = 15 \text{ cm}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{1,4}$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{1,15}$$

$$M_{xmd} = 30,969 \text{ kN m}$$

### Cálculo da ductilidade $\xi$ da seção transversal

$$a := 0,4$$

$$b := -1$$

$$c := \frac{M_{xmd}}{(0,68 \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd})} = 0,0945$$

$$\text{delta} := b^2 - 4 \cdot a \cdot c = 0,8489$$

$$\text{if } \text{delta} < 0 \quad = \text{"Ok"}$$

"Seção Inválida"

else

"Ok"

$$\text{raiz}_1 := \frac{(-b + \sqrt{\text{delta}})}{(2 \cdot a)} = 2,4017$$

$$\text{raiz}_2 := \frac{(-b - \sqrt{\text{delta}})}{(2 \cdot a)} = 0,0983$$

$$\text{epsilon} := \min \left( \left[ \text{raiz}_1 \text{ raiz}_2 \right] \right) = 0,0983$$

### Verificação de necessidade de armadura dupla

$$\text{if } \text{epsilon} \leq 0,45 = \text{"okay"}$$

"okay"

else

"não okay"

### Posição da Linha Neutra:

$$x := \text{epsilon} \cdot d = 1,4749 \text{ cm}$$

$$y := 0,8 \cdot x = 1,1799 \text{ cm}$$

### Definição dos Domínios:

```

Dominio := ""
if epsilon < 0                                     = "Dominio 2"
    "Dominio 1"
else
    if ((0 < epsilon) ∧ (epsilon ≤ 0,259))
        "Dominio 2"
    else
        if ((0,259 < epsilon) ∧ (epsilon ≤ 0,450))
            "Dominio 3a"
        else
            if ((0,450 < epsilon) ∧ (epsilon ≤ 0,628))
                "Dominio 3b"
            else
                if ((0,628 < epsilon) ∧ (epsilon ≤ 1))
                    "Dominio 4"
                else
                    "Dominio 5"

```

### Área de Aço:

$bitola := 12,5 \text{ mm}$

$$A_s := \frac{Mxmd}{(fyd \cdot (d - 0,4 \cdot x))} = 4,94 \text{ cm}^2$$

$$taxa\_armadura := \frac{0,208}{100} = 0,0021$$

$$A_{s,min} := taxa\_armadura \cdot bw \cdot (d + d') = 4,16 \text{ cm}^2$$

$$area\_bitola := \pi \cdot \frac{(bitola^2)}{4} = 0,0001 \text{ m}^2$$

$$num\_bitolas := \frac{A_s}{area\_bitola} = 4,03$$

$$casas\_decimais := \text{mod}(num\_bitolas; 1) = 0,0279$$

if  $casas\_decimais \leq 0,5$

$$Num\_bitolasadotadas := num\_bitolas + (1 - casas\_decimais)$$

else

$$Num\_bitolasadotadas := \text{round}(num\_bitolas; 0)$$

$$Num\_bitolasadotadas = 5$$

### Espaçamento

$Comprimento := L2X$

$$Num\_espaçamento := Num\_bitolasadotadas - 1 = 4$$

$$Espaçamento := Num\_espaçamento \cdot Comprimento = 100 \text{ m}$$

$$EspaçamentoReal := \frac{Comprimento}{Espaçamento} \cdot 100 = 25$$

$$Espaçamentoadotado := 20 \text{ cm}$$

**Espaçamento máximo**

```

if Hlaje · 2 > 20 cm
  Smax := 20 cm
else
  Smax := Hlaje · 2

Smax = 20 cm

if Espaçamentoadotado > Smax
  Espaçamentoadotado := Smax

Espaçamentoadotado = 20 cm

```

**Numero de bitolas totais**

$$\text{NumbitolasT} := \frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamentoadotado}} = 125$$

**COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)**  
 6118 – 2023
**9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração**

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2 \phi$ ;
- b) em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4 \phi$ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8 \phi$ .

**Logo**

$\text{Comprimento ancoragem} := 8 \cdot \text{bitola} = 10 \text{ cm}$

**VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA**

$$M_{minq} := M_{xm q} \cdot 0 \quad M_{ming} := M_{xm g} \quad M_{maxq} := M_{xm q} \cdot 0,8 \quad M_{maxg} := M_{xm g}$$

$$M_{xmin_{freq}} := M_{minq} + M_{ming} = 0,34 \text{ kN m} \quad M_{xmax_{freq}} := M_{maxq} + M_{maxg} = 16,612 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{freq} := M_{xmax_{freq}} - M_{xmin_{freq}} = 16,272 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{\text{Espaçamentoadotado}} = 5$$

$$\text{area\_bitola} = 0,0001 \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$As_f := NB \cdot \text{area\_bitola} = 6,1359 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

**posição da linha neutra**

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot As_f + \sqrt{\left(As_f \cdot \alpha_e\right)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 3,7205 \text{ cm}$$

## Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{b_w \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot A s_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 9523,2119 \text{ cm}^4$$

## Variação máxima de tensão

$$\Delta \sigma_{S_s} := \alpha_e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 192,7293 \text{ MPa}$$

```

if  $\Delta \sigma_{S_s} \leq 190 \text{ MPa}$  = "Não Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"

```

```
Num_bitolasadotadas := 7
```

## Espaçamento

```
Comprimento := L2X          Num_espaçamento := Num_bitolasadotadas - 1 = 6
```

```
Espaçamento := Num_espaçamento · Comprimento = 150 m
```

```
EspaçamentoReal :=  $\frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamento}} \cdot 100 = 16,67$    Espaçamentoadotado := 16 cm
```

## Espaçamento máximo

```

if Hlaje · 2 > 20 cm
  Smax := 20 cm
else
  Smax := Hlaje · 2

```

```
Smax = 20 cm
```

```

if Espaçamentoadotado > Smax
  Espaçamentoadotado := Smax

```

```
Espaçamentoadotado = 16 cm
```

## Numero de bitolas totais

```
NumbitolasT :=  $\frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamentoadotado}} = 156$ 
```

```

COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)
6118 - 2023

```

**9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração**

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2 \phi$ ;
- b) em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4 \phi$ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8 \phi$ .

Logo

$$\text{Comprimento ancoragem} := 8 \cdot \text{bitola} = 10 \text{ cm}$$

**VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA**

$$M_{minq} := M_{xm}q \cdot 0 \quad M_{ming} := M_{xm}g \quad M_{maxq} := M_{xm}q \cdot 0,8 \quad M_{maxg} := M_{xm}g$$

$$M_{xmin_{freq}} := M_{minq} + M_{ming} = 0,34 \text{ kN m} \quad M_{xmax_{freq}} := M_{maxq} + M_{maxg} = 16,612 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{freq} := M_{xmax_{freq}} - M_{xmin_{freq}} = 16,272 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{\text{Espaçamento adotado}} = 6,25 \quad \text{area\_bitola} = 0,0001 \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$A_{s_f} := NB \cdot \text{area\_bitola} = 7,6699 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot A_{s_f} + \sqrt{(\alpha_e \cdot A_{s_f})^2 + 2 \cdot b_w \cdot \alpha_e \cdot d \cdot A_{s_f}}}{b_w} = 4,0908 \text{ cm}$$

Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{b_w \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_{s_f} \cdot (d - x_{ii})^2 = 11409,9383 \text{ cm}^4$$

Variação máxima de tensão

$$\Delta \sigma_{S_s} := \alpha_e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 155,5791 \text{ MPa}$$

```
if ΔσSs ≤ 190 MPa = "Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"
```

**Verificação e Formação de Fissura**

$$y_t := \frac{H_{laje}}{2} = 10 \text{ cm} \quad F_{ct} := 0,7 \cdot \left( 0,3 \cdot \left( \sqrt[3]{f_{ck}^2} \right) \right) \cdot \frac{1,7955}{10} = 0,1795$$

$$\alpha := 1,5$$

$$I_c := \frac{bw \cdot H laje^3}{12} = 66666,6667 \text{ cm}^4$$

Momento fissuração para lajes

$$M_r := \frac{\alpha \cdot F_{ct} \cdot I_c}{Y_t}$$

$$M_r := 2027,528 \text{ kN cm}$$

Momento fletor maximo meio do vão

$$M_{d_{rara}} := M_{xmg} + M_{xm q} = 2068 \text{ kN cm}$$

$$\text{if } M_r < M_{d_{rara}}$$

$$m := \text{"Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"}$$

else

$$m := \text{"não ocorre fissuras"}$$

$$m = \text{"Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"}$$

Verificação de Abertura de Fissuras

barras nervuradas

$$M_{d_{freq}} := M_{xmg} + 0,5 \cdot M_{xm q} = 10,51 \text{ kN m} \quad \alpha_e := 15 \quad \eta_1 := 2,25$$

$$bitola = 12,5 \text{ mm} \quad d' = 5 \text{ cm} \quad E_{si} := 210 \text{ GPa}$$

$$f_{ct_m} := 0,3 \cdot \left( f_{ck} \frac{2}{3} \right)$$

$$f_{ct_m} := 0,28964 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{cri} := bw \cdot (d' + 8 \cdot bitola) = 1500 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{cri} := \frac{A_{s_f}}{A_{cri}} = 0,5113 \%$$

O cálculo no estágio II (que admite comportamento linear dos materiais e despreza a resistência à tração do concreto) pode ser feito considerando a relação  $\alpha_e$  entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto igual a 15.

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot A_{s_f} + \sqrt{(A_{s_f} \cdot \alpha_e)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot A_{s_f}}}{bw} = 4,836 \text{ cm}$$

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_{s_f} \cdot (d - x_{ii})^2 = 15655,2772 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{si} := \alpha_e \cdot \left( \frac{M_{d_{freq}} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 10,2352 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

logo

O valor característico da abertura de fissuras ( $w_k$ ), determinado para cada parte da região de envolvimento, é o menor obtido pelas expressões a seguir.

$$w_k = \frac{\phi_i}{12.5\eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \frac{3\sigma_{Si}}{f_{ct,m}} \quad (8.161)$$

$$w_k = \frac{\phi_i}{12.5\eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \left( \frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right) \quad (8.162)$$

$$w_{k1} := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \right) \cdot \left( \frac{3 \cdot \sigma_{si}}{f_{ct_m}} \right) = 0,023 \text{ mm}$$

$$w_{k2} := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \right) \cdot \left( \frac{4}{\rho_{cri}} + 45 \right) = 0,1792 \text{ mm}$$

```
if Wk1 < Wk2
```

```
Wk := Wk1
```

```
else
```

```
Wk := Wk2
```

Abertura da fissura

$$Wk = 0,023 \text{ mm}$$

```
if Wk < 0,3 mm = "okay"
```

```
"okay"
```

```
else
```

```
"não okay"
```

☐ — Armaduras Secundária

$$M_{xm q} := 15,79 \cdot (\text{kN m}) \quad M_{xm g} := 0,06 \cdot (\text{kN m})$$

Cálculo do momento de desing

$$M_{xm qd} := M_{xm q} \cdot 1,5 = 23,685 (\text{kN m})$$

$$M_{xm gd} := 1,35 \cdot M_{xm g} = 0,081 \text{ kN m}$$

$$M_{xmd} := M_{xm qd} + M_{xm gd} = 23,766 \text{ kN m}$$

Cálculo da área de aço:

$$b_w := 100 \text{ cm} \quad d' := 5 \text{ cm} \quad f_{ck} := 30 \text{ MPa} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad f_{yk} := 500 \text{ MPa} = 50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$d := H_{laje} - d' = 15 \text{ cm}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{1,4}$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{1,15}$$

$$M_{xmd} = 23,766 \text{ kN m}$$

Cálculo da ductilidade  $\xi$  da seção transversal

$a := 0,4$

$b := -1$

$c := \frac{M_{xmd}}{(0,68 \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd})} = 0,0725$

$\Delta := b^2 - 4 \cdot a \cdot c = 0,884$

if  $\Delta < 0$  = "Ok"

"Seção Inválida"

else

"Ok"

$raiz_1 := \frac{(-b + \sqrt{\Delta})}{(2 \cdot a)} = 2,4253$

$raiz_2 := \frac{(-b - \sqrt{\Delta})}{(2 \cdot a)} = 0,0747$

$\epsilon := \min \left( \left[ \begin{matrix} raiz_1 & raiz_2 \end{matrix} \right] \right) = 0,0747$

Verificação de necessidade de armadura dupla

if  $\epsilon \leq 0,45$  = "okay"

"okay"

else

"não okay"

**Posição da Linha Neutra:**

$x := \epsilon \cdot d = 1,1208$  cm

$y := 0,8 \cdot x = 0,8967$  cm

**Definição dos Domínios:**

$Dominio := ""$

if  $\epsilon < 0$

= "Dominio 2"

"Dominio 1"

else

if  $((0 < \epsilon) \wedge (\epsilon \leq 0,259))$

"Dominio 2"

else

if  $((0,259 < \epsilon) \wedge (\epsilon \leq 0,450))$

"Dominio 3a"

else

if  $((0,450 < \epsilon) \wedge (\epsilon \leq 0,628))$

"Dominio 3b"

else

if  $((0,628 < \epsilon) \wedge (\epsilon \leq 1))$

"Dominio 4"

else

"Dominio 5"



**Área de Aço:**

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

$$A_s := \frac{Mxmd}{(fyd \cdot (d - 0,4 \cdot x))} = 3,76 \text{ cm}^2$$

$$taxa\_armadura := \frac{0,208}{100} = 0,0021$$

$$A_{s,min} := taxa\_armadura \cdot bw \cdot (d + d') = 4,16 \text{ cm}^2$$

$$area\_bitola := \pi \cdot \frac{(bitola^2)}{4} = 7,854 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$num\_bitolas := \frac{A_s}{area\_bitola} = 4,78$$

$$casas\_decimais := \text{mod}(num\_bitolas; 1) = 0,7828$$

$$\begin{aligned} \text{if } casas\_decimais \leq 0,5 \\ \quad Num\_bitolasadotadas := num\_bitolas + (1 - casas\_decimais) \\ \text{else} \\ \quad Num\_bitolasadotadas := \text{round}(num\_bitolas; 0) \end{aligned}$$

$$Num\_bitolasadotadas = 5$$

**Espaçamento**

$$Comprimento := L2Y \quad Num\_espaçamento := Num\_bitolasadotadas - 1 = 4$$

$$Espaçamento := Num\_espaçamento \cdot Comprimento = 11,68 \text{ m}$$

$$EspaçamentoReal := \frac{Comprimento}{Espaçamento} \cdot 100 = 25$$

$$Espaçamentoadotado := 20 \text{ cm}$$

**Espaçamento máximo**

$$\text{if } Hlaje \cdot 2 > 20 \text{ cm}$$

$$Smax := 20 \text{ cm}$$

$$\text{else}$$

$$Smax := Hlaje \cdot 2$$

$$Smax = 20 \text{ cm}$$

$$\text{if } Espaçamentoadotado > Smax$$

$$Espaçamentoadotado := Smax$$

$$Espaçamentoadotado = 20 \text{ cm}$$

**Numero de bitolas totais**

$$NumbitolasT := \frac{Comprimento}{Espaçamentoadotado} = 15$$

COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)  
6118 - 2023

#### 9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2 \phi$ ;
- b) em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4 \phi$ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8 \phi$ .

Logo

$$\text{Comprimento ancoragem} := 8 \cdot \text{bitola} = 8 \text{ cm}$$

#### VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

$$M_{minq} := M_{xm q} \cdot 0 \quad M_{ming} := M_{xm g} \quad M_{maxq} := M_{xm q} \cdot 0,8 \quad M_{maxg} := M_{xm g}$$

$$M_{x_{min}freq} := M_{minq} + M_{ming} = 0,06 \text{ kN m} \quad M_{x_{max}freq} := M_{maxq} + M_{maxg} = 12,692 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{freq} := M_{x_{max}freq} - M_{x_{min}freq} = 12,632 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{\text{Espaçamento adotado}} = 5 \quad \text{area\_bitola} = 7,854 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$As_f := NB \cdot \text{area\_bitola} = 3,927 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot As_f + \sqrt{(\alpha_e \cdot As_f)^2 + 2 \cdot b_w \cdot \alpha_e \cdot d \cdot As_f}}{b_w} = 3,062 \text{ cm}$$

Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{b_w \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot As_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 6553,5453 \text{ cm}^4$$

Variação máxima de tensão

$$\Delta \sigma_s := \alpha_e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 230,105 \text{ MPa}$$

```
if  $\Delta \sigma_s \leq 190 \text{ MPa}$  = "Não Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"
```

$$\text{Num\_bitolas adotadas} := 8$$

Espaçamento

$$\text{Comprimento} := L2Y$$

$$\text{Num\_espaçamento} := \text{Num\_bitolas adotadas} - 1 = 7$$

$$Espaceamento := Num\_espaceamento \cdot Comprimento = 20,44 \text{ m}$$

$$EspaceamentoReal := \frac{Comprimento}{Espaceamento} \cdot 100 = 14,29$$

$$Espaceamento\dot{a}dotado := 14 \text{ cm}$$

### Espaceamento máximo

$$\text{if } Hlaje \cdot 2 > 20 \text{ cm}$$

$$Smax := 20 \text{ cm}$$

else

$$Smax := Hlaje \cdot 2$$

$$Smax = 20 \text{ cm}$$

$$\text{if } Espaceamento\dot{a}dotado > Smax$$

$$Espaceamento\dot{a}dotado := Smax$$

$$Espaceamento\dot{a}dotado = 14 \text{ cm}$$

### Numero de bitolas totais

$$NumbitolasT := \frac{Comprimento}{Espaceamento\dot{a}dotado} = 21$$

$$\text{COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)} \\ 6118 - 2023$$

#### 9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2 \phi$ ;
- b) em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4 \phi$ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8 \phi$ .

### Logo

$$Comprimento\dot{a}ncoragem := 8 \cdot bitola = 8 \text{ cm}$$

### VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

$$Mminq := Mxm q \cdot 0 \quad Mming := Mxmg \quad Mmaxq := Mxm q \cdot 0,8 \quad Mmaxg := Mxmg$$

$$Mxmin_{freq} := Mminq + Mming = 0,06 \text{ kN m} \quad Mxmax_{freq} := Mmaxq + Mmaxg = 12,692 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{freq} := Mxmax_{freq} - Mxmin_{freq} = 12,632 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{Espaceamento\dot{a}dotado} = 7,1429 \quad area\_bitola = 7,854 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$As_f := NB \cdot area\_bitola = 5,61 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha e \cdot A s_f + \sqrt{(A s_f \cdot \alpha e)^2 + 2 \cdot b w \cdot \alpha e \cdot d \cdot A s_f}}{b w} = 3,5796 \text{ cm}$$

Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{b w \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha e \cdot A s_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 8845,7666 \text{ cm}^4$$

Variação maxima de tensão

$$\Delta \sigma_s := \alpha e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 163,0863 \text{ MPa}$$

```
if Δσs ≤ 190 MPa = "Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"
```

Verificação e Formação de Fissura

$$\alpha := 1,5 \quad Y_t := \frac{H l a j e}{2} = 10 \text{ cm} \quad F_{ct} := 0,7 \cdot \left( 0,3 \cdot \left( \sqrt[3]{f_{ck}^2} \right) \right) \frac{1,7955}{10} = 0,1795$$

$$I_c := \frac{b w \cdot H l a j e^3}{12} = 66666,6667 \text{ cm}^4$$

Momento fissuração para lajes

$$M_r := \frac{\alpha \cdot F_{ct} \cdot I_c}{Y_t}$$

$$M_r := 2027,528 \text{ kN cm}$$

Momento fletor maximo meio do vão

$$M d_{rara} := M x m g + M x m q = 1585 \text{ kN cm}$$

if  $M_r < M d_{rara}$

$m :=$  "Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"

else

$m :=$  "não ocorre fissuras"

$m =$  "não ocorre fissuras"

Verificação de Abertura de Fissuras

barras nervuradas

$$M d_{freq} := M x m g + 0,5 \cdot M x m q = 7,955 \text{ kN m} \quad \alpha e := 15 \quad \eta_1 := 2,25$$

$$bitola = 10 \text{ mm} \quad d' = 5 \text{ cm} \quad E s i := 210 \text{ GPa}$$

$$fct_m := 0,3 \cdot \left( fck \cdot \frac{2}{3} \right) = 28964,6815$$

$$fct_m := 0,28964 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{cri} := bw \cdot (d' + 8 \cdot bitola) = 1300 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{cri} := \frac{As_f}{A_{cri}} = 0,4315 \%$$

O cálculo no estágio II (que admite comportamento linear dos materiais e despreza a resistência à tração do concreto) pode ser feito considerando a relação  $\alpha_e$  entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto igual a 15.

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot As_f + \sqrt{(As_f \cdot \alpha_e)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 4,2529 \text{ cm}$$

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot As_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 12283,4115 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{si} := \alpha_e \cdot \left( \frac{Md_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 10,4401 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

logo

O valor característico da abertura de fissuras ( $w_k$ ), determinado para cada parte da região de envolvimento, é o menor obtido pelas expressões a seguir.

$$w_k = \frac{\phi_i}{12,5\eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \frac{3\sigma_{Si}}{f_{ct,m}} \quad (8.161)$$

$$w_k = \frac{\phi_i}{12,5\eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \left( \frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right) \quad (8.162)$$

$$wk1 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \right) \cdot \left( \frac{3 \cdot \sigma_{Si}}{fct_m} \right) = 0,0191 \text{ mm}$$

$$wk2 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \right) \cdot \left( \frac{4}{\rho_{cri}} + 45 \right) = 0,1718 \text{ mm}$$

if  $wk1 < wk2$

$wk := wk1$

else

$wk := wk2$

Abertura da fissura

$$wk = 0,0191 \text{ mm}$$

if  $wk < 0,3 \text{ mm} = \text{"okay"}$

$\text{"okay"}$

else

$\text{"não okay"}$

## Armaduras Engaste

$$M_{xmq} := 50,76 \cdot (\text{kN m}) \quad M_{xmg} := 0,68 \cdot (\text{kN m})$$

### Cálculo do momento de desing

$$M_{xmqd} := M_{xmq} \cdot 1,5 = 76,14 \text{ (kN m)}$$

$$M_{xmgd} := 1,35 \cdot M_{xmg} = 0,918 \text{ kN m}$$

$$M_{xmd} := M_{xmqd} + M_{xmgd} = 77,058 \text{ kN m}$$

### Cálculo da área de aço:

$$b_w := 100 \text{ cm} \quad d' := 5 \text{ cm}$$

$$f_{ck} := 30 \text{ MPa} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{yk} := 500 \text{ MPa} = 50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$d := H_{laje} - d' = 15 \text{ cm}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{1,4}$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{1,15}$$

$$M_{xmd} = 77,058 \text{ kN m}$$

### Cálculo da ductilidade $\xi$ da seção transversal

$$a := 0,4$$

$$b := -1$$

$$c := \frac{M_{xmd}}{(0,68 \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd})} = 0,235$$

$$\text{delta} := b^2 - 4 \cdot a \cdot c = 0,6239$$

$$\text{if } \text{delta} < 0 \quad = \text{"Ok"}$$

"Seção Inválida"

else

"Ok"

$$\text{raiz}_1 := \frac{(-b + \sqrt{\text{delta}})}{(2 \cdot a)} = 2,2374$$

$$\text{raiz}_2 := \frac{(-b - \sqrt{\text{delta}})}{(2 \cdot a)} = 0,2626$$

$$\text{epsilon} := \min \left( \left[ \text{raiz}_1 \text{ raiz}_2 \right] \right) = 0,2626$$

### Verificação de necessidade de armadura dupla

$$\text{if } \text{epsilon} \leq 0,45 = \text{"okay"}$$

"okay"

else

"não okay"

### Posição da Linha Neutra:

$$x := \text{epsilon} \cdot d = 3,9394 \text{ cm}$$

$$y := 0,8 \cdot x = 3,1515 \text{ cm}$$

**Definição dos Domínios:**

```

Dominio := ""
if epslon < 0                                     = "Dominio 3a"
    "Dominio 1"
else
    if (((0 < epslon)) ∧ (epslon ≤ 0,259))
        "Dominio 2"
    else
        if (((0,259 < epslon)) ∧ (epslon ≤ 0,450))
            "Dominio 3a"
        else
            if (((0,450 < epslon)) ∧ (epslon ≤ 0,628))
                "Dominio 3b"
            else
                if (((0,628 < epslon)) ∧ (epslon ≤ 1))
                    "Dominio 4"
                else
                    "Dominio 5"

```

**Área de Aço:**

$bitola := 16 \text{ mm}$

$$A_s := \frac{Mxmd}{(fyd \cdot (d - 0,4 \cdot x))} = 13,2 \text{ cm}^2$$

$$taxa\_armadura := \frac{0,208}{100} = 0,0021$$

$$A_{s,min} := taxa\_armadura \cdot bw \cdot (d + d') = 4,16 \text{ cm}^2$$

$$area\_bitola := \pi \cdot \frac{(bitola^2)}{4} = 0,0002 \text{ m}^2$$

$$num\_bitolas := \frac{A_s}{area\_bitola} = 6,57$$

$$casas\_decimais := \text{mod}(num\_bitolas; 1) = 0,5664$$

```

if casas_decimais ≤ 0,5
    Num_bitolasadotadas := num_bitolas + (1 - casas_decimais)
else
    Num_bitolasadotadas := round(num_bitolas; 0)

```

$$Num\_bitolasadotadas = 7$$

**Espaçamento**

$$Comprimento := L2X \quad Num\_espaçamento := Num\_bitolasadotadas - 1 = 6$$

$$Espaçamento := Num\_espaçamento \cdot Comprimento = 150 \text{ m}$$

$$EspaçamentoReal := \frac{Comprimento}{Espaçamento} \cdot 100 = 16,67 \quad \text{Espaçamentoadotado} := 16 \text{ cm}$$

**Espaçamento máximo**

```

if Hlaje · 2 > 20 cm
    Smax := 20 cm
else
    Smax := Hlaje · 2

Smax = 20 cm

if Espaçamentoadotado > Smax
    Espaçamentoadotado := Smax

Espaçamentoadotado = 16 cm

```

**Numero de bitolas totais**

$$NumbitolasT := \frac{Comprimento}{Espaçamentoadotado} = 156$$

<b>COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)</b> 6118 – 2023
--

**9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração**

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2 \phi$ ;
- b) em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4 \phi$ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8 \phi$ .

**Logo**

$Comprimento ancoragem := 8 \cdot bitola = 12,8 \text{ cm}$

<b>VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA</b>
--

$$\begin{aligned}
 Mminq &:= Mxm q \cdot 0 & Mming &:= Mxm g & Mmaxq &:= Mxm q \cdot 0,8 & Mmaxg &:= Mxm g \\
 Mxmin_{freq} &:= Mminq + Mming = 0,68 \text{ kN m} & Mxmax_{freq} &:= Mmaxq + Mmaxg = 41,288 \text{ kN m} \\
 \Delta M_{freq} &:= Mxmax_{freq} - Mxmin_{freq} = 40,608 \text{ kN m}
 \end{aligned}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{Espaçamentoadotado} = 6,25 \quad area\_bitola = 0,0002 \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$As_f := NB \cdot area\_bitola = 12,5664 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

**posição da linha neutra**

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot As_f + \sqrt{(\alpha_e \cdot As_f)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 5,0106 \text{ cm}$$



**Momento de Inercia**

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha e \cdot A s_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 16732,9669 \text{ cm}^4$$

**Variação máxima de tensão**

$$\Delta \sigma S_s := \alpha e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 242,4254 \text{ MPa}$$

```

if  $\Delta \sigma S_s \leq 190 \text{ MPa}$  = "Não Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"

```

```
Num_bitolasadotadas := 10
```

**Espaçamento**

```
Comprimento := L2X
```

```
Num_espaçamento := Num_bitolasadotadas - 1 = 9
```

```
Espaçamento := Num_espaçamento · Comprimento = 225 m
```

```
EspaçamentoReal :=  $\frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamento}}$  · 100 = 11,11
```

```
Espaçamentoadotado := 11 cm
```

**Espaçamento máximo**

```
if Hlaje · 2 > 20 cm
```

```
  Smax := 20 cm
```

```
else
```

```
  Smax := Hlaje · 2
```

```
Smax = 20 cm
```

```
if Espaçamentoadotado > Smax
```

```
  Espaçamentoadotado := Smax
```

```
Espaçamentoadotado = 11 cm
```

**Numero de bitolas totais**

```
NumbitolasT :=  $\frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamentoadotado}}$  = 227
```

```

COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)
6118 - 2023

```

### 9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2 \phi$ ;
- em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4 \phi$ ;
- em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8 \phi$ .

Logo

$$\text{Comprimento ancoragem} := 8 \cdot \text{bitola} = 12,8 \text{ cm}$$

### VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

$$M_{\min q} := M_{xmq} \cdot 0 \quad M_{\min g} := M_{xmg} \quad M_{\max q} := M_{xmq} \cdot 0,8 \quad M_{\max g} := M_{xmg}$$

$$M_{x\min_{freq}} := M_{\min q} + M_{\min g} = 0,68 \text{ kN m} \quad M_{x\max_{freq}} := M_{\max q} + M_{\max g} = 41,288 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{freq} := M_{x\max_{freq}} - M_{x\min_{freq}} = 40,608 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{\text{Espaçamento adotado}} = 9,0909 \quad \text{area\_bitola} = 0,0002 \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$A_{s_f} := NB \cdot \text{area\_bitola} = 18,2784 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot A_{s_f} + \sqrt{(\alpha_e \cdot A_{s_f})^2 + 2 \cdot b_w \cdot \alpha_e \cdot d \cdot A_{s_f}}}{b_w} = 5,7995 \text{ cm}$$

Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{b_w \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_{s_f} \cdot (d - x_{ii})^2 = 21974,5347 \text{ cm}^4$$

Variação máxima de tensão

$$\Delta \sigma_s := \alpha_e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 170,0215 \text{ MPa}$$

```
if  $\Delta \sigma_s \leq 190 \text{ MPa}$  = "Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"
```

### Verificação e Formação de Fissura

$$\alpha := 1,5 \quad y_t := \frac{H_{laje}}{2} = 10 \text{ cm} \quad F_{ct} := 0,7 \cdot \left( 0,3 \cdot \left( \sqrt[3]{f_{ck}^2} \right) \right) \cdot \frac{1,7955}{10} = 0,1795$$

$$I_C := \frac{b_w \cdot H_{laje}^3}{12} = 66666,6667 \text{ cm}^4$$

Momento fissuração para lajes

$$M_r := \frac{\alpha \cdot F_{ct} \cdot I_c}{Y_t}$$

$$M_r := 2027,528 \text{ kN cm}$$

Momento fletor maximo meio do vão

$$M_{d_{rara}} := M_{xmg} + M_{xmQ} = 5144 \text{ kN cm}$$

$$\text{if } M_r < M_{d_{rara}}$$

$$m := \text{"Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"}$$

$$\text{else}$$

$$m := \text{"não ocorre fissuras"}$$

$$m = \text{"Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"}$$

Verificação de Abertura de Fissuras

barras nervuradas

$$M_{d_{freq}} := M_{xmg} + 0,5 \cdot M_{xmQ} = 26,06 \text{ kN m} \quad \alpha_e := 15 \quad \eta_1 := 2,25$$

$$bitola = 16 \text{ mm} \quad d' = 5 \text{ cm} \quad E_{si} := 210 \text{ GPa}$$

$$f_{ct_m} := 0,3 \cdot \left( f_{ck}^{\frac{2}{3}} \right)$$

$$f_{ct_m} := 0,22104 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{cri} := b_w \cdot (d' + 8 \cdot bitola) = 1780 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{cri} := \frac{A_{s_f}}{A_{cri}} = 1,0269 \%$$

O cálculo no estágio II (que admite comportamento linear dos materiais e despreza a resistência à tração do concreto) pode ser feito considerando a relação  $\alpha_e$  entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto igual a 15.

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot A_{s_f} + \sqrt{(A_{s_f} \cdot \alpha_e)^2 + 2 \cdot b_w \cdot \alpha_e \cdot d \cdot A_{s_f}}}{b_w} = 6,7329 \text{ cm}$$

$$I_{ii} := \frac{b_w \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_{s_f} \cdot (d - x_{ii})^2 = 28912,3469 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{si} := \alpha_e \cdot \left( \frac{M_{d_{freq}} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 11,1772 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

logo

O valor característico da abertura de fissuras ( $w_k$ ), determinado para cada parte da região de envolvimento, é o menor obtido pelas expressões a seguir.

$$w_k = \frac{\phi_i}{12.5\eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \frac{3\sigma_{Si}}{f_{ct,m}} \quad (8.161)$$

$$w_k = \frac{\phi_i}{12.5\eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \left( \frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right) \quad (8.162)$$

$$Wk1 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \right) \cdot \left( \frac{3 \cdot \sigma_{si}}{f_{ctm}} \right) = 0,0459 \text{ mm}$$

$$Wk2 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{Esi} \right) \cdot \left( \frac{4}{\rho_{cri}} + 45 \right) = 0,1316 \text{ mm}$$

```

if  $Wk1 < Wk2$ 
     $Wk := Wk1$ 
else
     $Wk := Wk2$ 

```

### Abertura da fissura


$w_k = 0,0459 \text{ mm}$

```
if Wk < 0,3 mm = "okay"
    "okay"
else
    "não okay"
```

[-]Laje3

$$L3X = 25 \text{ m} \qquad L3Y = 2,92 \text{ m}$$

[-] tabelas



**Dimensões:**

lx = 2,92 m

ly = 25,00 m

t = 0,5962 m

a = 2 m

**Vinculações:**

Borda superior: Apoiada

Borda inferior: Apoiada

Borda esquerda: Engastada

Borda direita: Engastada

**Direção do tráfego:** ● ○ ◀▶

**Coefficiente de Impacto ( $\varphi$ ):** 1,60

Calcular

Mxm

Mym

Mxe

lx/a	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0	p	p <sup>+</sup>
0,5	0,118	0,083	0,041	0,02	0,0	0,0
1,0	0,171	0,129	0,078	0,061	0,0	0,0
1,5	0,227	0,18	0,131	0,127	0,0	0,05
2,0	0,289	0,241	0,2	0,185	0,0	0,2
2,5	0,347	0,305	0,265	0,235	0,0	0,45
3,0	0,4	0,358	0,322	0,291	0,0	0,85
4,0	0,51	0,468	0,431	0,395	0,05	1,72
5,0	0,6	0,56	0,53	0,48	0,14	2,84
6,0	0,69	0,66	0,62	0,57	0,26	4,5
7,0	0,76	0,73	0,7	0,63	0,4	6,9
8,0	0,82	0,8	0,76	0,69	0,56	9,4
9,0	0,87	0,84	0,81	0,73	0,7	12,2
10,0	0,9	0,87	0,83	0,75	0,9	16,8

Resultados:

Tabela Utilizada: 93

Cargas Móveis:

M<sub>lc</sub>=0,17

M<sub>p</sub>=0,00

M<sub>p</sub>=0,05

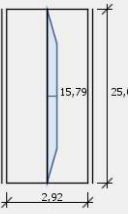
M<sub>m</sub>=20,34 kN.m/m

Cargas Permanentes:

k<sub>sd</sub>=0,04

M<sub>sd</sub>=0,34 kN.m/m

Dimensões: Vinculações:



$l_x = 2,92$  m    Borda superior: Apoiada  
 $l_y = 25,00$  m    Borda inferior: Apoiada  
 $t = 0,5962$  m    Borda esquerda: Engastada  
 $a = 2$  m    Borda direita: Engastada

Direção do tráfego: ☒  $\updownarrow$  ☐  $\leftrightarrow$

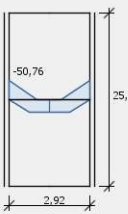
Coefficiente de Impacto ( $\psi$ ): 1,60

**Calcular**    Mxm    **Mym**    Mxe

lx/ay	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125 L	0,250 L	0,5 L	1,0 L	p	p'
0,5	0,095	0,054	0,032	0,005	0,0	0,0
1,0	0,148	0,092	0,058	0,02	0,0	0,0
1,5	0,203	0,147	0,081	0,045	0,0	0,02
2,0	0,257	0,206	0,116	0,079	0,0	0,05
2,5	0,296	0,248	0,156	0,118	0,0	0,11
3,0	0,331	0,284	0,2	0,166	0,02	0,22
4,0	0,401	0,352	0,287	0,254	0,08	0,45
5,0	0,46	0,416	0,367	0,333	0,18	0,74
6,0	0,52	0,482	0,44	0,411	0,32	1,17
7,0	0,58	0,54	0,51	0,475	0,54	1,78
8,0	0,64	0,6	0,57	0,53	0,8	2,37
9,0	0,68	0,65	0,62	0,58	1,04	3,13
10,0	0,73	0,7	0,65	0,62	1,28	3,96

**Resultados:**  
Tabela Utilizada: 93  
Cargas Móveis:  
ML=0,13  
Mp=0,00  
Mym=15,79 kN.m/m  
Cargas Permanentes:  
kym=0,01  
Mym=0,06 kN.m/m

Dimensões: Vinculações:



$l_x = 2,92$  m    Borda superior: Apoiada  
 $l_y = 25,00$  m    Borda inferior: Apoiada  
 $t = 0,5962$  m    Borda esquerda: Engastada  
 $a = 2$  m    Borda direita: Engastada

Direção do tráfego: ☒  $\updownarrow$  ☐  $\leftrightarrow$

Coefficiente de Impacto ( $\psi$ ): 1,60

**Calcular**    Mxm    Mym    **Mxe**

lx/ay	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125 L	0,250 L	0,5 L	1,0 L	p	p'
0,5	0,25	0,19	0,12	0,05	0,0	0,05
1,0	0,32	0,25	0,18	0,09	0,0	0,1
1,5	0,47	0,43	0,35	0,23	0,0	0,35
2,0	0,64	0,61	0,54	0,398	0,0	0,8
2,5	0,76	0,74	0,69	0,55	0,01	1,45
3,0	0,87	0,85	0,81	0,71	0,05	2,1
4,0	1,05	1,05	1,01	0,97	0,1	3,4
5,0	1,21	1,21	1,18	1,15	0,33	4,7
6,0	1,34	1,34	1,31	1,28	0,8	7,0
7,0	1,44	1,44	1,42	1,39	1,4	10,3
8,0	1,52	1,52	1,5	1,47	2,1	15,0
9,0	1,57	1,57	1,56	1,53	3,0	20,4
10,0	1,59	1,59	1,58	1,56	3,74	25,9

**Resultados:**  
Tabela Utilizada: 93  
Cargas Móveis:  
ML=0,40  
Mp=0,00  
Mxe=-50,76 kN.m/m  
Cargas Permanentes:  
kxe=0,08  
Mxe=0,68 kN.m/m

## Armaduras Principal

$$Mxm_q := 20,34 \cdot (\text{kN m}) \quad Mxm_g := 0,34 \cdot (\text{kN m})$$

## Cálculo do momento de desing

$$Mxm_{qd} := Mxm_q \cdot 1,5 = 30,51 \text{ (kN m)} \quad Mxm_{gd} := 1,35 \cdot Mxm_g = 0,459 \text{ kN m}$$

$$Mxmd := Mxm_{qd} + Mxm_{gd} = 30,969 \text{ kN m}$$

## Cálculo da área de aço:

$$b_w := 100 \text{ cm} \quad d' := 5 \text{ cm} \quad f_{ck} := 30 \text{ MPa} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad f_{yk} := 500 \text{ MPa} = 50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$d := H_{laje} - d' = 15 \text{ cm}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{1,4} \quad f_{yd} := \frac{f_{yk}}{1,15}$$

$$Mxmd = 30,969 \text{ kN m}$$

Cálculo da ductilidade  $\xi$  da seção transversal

$a := 0,4$

$b := -1$

$c := \frac{M_{xmd}}{(0,68 \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd})} = 0,0945$

$\Delta := b^2 - 4 \cdot a \cdot c = 0,8489$

if  $\Delta < 0$  = "Ok"

"Seção Inválida"

else

"Ok"

$raiz_1 := \frac{(-b + \sqrt{\Delta})}{(2 \cdot a)} = 2,4017$

$raiz_2 := \frac{(-b - \sqrt{\Delta})}{(2 \cdot a)} = 0,0983$

$\epsilon := \min([raiz_1 \ raiz_2]) = 0,0983$

Verificação de necessidade de armadura dupla

if  $\epsilon \leq 0,45$  = "okay"

"okay"

else

"não okay"

**Posição da Linha Neutra:**

$x := \epsilon \cdot d = 1,4749$  cm

$y := 0,8 \cdot x = 1,1799$  cm

**Definição dos Domínios:**

$Dominio := ""$

if  $\epsilon < 0$

= "Dominio 2"

"Dominio 1"

else

if  $((0 < \epsilon) \wedge (\epsilon \leq 0,259))$

"Dominio 2"

else

if  $((0,259 < \epsilon) \wedge (\epsilon \leq 0,450))$

"Dominio 3a"

else

if  $((0,450 < \epsilon) \wedge (\epsilon \leq 0,628))$

"Dominio 3b"

else

if  $((0,628 < \epsilon) \wedge (\epsilon \leq 1))$

"Dominio 4"

else

"Dominio 5"

**Área de Aço:**

$$bitola := 12,5 \text{ mm}$$

$$A_s := \frac{M_{xmd}}{(f_y d \cdot (d - 0,4 \cdot x))} = 4,94 \text{ cm}^2$$

$$taxa\_armadura := \frac{0,208}{100} = 0,0021$$

$$A_{s,min} := taxa\_armadura \cdot bw \cdot (d + d') = 4,16 \text{ cm}^2$$

$$area\_bitola := \pi \cdot \frac{(bitola^2)}{4} = 0,0001 \text{ m}^2$$

$$num\_bitolas := \frac{A_s}{area\_bitola} = 4,03$$

$$casas\_decimais := \text{mod}(num\_bitolas; 1) = 0,0279$$

$$\text{if } casas\_decimais \leq 0,5$$

$$Num\_bitolasadotadas := num\_bitolas + (1 - casas\_decimais)$$

$$\text{else}$$

$$Num\_bitolasadotadas := \text{round}(num\_bitolas; 0)$$

$$Num\_bitolasadotadas = 5$$

**Espaçamento**

$$Comprimento := L3X$$

$$Num\_espaçamento := Num\_bitolasadotadas - 1 = 4$$

$$Espaçamento := Num\_espaçamento \cdot Comprimento = 100 \text{ m}$$

$$EspaçamentoReal := \frac{Comprimento}{Espaçamento} \cdot 100 = 25$$

$$Espaçamentoadotado := 20 \text{ cm}$$

**Espaçamento máximo**

$$\text{if } H_{laje} \cdot 2 > 20 \text{ cm}$$

$$S_{max} := 20 \text{ cm}$$

$$\text{else}$$

$$S_{max} := H_{laje} \cdot 2$$

$$S_{max} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{if } Espaçamentoadotado > S_{max}$$

$$Espaçamentoadotado := S_{max}$$

$$Espaçamentoadotado = 20 \text{ cm}$$

**Numero de bitolas totais**

$$NumbitolasT := \frac{Comprimento}{Espaçamentoadotado} = 125$$

COMPRIIMENTO DE ANCORAGEM(virada)

6118 - 2023

### 9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2\phi$ ;
- b) em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4\phi$ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8\phi$ .

Logo

$$\text{Comprimento ancoragem} := 8 \cdot \text{bitola} = 10 \text{ cm}$$

### VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

$$M_{minq} := M_{xm}q \cdot 0 \quad M_{ming} := M_{xm}g \quad M_{maxq} := M_{xm}q \cdot 0,8 \quad M_{maxg} := M_{xm}g$$

$$M_{x_{min}freq} := M_{minq} + M_{ming} = 0,34 \text{ kN m} \quad M_{x_{max}freq} := M_{maxq} + M_{maxg} = 16,612 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{freq} := M_{x_{max}freq} - M_{x_{min}freq} = 16,272 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{\text{Espaçamento adotado}} = 5 \quad \text{area\_bitola} = 0,0001 \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$A_{s_f} := NB \cdot \text{area\_bitola} = 6,1359 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot A_{s_f} + \sqrt{(\alpha_e \cdot A_{s_f})^2 + 2 \cdot b_w \cdot \alpha_e \cdot d \cdot A_{s_f}}}{b_w} = 3,7205 \text{ cm}$$

Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{b_w \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_{s_f} \cdot (d - x_{ii})^2 = 9523,2119 \text{ cm}^4$$

Variação máxima de tensão

$$\Delta \sigma_{S_s} := \alpha_e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 192,7293 \text{ MPa}$$

```
if ΔσSs ≤ 190 MPa = "Não Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"
```

$$\text{Num\_bitolas adotadas} := 7$$

Espaçamento

$$\text{Comprimento} := L3X$$

$$\text{Num\_espaçamento} := \text{Num\_bitolas adotadas} - 1 = 6$$



$$Espaceamento := Num\_espaceamento \cdot Comprimento = 150 \text{ m}$$

$$EspaceamentoReal := \frac{Comprimento}{Espaceamento} \cdot 100 = 16,67 \quad \boxed{Espaceamentoadotado := 16 \text{ cm}}$$

### Espaceamento máximo

```
if Hlaje · 2 > 20 cm
    Smax := 20 cm
else
    Smax := Hlaje · 2

Smax = 20 cm
```

```
if Espaceamentoadotado > Smax
    Espaceamentoadotado := Smax
```

$$Espaceamentoadotado = 16 \text{ cm}$$

### Numero de bitolas totais

$$NumbitolasT := \frac{Comprimento}{Espaceamentoadotado} = 156$$

**COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)**  
6118 - 2023

#### 9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2 \phi$ ;
- b) em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4 \phi$ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8 \phi$ .

### Logo

$$Comprimento ancoragem := 8 \cdot bitola = 10 \text{ cm}$$

### VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

$$Mminq := Mxm q \cdot 0 \quad Mming := Mxm g \quad Mmaxq := Mxm q \cdot 0,8 \quad Mmaxg := Mxm g$$

$$Mxmin_{freq} := Mminq + Mming = 0,34 \text{ kN m} \quad Mxmax_{freq} := Mmaxq + Mmaxg = 16,612 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{freq} := Mxmax_{freq} - Mxmin_{freq} = 16,272 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{Espaceamentoadotado} = 6,25 \quad area\_bitola = 0,0001 \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$As_f := NB \cdot area\_bitola = 7,6699 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha e \cdot A s_f + \sqrt{(A s_f \cdot \alpha e)^2 + 2 \cdot b w \cdot \alpha e \cdot d \cdot A s_f}}{b w} = 4,0908 \text{ cm}$$

Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{b w \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha e \cdot A s_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 11409,9383 \text{ cm}^4$$

Variação maxima de tensão

$$\Delta \sigma S_s := \alpha e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 155,5791 \text{ MPa}$$

```

if ΔσSs ≤ 190 MPa = "Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"

```

#### Verificação e Formação de Fissura

$$\alpha := 1,5 \quad Yt := \frac{H l a j e}{2} = 10 \text{ cm} \quad F_{ct} := 0,7 \cdot \left( 0,3 \cdot \left( \sqrt[3]{f_{ck}^2} \right) \right) \frac{1,7955}{10} = 0,1795$$

$$I_C := \frac{b w \cdot H l a j e^3}{12} = 66666,6667 \text{ cm}^4$$

Momento fissuração para lajes

$$M_r := \frac{\alpha \cdot F_{ct} \cdot I_C}{Yt}$$

$$M_r := 2027,528 \text{ kN cm}$$

Momento fletor maximo meio do vão

$$M d_{rara} := M x m g + M x m q = 2068 \text{ kN cm}$$

if  $M_r < M d_{rara}$

$m :=$  "Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"

else

$m :=$  "não ocorre fissuras"

$m =$  "Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"

#### Verificação de Abertura de Fissuras

barras nervuradas

$$M d_{freq} := M x m g + 0,5 \cdot M x m q = 10,51 \text{ kN m} \quad \alpha e := 15 \quad \eta_1 := 2,25$$

$$bitola = 12,5 \text{ mm} \quad d' = 5 \text{ cm} \quad E s i := 210 \text{ GPa}$$

$$fct_m := 0,3 \cdot \left( fck \cdot \frac{2}{3} \right)$$

$$fct_m := 0,28964 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{cri} := bw \cdot (d' + 8 \cdot bitola) = 1500 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{cri} := \frac{As_f}{A_{cri}} = 0,5113 \%$$

O cálculo no estágio II (que admite comportamento linear dos materiais e despreza a resistência à tração do concreto) pode ser feito considerando a relação  $\alpha_e$  entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto igual a 15.

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot As_f + \sqrt{(As_f \cdot \alpha_e)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 4,836 \text{ cm}$$

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot As_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 15655,2772 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{si} := \alpha_e \cdot \left( \frac{Md_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 10,2352 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

logo

O valor característico da abertura de fissuras ( $w_k$ ), determinado para cada parte da região de envolvimento, é o menor obtido pelas expressões a seguir.

$$w_k = \frac{\phi_i}{12,5\eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \frac{3\sigma_{Si}}{f_{ct,m}} \quad (8.161)$$

$$w_k = \frac{\phi_i}{12,5\eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \left( \frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right) \quad (8.162)$$

$$wk1 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \right) \cdot \left( \frac{3 \cdot \sigma_{si}}{fct_m} \right) = 0,023 \text{ mm}$$

$$wk2 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \right) \cdot \left( \frac{4}{\rho_{cri}} + 45 \right) = 0,1792 \text{ mm}$$

if  $wk1 < wk2$

$wk := wk1$

else

$wk := wk2$

Abertura da fissura

$$wk = 0,023 \text{ mm}$$

if  $wk < 0,3 \text{ mm} = \text{"okay"}$

$\text{"okay"}$

else

$\text{"não okay"}$

## Armaduras Secundária

$$M_{xmq} := 15,79 \cdot (\text{kN m}) \quad M_{xmg} := 0,06 \cdot (\text{kN m})$$

### Cálculo do momento de desing

$$M_{xmqd} := M_{xmq} \cdot 1,5 = 23,685 (\text{kN m}) \quad M_{xmgd} := 1,35 \cdot M_{xmg} = 0,081 \text{ kN m}$$

$$M_{xmd} := M_{xmqd} + M_{xmgd} = 23,766 \text{ kN m}$$

### Cálculo da área de aço:

$$b_w := 100 \text{ cm} \quad d' := 5 \text{ cm} \quad f_{ck} := 30 \text{ MPa} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad f_{yk} := 500 \text{ MPa} = 50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$d := H_{laje} - d' = 15 \text{ cm}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{1,4}$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{1,15}$$

$$M_{xmd} = 23,766 \text{ kN m}$$

### Cálculo da ductilidade $\xi$ da seção transversal

$$a := 0,4$$

$$b := -1$$

$$c := \frac{M_{xmd}}{(0,68 \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd})} = 0,0725$$

$$\text{delta} := b^2 - 4 \cdot a \cdot c = 0,884$$

$$\text{if } \text{delta} < 0 \quad = \text{"Ok"}$$

"Seção Inválida"

else

"Ok"

$$\text{raiz}_1 := \frac{(-b + \sqrt{\text{delta}})}{(2 \cdot a)} = 2,4253$$

$$\text{raiz}_2 := \frac{(-b - \sqrt{\text{delta}})}{(2 \cdot a)} = 0,0747$$

$$\text{epsilon} := \min \left( \left[ \text{raiz}_1 \quad \text{raiz}_2 \right] \right) = 0,0747$$

### Verificação de necessidade de armadura dupla

$$\text{if } \text{epsilon} \leq 0,45 = \text{"okay"}$$

"okay"

else

"não okay"

### Posição da Linha Neutra:

$$x := \text{epsilon} \cdot d = 1,1208 \text{ cm}$$

$$y := 0,8 \cdot x = 0,8967 \text{ cm}$$

**Definição dos Domínios:**

```

Dominio := ""
if epslon < 0                                     = "Dominio 2"
    "Dominio 1"
else
    if (((0 < epslon)) ∧ (epslon ≤ 0,259))
        "Dominio 2"
    else
        if (((0,259 < epslon)) ∧ (epslon ≤ 0,450))
            "Dominio 3a"
        else
            if (((0,450 < epslon)) ∧ (epslon ≤ 0,628))
                "Dominio 3b"
            else
                if (((0,628 < epslon)) ∧ (epslon ≤ 1))
                    "Dominio 4"
                else
                    "Dominio 5"

```

**Área de Aço:**

$bitola := 10 \text{ mm}$

$$A_s := \frac{Mxmd}{(fyd \cdot (d - 0,4 \cdot x))} = 3,76 \text{ cm}^2$$

$$taxa\_armadura := \frac{0,208}{100} = 0,0021$$

$$A_{s,min} := taxa\_armadura \cdot bw \cdot (d + d') = 4,16 \text{ cm}^2$$

$$area\_bitola := \pi \cdot \frac{(bitola^2)}{4} = 7,854 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$num\_bitolas := \frac{A_s}{area\_bitola} = 4,78$$

$$casas\_decimais := \text{mod}(num\_bitolas; 1) = 0,7828$$

```

if casas_decimais ≤ 0,5
    Num_bitolasadotadas := num_bitolas + (1 - casas_decimais)
else
    Num_bitolasadotadas := round(num_bitolas; 0)

```

$$Num\_bitolasadotadas = 5$$

**Espaçamento**

$$Comprimento := L3Y \quad Num\_espaçamento := Num\_bitolasadotadas - 1 = 4$$

$$Espaçamento := Num\_espaçamento \cdot Comprimento = 11,68 \text{ m}$$

$$EspaçamentoReal := \frac{Comprimento}{Espaçamento} \cdot 100 = 25$$

$$Espaçamentoadotado := 20 \text{ cm}$$

**Espaçamento máximo**

```

if Hlaje · 2 > 20 cm
  Smax := 20 cm
else
  Smax := Hlaje · 2

```

```

Smax = 20 cm

```

```

if Espaçamentoadotado > Smax
  Espaçamentoadotado := Smax

```

```

Espaçamentoadotado = 20 cm

```

**Numero de bitolas totais**

$$NumbitolasT := \frac{Comprimento}{Espaçamentoadotado} = 15$$

**COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)**  
 6118 – 2023

**9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração**

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2\phi$ ;
- b) em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4\phi$ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8\phi$ .

**Logo**

```

Comprimentoancoragem := 8 · bitola = 8 cm

```

**VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA**

```

Mminq := Mxm q · 0   Mming := Mxmg   Mmaxq := Mxm q · 0,8   Mmaxg := Mxmg

```

```

Mxmin_freq := Mminq + Mming = 0,06 kN m   Mxmax_freq := Mmaxq + Mmaxg = 12,692 kN m

```

```

ΔM_freq := Mxmax_freq - Mxmin_freq = 12,632 kN m

```

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{Espaçamentoadotado} = 5$$

$$area\_bitola = 7,854 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$As_f := NB \cdot area\_bitola = 3,927 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

**posição da linha neutra**

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot As_f + \sqrt{(As_f \cdot \alpha_e)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 3,062 \text{ cm}$$

**Momento de Inercia**

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha e \cdot A s_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 6553,5453 \text{ cm}^4$$

**Variação máxima de tensão**

$$\Delta \sigma S_s := \alpha e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 230,105 \text{ MPa}$$

```

if  $\Delta \sigma S_s \leq 190 \text{ MPa}$  = "Não Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"

```

```
Num_bitolasadotadas := 8
```

**Espaçamento**

```
Comprimento := L3Y          Num_espaçamento := Num_bitolasadotadas - 1 = 7
```

```
Espaçamento := Num_espaçamento · Comprimento = 20,44 m
```

```
EspaçamentoReal :=  $\frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamento}} \cdot 100 = 14,29$    Espaçamentoadotado := 14 cm
```

**Espaçamento máximo**

```

if Hlaje · 2 > 20 cm
  Smax := 20 cm
else
  Smax := Hlaje · 2

```

```
Smax = 20 cm
```

```

if Espaçamentoadotado > Smax
  Espaçamentoadotado := Smax

```

```
Espaçamentoadotado = 14 cm
```

**Numero de bitolas totais**

```
NumbitolasT :=  $\frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamentoadotado}} = 21$ 
```

```

COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)
6118 - 2023

```

**9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração**

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2 \phi$ ;
- em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4 \phi$ ;
- em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8 \phi$ .

Logo

$$\text{Comprimento ancoragem} := 8 \cdot \text{bitola} = 8 \text{ cm}$$

### VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

$$M_{minq} := M_{xm}q \cdot 0 \quad M_{ming} := M_{xmg} \quad M_{maxq} := M_{xm}q \cdot 0,8 \quad M_{maxg} := M_{xmg}$$

$$M_{x_{min}_{freq}} := M_{minq} + M_{ming} = 0,06 \text{ kN m} \quad M_{x_{max}_{freq}} := M_{maxq} + M_{maxg} = 12,692 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{freq} := M_{x_{max}_{freq}} - M_{x_{min}_{freq}} = 12,632 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{\text{Espaçamento adotado}} = 7,1429 \quad \text{area\_bitola} = 7,854 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$A_{s_f} := NB \cdot \text{area\_bitola} = 5,61 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot A_{s_f} + \sqrt{(\alpha_e \cdot A_{s_f})^2 + 2 \cdot b_w \cdot \alpha_e \cdot d \cdot A_{s_f}}}{b_w} = 3,5796 \text{ cm}$$

Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{b_w \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_{s_f} \cdot (d - x_{ii})^2 = 8845,7666 \text{ cm}^4$$

Variação máxima de tensão

$$\Delta \sigma_s := \alpha_e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 163,0863 \text{ MPa}$$

```
if Δσs ≤ 190 MPa = "Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"
```

### Verificação e Formação de Fissura

$$\alpha := 1,5 \quad Y_t := \frac{H_{laje}}{2} = 10 \text{ cm} \quad F_{ct} := 0,7 \cdot \left( 0,3 \cdot \left( \sqrt[3]{f_{ck}^2} \right) \right) \cdot \frac{1,7955}{10} = 0,1795$$

$$I_c := \frac{b_w \cdot H_{laje}^3}{12} = 66666,6667 \text{ cm}^4$$

Momento fissuração para lajes

$$M_r := \frac{\alpha \cdot F_{ct} \cdot I_c}{Y_t}$$

$$M_r := 2027,528 \text{ kN cm}$$



Momento fletor maximo meio do vão

$$Md_{rara} := Mxmg + MxmQ = 1585 \text{ kN cm}$$

$$\text{if } Mr < Md_{rara}$$

$m := \text{"Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"}$

else

$m := \text{"não ocorre fissuras"}$

$m = \text{"não ocorre fissuras"}$

### Verificação de Abertura de Fissuras

barras nervuradas

$$Md_{freq} := Mxmg + 0,5 \cdot MxmQ = 7,955 \text{ kN m} \quad \alpha e := 15 \quad \eta_1 := 2,25$$

$$bitola = 10 \text{ mm} \quad d' = 5 \text{ cm} \quad Esi := 210 \text{ GPa}$$

$$fct_m := 0,3 \cdot \left( fck \cdot \frac{2}{3} \right) = 28964,6815$$

$$fct_m := 0,28964 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{cri} := bw \cdot (d' + 8 \cdot bitola) = 1300 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{cri} := \frac{As_f}{A_{cri}} = 0,4315 \%$$

O cálculo no estágio II (que admite comportamento linear dos materiais e despreza a resistência à tração do concreto) pode ser feito considerando a relação  $\alpha_e$  entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto igual a 15.

$$x_{ii} := \frac{-\alpha e \cdot As_f + \sqrt{(As_f \cdot \alpha e)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 4,2529 \text{ cm}$$

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha e \cdot As_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 12283,4115 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{si} := \alpha e \cdot \left( \frac{Md_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 10,4401 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

logo

O valor característico da abertura de fissuras ( $w_k$ ), determinado para cada parte da região de envolvimento, é o menor obtido pelas expressões a seguir.

$$w_k = \frac{\phi_i}{12,5\eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \frac{3\sigma_{Si}}{f_{ct,m}} \quad (8.161)$$

$$w_k = \frac{\phi_i}{12,5\eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \left( \frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right) \quad (8.162)$$

$$w_{k1} := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{Esi} \right) \cdot \left( \frac{3 \cdot \sigma_{si}}{fct_m} \right) = 0,0191 \text{ mm}$$

$$Wk2 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{Esi} \right) \cdot \left( \frac{4}{\rho_{cri}} + 45 \right) = 0,1718 \text{ mm}$$

```
if Wk1 < Wk2
  Wk := Wk1
else
  Wk := Wk2
```

#### Abertura da fissura

$$Wk = 0,0191 \text{ mm}$$

```
if Wk < 0,3 mm = "okay"
  "okay"
else
  "não okay"
```

#### Armaduras Engaste

$$Mxm q := 50,76 \cdot (\text{kN m}) \quad Mxm g := 0,68 \cdot (\text{kN m})$$

#### Cálculo do momento de desing

$$Mxm qd := Mxm q \cdot 1,5 = 76,14 (\text{kN m})$$

$$Mxm gd := 1,35 \cdot Mxm g = 0,918 \text{ kN m}$$

$$Mxmd := Mxm qd + Mxm gd = 77,058 \text{ kN m}$$

#### Cálculo da área de aço:

$$bw := 100 \text{ cm} \quad d' := 5 \text{ cm}$$

$$fck := 30 \text{ MPa} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_y k := 500 \text{ MPa} = 50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$d := Hlaje - d' = 15 \text{ cm}$$

$$fcd := \frac{fck}{1,4}$$

$$fyd := \frac{f_y k}{1,15}$$

$$Mxmd = 77,058 \text{ kN m}$$

#### Cálculo da ductilidade $\xi$ da seção transversal

$$a := 0,4$$

$$b := -1$$

$$c := \frac{Mxmd}{(0,68 \cdot bw \cdot d^2 \cdot fcd)} = 0,235$$

$$\delta := b^2 - 4 \cdot a \cdot c = 0,6239$$

$$\text{if } \delta < 0 \quad = \text{"Ok"}$$

"Seção Inválida"

else

"Ok"

$$raiz_1 := \frac{(-b + \sqrt{\delta})}{(2 \cdot a)} = 2,2374$$

$$raiz_2 := \frac{(-b - \sqrt{\text{delta}})}{(2 \cdot a)} = 0,2626$$

$$\text{epsilon} := \min \left( \left[ \text{raiz}_1 \text{ raiz}_2 \right] \right) = 0,2626$$

Verificação de necessidade de armadura dupla

```
if epsilon ≤ 0,45 = "okay"
    "okay"
else
    "não okay"
```

**Posição da Linha Neutra:**

$$x := \text{epsilon} \cdot d = 3,9394 \text{ cm}$$

$$y := 0,8 \cdot x = 3,1515 \text{ cm}$$

**Definição dos Domínios:**

```
Dominio := ""
if epsilon < 0                                = "Dominio 3a"
    "Dominio 1"
else
    if (((0 < epsilon)) ∧ (epsilon ≤ 0,259))
        "Dominio 2"
    else
        if (((0,259 < epsilon)) ∧ (epsilon ≤ 0,450))
            "Dominio 3a"
        else
            if (((0,450 < epsilon)) ∧ (epsilon ≤ 0,628))
                "Dominio 3b"
            else
                if (((0,628 < epsilon)) ∧ (epsilon ≤ 1))
                    "Dominio 4"
                else
                    "Dominio 5"
```

**Área de Aço:**

$$\text{bitola} := 16 \text{ mm}$$

$$A_s := \frac{M_{xmd}}{(f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x))} = 13,2 \text{ cm}^2$$

$$\text{taxa\_armadura} := \frac{0,208}{100} = 0,0021$$

$$A_{s,min} := \text{taxa\_armadura} \cdot b_w \cdot (d + d') = 4,16 \text{ cm}^2$$

$$\text{area\_bitola} := \pi \cdot \frac{(\text{bitola}^2)}{4} = 0,0002 \text{ m}^2$$

$$\text{num\_bitolas} := \frac{A_s}{\text{area\_bitola}} = 6,57$$

$$\text{casas\_decimais} := \text{mod}(\text{num\_bitolas}; 1) = 0,5664$$

```

if casas_decimais ≤ 0,5
    Num_bitolasdotadas := num_bitolas + (1 - casas_decimais)
else
    Num_bitolasdotadas := round(num_bitolas; 0)

```

$$\text{Num\_bitolasdotadas} = 7$$

### Espaçamento

Comprimento := L3X                      Num\_espaçamento := Num\_bitolasdotadas - 1 = 6

Espaçamento := Num\_espaçamento · Comprimento = 150 m

EspaçamentoReal :=  $\frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamento}} \cdot 100 = 16,67$       Espaçamentoadotado := 16 cm

### Espaçamento máximo

```

if Hlaje · 2 > 20 cm
    Smax := 20 cm
else
    Smax := Hlaje · 2

```

Smax = 20 cm

```

if Espaçamentoadotado > Smax
    Espaçamentoadotado := Smax

```

Espaçamentoadotado = 16 cm

### Numero de bitolas totais

$$\text{NumbitolasT} := \frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamentoadotado}} = 156$$

$$\frac{\text{COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)}}{6118 - 2023}$$

#### 9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2 \phi$ ;
- em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4 \phi$ ;
- em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8 \phi$ .

### Logo

Comprimento ancoragem :=  $8 \cdot \text{bitola} = 12,8 \text{ cm}$

### VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

$M_{minq} := M_{xm q} \cdot 0$      $M_{ming} := M_{xm g}$      $M_{maxq} := M_{xm q} \cdot 0,8$      $M_{maxg} := M_{xm g}$

$M_{xmin_{freq}} := M_{minq} + M_{ming} = 0,68 \text{ kN m}$        $M_{xmax_{freq}} := M_{maxq} + M_{maxg} = 41,288 \text{ kN m}$

$$\Delta M_{freq} := M_{x_{max}_{freq}} - M_{x_{min}_{freq}} = 40,608 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{\text{Espaçamentoadotado}} = 6,25 \quad \text{area\_bitola} = 0,0002 \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$As_f := NB \cdot \text{area\_bitola} = 12,5664 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot As_f + \sqrt{(As_f \cdot \alpha_e)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 5,0106 \text{ cm}$$

Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot As_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 16732,9669 \text{ cm}^4$$

Variação máxima de tensão

$$\Delta \sigma_s := \alpha_e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 242,4254 \text{ MPa}$$

```
if Δσs ≤ 190 MPa = "Não Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"
```

$$\text{Num\_bitolasadotadas} := 10$$

Espaçamento

$$\text{Comprimento} := L3X \quad \text{Num\_espaçamento} := \text{Num\_bitolasadotadas} - 1 = 9$$

$$\text{Espaçamento} := \text{Num\_espaçamento} \cdot \text{Comprimento} = 225 \text{ m}$$

$$\text{EspaçamentoReal} := \frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamento}} \cdot 100 = 11,11 \quad \text{Espaçamentoadotado} := 11 \text{ cm}$$

Espaçamento máximo

```
if Hlaje · 2 > 20 cm
  Smax := 20 cm
else
  Smax := Hlaje · 2
```

$$S_{max} = 20 \text{ cm}$$

```
if Espaçamentoadotado > Smax
  Espaçamentoadotado := Smax
```

$$Espaceamento_{dotado} = 11 \text{ cm}$$

Numero de bitolas totais

$$Num_{bitolasT} := \frac{Comprimento}{Espaceamento_{dotado}} = 227$$

$$\text{COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)} \\ 6118 - 2023$$

#### 9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2 \phi$ ;
- b) em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4 \phi$ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8 \phi$ .

Logo

$$Comprimento_{ancoragem} := 8 \cdot bitola = 12,8 \text{ cm}$$

#### VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

$$M_{minq} := M_{xm q} \cdot 0 \quad M_{ming} := M_{xm g} \quad M_{maxq} := M_{xm q} \cdot 0,8 \quad M_{maxg} := M_{xm g}$$

$$M_{xmin_{freq}} := M_{minq} + M_{ming} = 0,68 \text{ kN m} \quad M_{xmax_{freq}} := M_{maxq} + M_{maxg} = 41,288 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{freq} := M_{xmax_{freq}} - M_{xmin_{freq}} = 40,608 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{Espaceamento_{dotado}} = 9,0909 \quad area_{bitola} = 0,0002 \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$As_f := NB \cdot area_{bitola} = 18,2784 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot As_f + \sqrt{(\alpha_e \cdot As_f)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 5,7995 \text{ cm}$$

Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot As_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 21974,5347 \text{ cm}^4$$

Variação máxima de tensão

$$\Delta \sigma_{S_s} := \alpha_e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 170,0215 \text{ MPa}$$

```

if  $\Delta\sigma_s \leq 190 \text{ MPa}$  = "Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"

```

### Verificação e Formação de Fissura

$$\alpha := 1,5 \quad Y_t := \frac{H l a j e}{2} = 10 \text{ cm} \quad F_{ct} := 0,7 \cdot \left( 0,3 \cdot \left( \sqrt[3]{f_{ck}^2} \right) \right) \cdot \frac{1,7955}{10} = 0,1795$$

$$I_c := \frac{b w \cdot H l a j e^3}{12} = 66666,6667 \text{ cm}^4$$

### Momento fissuração para lajes

$$M_r := \frac{\alpha \cdot F_{ct} \cdot I_c}{Y_t}$$

$$M_r := 2027,528 \text{ kN cm}$$

### Momento fletor maximo meio do vão

$$M d_{rara} := M x m g + M x m q = 5144 \text{ kN cm}$$

```

if  $M_r < M d_{rara}$ 
  m := "Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"
else
  m := "não ocorre fissuras"

```

$m = \text{"Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"}$

### Verificação de Abertura de Fissuras

barras nervuradas

$$M d_{freq} := M x m g + 0,5 \cdot M x m q = 26,06 \text{ kN m} \quad \alpha_e := 15 \quad \eta_1 := 2,25$$

$$bitola = 16 \text{ mm} \quad d' = 5 \text{ cm} \quad E_{si} := 210 \text{ GPa}$$

$$f_{ct_m} := 0,3 \cdot \left( f_{ck}^{\frac{2}{3}} \right)$$

$$f_{ct_m} := 0,22104 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{cri} := b w \cdot (d' + 8 \cdot bitola) = 1780 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{cri} := \frac{A_{s_f}}{A_{cri}} = 1,0269 \%$$

O cálculo no estágio II (que admite comportamento linear dos materiais e despreza a resistência à tração do concreto) pode ser feito considerando a relação  $\alpha_e$  entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto igual a 15.

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot A_{s_f} + \sqrt{(A_{s_f} \cdot \alpha_e)^2 + 2 \cdot b w \cdot \alpha_e \cdot d \cdot A_{s_f}}}{b w} = 6,7329 \text{ cm}$$

$$I_{ii} := \frac{b w \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_{s_f} \cdot (d - x_{ii})^2 = 28912,3469 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{si} := ae \cdot \left( \frac{Md_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 11,1772 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

logo

O valor característico da abertura de fissuras ( $w_k$ ), determinado para cada parte da região de envolvimento, é o menor obtido pelas expressões a seguir.

$$w_k = \frac{\phi_i}{12.5\eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \frac{\partial \sigma_{Si}}{\partial f_{ct,m}} \quad (8.161)$$

$$w_k = \frac{\phi_i}{12.5\eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \left( \frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right) \quad (8.162)$$

$$wk1 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \right) \cdot \left( \frac{3 \cdot \sigma_{si}}{f_{ct,m}} \right) = 0,0459 \text{ mm}$$

$$wk2 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \right) \cdot \left( \frac{4}{\rho_{cri}} + 45 \right) = 0,1316 \text{ mm}$$

```
if wk1 < wk2
  wk := wk1
else
  wk := wk2
```

Abertura da fissura

$$wk = 0,0459 \text{ mm}$$

```
if wk < 0,3 mm = "okay"
  "okay"
else
  "não okay"
```

☐ — Laje4 —

$$L4X = 25 \text{ m} \quad L4Y = 2,92 \text{ m}$$



tabelas

**Dimensões:**

$l_x = 2,92$  m

$l_y = 25,00$  m

$t = 0,5962$  m

$a = 2$  m

**Vinculações:**

Borda superior: Apoiada

Borda inferior: Apoiada

Borda esquerda: Engastada

Borda direita: Engastada

Direção do tráfego:

Coeficiente de Impacto ( $\psi$ ): 1,60

**Calcular**
Mxm Mym Mxe

$l_x/a$	$t/a$				Para todos os valores de $t/a$	
	0,125	0,250	0,5	1,0	$p$	$p'$
0,5	0,118	0,083	0,041	0,02	0,0	0,0
1,0	0,171	0,129	0,078	0,061	0,0	0,0
1,5	0,227	0,18	0,131	0,127	0,0	0,05
2,0	0,289	0,241	0,2	0,185	0,0	0,2
2,5	0,347	0,305	0,265	0,235	0,0	0,45
3,0	0,4	0,358	0,322	0,291	0,0	0,85
4,0	0,51	0,468	0,431	0,395	0,05	1,72
5,0	0,6	0,56	0,53	0,48	0,14	2,84
6,0	0,69	0,66	0,62	0,57	0,26	4,5
7,0	0,76	0,73	0,7	0,63	0,4	6,9
8,0	0,82	0,8	0,76	0,69	0,56	9,4
9,0	0,87	0,84	0,81	0,73	0,7	12,2
10,0	0,9	0,87	0,83	0,75	0,9	15,85

**Resultados:**

Tabela Utilizada: 93

Cargas Móveis:

$M_L = 0,17$

$M_P = 0,00$

$M_{xm} = 20,34$  kN.m/m

Cargas Permanentes:

$K_{xm} = 0,04$

$M_{xm} = 0,34$  kN.m/m

**Dimensões:**

$l_x = 2,92$  m

$l_y = 25,00$  m

$t = 0,5962$  m

$a = 2$  m

**Vinculações:**

Borda superior: Apoiada

Borda inferior: Apoiada

Borda esquerda: Engastada

Borda direita: Engastada

Direção do tráfego:

Coeficiente de Impacto ( $\psi$ ): 1,60

**Calcular**
Mxm Mym Mxe

$l_x/a$	$t/a$				Para todos os valores de $t/a$	
	0,125	0,250	0,5	1,0	$p$	$p'$
0,5	0,095	0,054	0,032	0,005	0,0	0,0
1,0	0,148	0,092	0,058	0,02	0,0	0,0
1,5	0,203	0,147	0,081	0,045	0,0	0,02
2,0	0,257	0,206	0,116	0,079	0,0	0,05
2,5	0,296	0,248	0,156	0,118	0,0	0,11
3,0	0,331	0,284	0,2	0,166	0,02	0,22
4,0	0,401	0,352	0,287	0,254	0,08	0,45
5,0	0,46	0,416	0,367	0,333	0,18	0,74
6,0	0,52	0,482	0,44	0,411	0,32	1,17
7,0	0,58	0,54	0,51	0,475	0,54	1,78
8,0	0,64	0,6	0,57	0,53	0,8	2,37
9,0	0,68	0,65	0,62	0,58	1,04	3,13
10,0	0,73	0,7	0,65	0,62	1,28	3,96

**Resultados:**

Tabela Utilizada: 93

Cargas Móveis:

$M_L = 0,13$

$M_P = 0,00$

$M_{ym} = 15,79$  kN.m/m

Cargas Permanentes:

$K_{ym} = 0,01$

$M_{ym} = 0,06$  kN.m/m

**Dimensões:**

$l_x = 2,92$  m

$l_y = 25,00$  m

$t = 0,5962$  m

$a = 2$  m

**Vinculações:**

Borda superior: Apoiada

Borda inferior: Apoiada

Borda esquerda: Engastada

Borda direita: Engastada

Direção do tráfego:

Coeficiente de Impacto ( $\psi$ ): 1,60

**Calcular**
Mxm Mym Mxe

$l_x/a$	$t/a$				Para todos os valores de $t/a$	
	0,125	0,250	0,5	1,0	$p$	$p'$
0,5	0,25	0,19	0,12	0,05	0,0	0,05
1,0	0,32	0,23	0,13	0,09	0,0	0,1
1,5	0,47	0,43	0,25	0,23	0,0	0,35
2,0	0,64	0,61	0,54	0,398	0,0	0,8
2,5	0,76	0,74	0,69	0,55	0,01	1,45
3,0	0,87	0,85	0,81	0,71	0,05	2,1
4,0	1,05	1,05	1,01	0,97	0,1	3,4
5,0	1,21	1,21	1,18	1,15	0,33	4,7
6,0	1,34	1,34	1,31	1,28	0,8	7,0
7,0	1,44	1,44	1,42	1,39	1,4	10,3
8,0	1,52	1,52	1,5	1,47	2,1	15,0
9,0	1,57	1,57	1,56	1,53	3,0	20,4
10,0	1,59	1,59	1,58	1,56	3,74	25,9

**Resultados:**

Tabela Utilizada: 93

Cargas Móveis:

$M_L = 0,40$

$M_P = 0,00$

$M_{xe} = -50,76$  kN.m/m

Cargas Permanentes:

$K_{xe} = 0,08$

$M_{xe} = 0,68$  kN.m/m

Not for commercial use  
65 / 105

## Armaduras Principal

$$M_{xmq} := 20,34 \cdot (\text{kN m}) \quad M_{xmg} := 0,34 \cdot (\text{kN m})$$

### Cálculo do momento de desing

$$M_{xmqd} := M_{xmq} \cdot 1,5 = 30,51 (\text{kN m}) \quad M_{xmgd} := 1,35 \cdot M_{xmg} = 0,459 \text{ kN m}$$

$$M_{xmd} := M_{xmqd} + M_{xmgd} = 30,969 \text{ kN m}$$

### Cálculo da área de aço:

$$b_w := 100 \text{ cm} \quad d' := 5 \text{ cm} \quad f_{ck} := 30 \text{ MPa} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad f_{yk} := 500 \text{ MPa} = 50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$d := H_{laje} - d' = 15 \text{ cm}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{1,4}$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{1,15}$$

$$M_{xmd} = 30,969 \text{ kN m}$$

### Cálculo da ductilidade $\xi$ da seção transversal

$$a := 0,4$$

$$b := -1$$

$$c := \frac{M_{xmd}}{(0,68 \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd})} = 0,0945$$

$$\text{delta} := b^2 - 4 \cdot a \cdot c = 0,8489$$

$$\text{if } \text{delta} < 0 \quad = \text{"Ok"}$$

"Seção Inválida"

else

"Ok"

$$\text{raiz}_1 := \frac{(-b + \sqrt{\text{delta}})}{(2 \cdot a)} = 2,4017$$

$$\text{raiz}_2 := \frac{(-b - \sqrt{\text{delta}})}{(2 \cdot a)} = 0,0983$$

$$\text{epsilon} := \min \left( \left[ \text{raiz}_1 \text{ raiz}_2 \right] \right) = 0,0983$$

### Verificação de necessidade de armadura dupla

$$\text{if } \text{epsilon} \leq 0,45 = \text{"okay"}$$

"okay"

else

"não okay"

### Posição da Linha Neutra:

$$x := \text{epsilon} \cdot d = 1,4749 \text{ cm}$$

$$y := 0,8 \cdot x = 1,1799 \text{ cm}$$

**Definição dos Domínios:**

```

Dominio := ""
if epsilon < 0                                     = "Dominio 2"
    "Dominio 1"
else
    if ((0 < epsilon) ∧ (epsilon ≤ 0,259))
        "Dominio 2"
    else
        if ((0,259 < epsilon) ∧ (epsilon ≤ 0,450))
            "Dominio 3a"
        else
            if ((0,450 < epsilon) ∧ (epsilon ≤ 0,628))
                "Dominio 3b"
            else
                if ((0,628 < epsilon) ∧ (epsilon ≤ 1))
                    "Dominio 4"
                else
                    "Dominio 5"

```

**Área de Aço:**

bitola := 12,5 mm

$$A_s := \frac{M_{xmd}}{f_y d \cdot (d - 0,4 \cdot x)} = 4,94 \text{ cm}^2$$

$$\text{taxa\_armadura} := \frac{0,208}{100} = 0,0021$$

$$A_{s,min} := \text{taxa\_armadura} \cdot b_w \cdot (d + d') = 4,16 \text{ cm}^2$$

$$\text{area\_bitola} := \pi \cdot \frac{(\text{bitola})^2}{4} = 0,0001 \text{ m}^2$$

$$\text{num\_bitolas} := \frac{A_s}{\text{area\_bitola}} = 4,03$$

$$\text{casas\_decimais} := \text{mod}(\text{num\_bitolas}; 1) = 0,0279$$

```

if casas_decimais ≤ 0,5
    Num_bitolasadotadas := num_bitolas + (1 - casas_decimais)
else
    Num_bitolasadotadas := round(num_bitolas; 0)

```

$$\text{Num\_bitolasadotadas} = 5$$

**Espaçamento**

$$\text{Comprimento} := L_{4X} \quad \text{Num\_espaçamento} := \text{Num\_bitolasadotadas} - 1 = 4$$

$$\text{Espaçamento} := \text{Num\_espaçamento} \cdot \text{Comprimento} = 100 \text{ m}$$

$$\text{EspaçamentoReal} := \frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamento}} \cdot 100 = 25$$

$$\text{Espaçamentoadotado} := 20 \text{ cm}$$

**Espaçamento máximo**

```

if Hlaje · 2 > 20 cm
  Smax := 20 cm
else
  Smax := Hlaje · 2

Smax = 20 cm

if Espaçamentoadotado > Smax
  Espaçamentoadotado := Smax

Espaçamentoadotado = 20 cm

```

**Numero de bitolas totais**

$$NumbitolasT := \frac{Comprimento}{Espaçamentoadotado} = 125$$

**COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)**  
 6118 – 2023

**9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração**

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2\phi$ ;
- b) em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4\phi$ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8\phi$ .

**Logo**

$Comprimento ancoragem := 8 \cdot bitola = 10 \text{ cm}$

**VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA**

$$\begin{aligned}
 M_{minq} &:= M_{xm q} \cdot 0 & M_{ming} &:= M_{xm g} & M_{maxq} &:= M_{xm q} \cdot 0,8 & M_{maxg} &:= M_{xm g} \\
 M_{xmin_{freq}} &:= M_{minq} + M_{ming} = 0,34 \text{ kN m} & M_{xmax_{freq}} &:= M_{maxq} + M_{maxg} = 16,612 \text{ kN m} \\
 \Delta M_{freq} &:= M_{xmax_{freq}} - M_{xmin_{freq}} = 16,272 \text{ kN m}
 \end{aligned}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{Espaçamentoadotado} = 5 \qquad area\_bitola = 0,0001 \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$As_f := NB \cdot area\_bitola = 6,1359 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

**posição da linha neutra**

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot As_f + \sqrt{(\alpha_e \cdot As_f)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 3,7205 \text{ cm}$$

**Momento de Inercia**

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha e \cdot As_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 9523,2119 \text{ cm}^4$$

**Variação máxima de tensão**

$$\Delta \sigma S_s := \alpha e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 192,7293 \text{ MPa}$$

```

if  $\Delta \sigma S_s \leq 190 \text{ MPa}$  = "Não Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"

```

```
Num_bitolasadotadas := 7
```

**Espaçamento**

```
Comprimento := L4X          Num_espaçamento := Num_bitolasadotadas - 1 = 6
```

```
Espaçamento := Num_espaçamento · Comprimento = 150 m
```

```
EspaçamentoReal :=  $\frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamento}} \cdot 100 = 16,67$    Espaçamentoadotado := 16 cm
```

**Espaçamento máximo**

```

if Hlaje · 2 > 20 cm
  Smax := 20 cm
else
  Smax := Hlaje · 2

```

```
Smax = 20 cm
```

```

if Espaçamentoadotado > Smax
  Espaçamentoadotado := Smax

```

```
Espaçamentoadotado = 16 cm
```

**Numero de bitolas totais**

```
NumbitolasT :=  $\frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamentoadotado}} = 156$ 
```

```

COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)
6118 - 2023

```

**9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração**

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2 \phi$ ;
- em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4 \phi$ ;
- em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8 \phi$ .

Logo

$$\text{Comprimento ancoragem} := 8 \cdot \text{bitola} = 10 \text{ cm}$$

### VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

$$M_{minq} := M_{xm} \cdot 0 \quad M_{ming} := M_{xm} \quad M_{maxq} := M_{xm} \cdot 0,8 \quad M_{maxg} := M_{xm}$$

$$M_{x_{min}_{freq}} := M_{minq} + M_{ming} = 0,34 \text{ kN m} \quad M_{x_{max}_{freq}} := M_{maxq} + M_{maxg} = 16,612 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{freq} := M_{x_{max}_{freq}} - M_{x_{min}_{freq}} = 16,272 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{\text{Espaçamento adotado}} = 6,25 \quad \text{area\_bitola} = 0,0001 \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$A_{s_f} := NB \cdot \text{area\_bitola} = 7,6699 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot A_{s_f} + \sqrt{(\alpha_e \cdot A_{s_f})^2 + 2 \cdot b_w \cdot \alpha_e \cdot d \cdot A_{s_f}}}{b_w} = 4,0908 \text{ cm}$$

Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{b_w \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_{s_f} \cdot (d - x_{ii})^2 = 11409,9383 \text{ cm}^4$$

Variação máxima de tensão

$$\Delta \sigma_{S_s} := \alpha_e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 155,5791 \text{ MPa}$$

```
if ΔσSs ≤ 190 MPa = "Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"
```

### Verificação e Formação de Fissura

$$\alpha := 1,5 \quad y_t := \frac{H_{laje}}{2} = 10 \text{ cm} \quad F_{ct} := 0,7 \cdot \left( 0,3 \cdot \left( \sqrt[3]{f_{ck}^2} \right) \right) \cdot \frac{1,7955}{10} = 0,1795$$

$$I_C := \frac{b_w \cdot H_{laje}^3}{12} = 66666,6667 \text{ cm}^4$$

Momento fissuração para lajes

$$M_r := \frac{\alpha \cdot F_{ct} \cdot I_C}{Y_t}$$

$$M_r := 2027,528 \text{ kN cm}$$

Momento fletor maximo meio do vão

$$Md_{rara} := Mxmg + Mxm q = 2068 \text{ kN cm}$$

$$\text{if } Mr < Md_{rara}$$

$m := \text{"Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"}$

else

$m := \text{"não ocorre fissuras"}$

$m = \text{"Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"}$

### Verificação de Abertura de Fissuras

barras nervuradas

$$Md_{freq} := Mxmg + 0,5 \cdot Mxm q = 10,51 \text{ kN m} \quad \alpha e := 15 \quad \eta_1 := 2,25$$

$$bitola = 12,5 \text{ mm} \quad d' = 5 \text{ cm} \quad Esi := 210 \text{ GPa}$$

$$fct_m := 0,3 \cdot \left( fck \frac{2}{3} \right)$$

$$fct_m := 0,28964 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{cri} := bw \cdot (d' + 8 \cdot bitola) = 1500 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{cri} := \frac{As_f}{A_{cri}} = 0,5113 \%$$

O cálculo no estágio II (que admite comportamento linear dos materiais e despreza a resistência à tração do concreto) pode ser feito considerando a relação  $\alpha_e$  entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto igual a 15.

$$x_{ii} := \frac{-\alpha e \cdot As_f + \sqrt{(\alpha e \cdot As_f)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 4,836 \text{ cm}$$

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha e \cdot As_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 15655,2772 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{si} := \alpha e \cdot \left( \frac{Md_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 10,2352 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

logo

O valor característico da abertura de fissuras ( $w_k$ ), determinado para cada parte da região de envolvimento, é o menor obtido pelas expressões a seguir.

$$w_k = \frac{\phi_i}{12,5 \eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \frac{3 \sigma_{Si}}{f_{ct,m}} \quad (8.161)$$

$$w_k = \frac{\phi_i}{12,5 \eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \left( \frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right) \quad (8.162)$$

$$wk1 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{Esi} \right) \cdot \left( \frac{3 \cdot \sigma_{si}}{fct_m} \right) = 0,023 \text{ mm}$$

$$Wk2 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{Esi} \right) \cdot \left( \frac{4}{\rho_{cri}} + 45 \right) = 0,1792 \text{ mm}$$

```

if Wk1 < Wk2
    Wk := Wk1
else
    Wk := Wk2

```

#### Abertura da fissura

$$Wk = 0,023 \text{ mm}$$

```

if Wk < 0,3 mm = "okay"
    "okay"
else
    "não okay"

```

#### □ Armaduras Secundária

$$Mxm_q := 15,79 \cdot (\text{kN m}) \quad Mxm_g := 0,06 \cdot (\text{kN m})$$

#### Cálculo do momento de desing

$$Mxm_qd := Mxm_q \cdot 1,5 = 23,685 (\text{kN m}) \quad Mxm_gd := 1,35 \cdot Mxm_g = 0,081 \text{ kN m}$$

$$Mxmd := Mxm_qd + Mxm_gd = 23,766 \text{ kN m}$$

#### Cálculo da área de aço:

$$b_w := 100 \text{ cm} \quad d' := 5 \text{ cm} \quad f_{ck} := 30 \text{ MPa} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad f_{yk} := 500 \text{ MPa} = 50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$d := H_{laje} - d' = 15 \text{ cm}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{1,4}$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{1,15}$$

$$Mxmd = 23,766 \text{ kN m}$$

#### Cálculo da ductilidade $\xi$ da seção transversal

$$a := 0,4$$

$$b := -1$$

$$c := \frac{Mxmd}{\left( 0,68 \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd} \right)} = 0,0725$$

$$\delta := b^2 - 4 \cdot a \cdot c = 0,884$$

```

if delta < 0 = "Ok"
    "Seção Inválida"
else
    "Ok"

```

$$raiz_1 := \frac{(-b + \sqrt{\delta})}{(2 \cdot a)} = 2,4253$$



$$raiz_2 := \frac{(-b - \sqrt{\text{delta}})}{(2 \cdot a)} = 0,0747$$

$$\text{epsilon} := \min\left(\left[ \text{raiz}_1 \text{ raiz}_2 \right]\right) = 0,0747$$

Verificação de necessidade de armadura dupla

```
if epsilon ≤ 0,45 = "okay"
  "okay"
else
  "não okay"
```

**Posição da Linha Neutra:**

$$x := \text{epsilon} \cdot d = 1,1208 \text{ cm}$$

$$y := 0,8 \cdot x = 0,8967 \text{ cm}$$

**Definição dos Domínios:**

```
Dominio := ""
if epsilon < 0                                     = "Dominio 2"
  "Dominio 1"
else
  if (((0 < epsilon)) ∧ (epsilon ≤ 0,259))
    "Dominio 2"
  else
    if (((0,259 < epsilon)) ∧ (epsilon ≤ 0,450))
      "Dominio 3a"
    else
      if (((0,450 < epsilon)) ∧ (epsilon ≤ 0,628))
        "Dominio 3b"
      else
        if (((0,628 < epsilon)) ∧ (epsilon ≤ 1))
          "Dominio 4"
        else
          "Dominio 5"
```

**Área de Aço:**

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

$$A_s := \frac{M_{xmd}}{(f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x))} = 3,76 \text{ cm}^2$$

$$\text{taxa\_armadura} := \frac{0,208}{100} = 0,0021$$

$$A_{s,min} := \text{taxa\_armadura} \cdot b_w \cdot (d + d') = 4,16 \text{ cm}^2$$

$$\text{area\_bitola} := \pi \cdot \frac{(\text{bitola}^2)}{4} = 7,854 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\text{num\_bitolas} := \frac{A_s}{\text{area\_bitola}} = 4,78$$

$$\text{casas\_decimais} := \text{mod}(\text{num\_bitolas}; 1) = 0,7828$$

```

if casas_decimais ≤ 0,5
    Num_bitolasdotadas := num_bitolas + (1 - casas_decimais)
else
    Num_bitolasdotadas := round(num_bitolas; 0)

```

$$\boxed{\text{Num\_bitolasdotadas} = 5}$$

### Espaçamento

Comprimento := L4Y                      Num\_espaçamento := Num\_bitolasdotadas - 1 = 4

Espaçamento := Num\_espaçamento · Comprimento = 11,68 m

EspaçamentoReal :=  $\frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamento}} \cdot 100 = 25$

Espaçamentoadotado := 20 cm

### Espaçamento máximo

if Hlaje · 2 > 20 cm

Smax := 20 cm

else

Smax := Hlaje · 2

Smax = 20 cm

if Espaçamentoadotado > Smax

Espaçamentoadotado := Smax

Espaçamentoadotado = 20 cm

### Numero de bitolas totais

$$\boxed{\text{NumbitolasT} := \frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamentoadotado}} = 15}$$

COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)  
6118 - 2023

#### 9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a 2  $\phi$ ;
- b) em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4  $\phi$ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8  $\phi$ .

### Logo

Comprimento ancoragem := 8 · bitola = 8 cm

VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

Mminq := Mxm q · 0    Mming := Mxm g    Mmaxq := Mxm q · 0,8    Mmaxg := Mxm g

$$M_{x\min_{freq}} := M_{\min q} + M_{\min g} = 0,06 \text{ kN m} \quad M_{x\max_{freq}} := M_{\max q} + M_{\max g} = 12,692 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{freq} := M_{x\max_{freq}} - M_{x\min_{freq}} = 12,632 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{\text{Espaçamentoadotado}} = 5$$

$$\text{area\_bitola} = 7,854 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$A_{s_f} := NB \cdot \text{area\_bitola} = 3,927 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot A_{s_f} + \sqrt{(\alpha_e \cdot A_{s_f})^2 + 2 \cdot b_w \cdot \alpha_e \cdot d \cdot A_{s_f}}}{b_w} = 3,062 \text{ cm}$$

Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{b_w \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_{s_f} \cdot (d - x_{ii})^2 = 6553,5453 \text{ cm}^4$$

Variação máxima de tensão

$$\Delta \sigma_{S_s} := \alpha_e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 230,105 \text{ MPa}$$

```
if  $\Delta \sigma_{S_s} \leq 190 \text{ MPa}$  = "Não Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"
```

$$\text{Num\_bitolasadotadas} := 8$$

Espaçamento

$$\text{Comprimento} := L4Y$$

$$\text{Num\_espaçamento} := \text{Num\_bitolasadotadas} - 1 = 7$$

$$\text{Espaçamento} := \text{Num\_espaçamento} \cdot \text{Comprimento} = 20,44 \text{ m}$$

$$\text{EspaçamentoReal} := \frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamento}} \cdot 100 = 14,29$$

$$\text{Espaçamentoadotado} := 14 \text{ cm}$$

Espaçamento máximo

$$\text{if } H_{laje} \cdot 2 > 20 \text{ cm}$$

$$S_{\max} := 20 \text{ cm}$$

else

$$S_{\max} := H_{laje} \cdot 2$$

$$S_{\max} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{if } \text{Espaçamentoadotado} > S_{\max}$$

$$\text{Espaçamentoadotado} := S_{\max}$$

$$Espaceamento\dot{a}dotado = 14 \text{ cm}$$

Numero de bitolas totais

$$NumbitolasT := \frac{Comprimento}{Espaceamento\dot{a}dotado} = 21$$

$$\text{COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)} \\ 6118 - 2023$$

#### 9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2 \phi$ ;
- b) em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4 \phi$ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8 \phi$ .

Logo

$$Comprimento\dot{a}ncoragem := 8 \cdot bitola = 8 \text{ cm}$$

#### VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

$$Mminq := Mxm q \cdot 0 \quad Mming := Mxmg \quad Mmaxq := Mxm q \cdot 0,8 \quad Mmaxg := Mxmg$$

$$Mxmin_{freq} := Mminq + Mming = 0,06 \text{ kN m} \quad Mxmax_{freq} := Mmaxq + Mmaxg = 12,692 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{freq} := Mxmax_{freq} - Mxmin_{freq} = 12,632 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{Espaceamento\dot{a}dotado} = 7,1429 \quad area\_bitola = 7,854 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$As_f := NB \cdot area\_bitola = 5,61 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot As_f + \sqrt{(\alpha_e \cdot As_f)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 3,5796 \text{ cm}$$

Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot As_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 8845,7666 \text{ cm}^4$$

Variação máxima de tensão

$$\Delta \sigma_s := \alpha_e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 163,0863 \text{ MPa}$$

```

if  $\Delta\sigma S_s \leq 190 \text{ MPa}$  = "Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"

```

### Verificação e Formação de Fissura

$$\alpha := 1,5 \quad Y_t := \frac{Hlaje}{2} = 10 \text{ cm} \quad F_{ct} := 0,7 \cdot \left( 0,3 \cdot \left( \sqrt[3]{f_{ck}^2} \right) \right) \cdot \frac{1,7955}{10} = 0,1795$$

$$I_C := \frac{bw \cdot Hlaje^3}{12} = 66666,6667 \text{ cm}^4$$

Momento fissuração para lajes

$$M_r := \frac{\alpha \cdot F_{ct} \cdot I_C}{Y_t}$$

$$M_r := 2027,528 \text{ kN cm}$$

Momento fletor maximo meio do vão

$$M_{d_{rara}} := M_{xmg} + M_{xm} = 1585 \text{ kN cm}$$

```

if  $M_r < M_{d_{rara}}$ 
  m := "Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"
else
  m := "não ocorre fissuras"

```

$m = \text{"não ocorre fissuras"}$

### Verificação de Abertura de Fissuras

barras nervuradas

$$M_{d_{freq}} := M_{xmg} + 0,5 \cdot M_{xm} = 7,955 \text{ kN m} \quad \alpha_e := 15 \quad \eta_1 := 2,25$$

$$bitola = 10 \text{ mm} \quad d' = 5 \text{ cm} \quad E_{si} := 210 \text{ GPa}$$

$$f_{ct_m} := 0,3 \cdot \left( f_{ck}^{\frac{2}{3}} \right) = 28964,6815$$

$$f_{ct_m} := 0,28964 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{cri} := bw \cdot (d' + 8 \cdot bitola) = 1300 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{cri} := \frac{A_{s_f}}{A_{cri}} = 0,4315 \%$$

O cálculo no estágio II (que admite comportamento linear dos materiais e despreza a resistência à tração do concreto) pode ser feito considerando a relação  $\alpha_e$  entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto igual a 15.

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot A_{s_f} + \sqrt{\left( A_{s_f} \cdot \alpha_e \right)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot A_{s_f}}}{bw} = 4,2529 \text{ cm}$$

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha e \cdot A s_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 12283,4115 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{si} := \alpha e \cdot \left( \frac{M d_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 10,4401 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

logo

O valor característico da abertura de fissuras ( $w_k$ ), determinado para cada parte da região de envolvimento, é o menor obtido pelas expressões a seguir.

$$w_k = \frac{\phi_i}{12.5 \eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \frac{3 \sigma_{Si}}{f_{ct,m}} \quad (8.161)$$

$$w_k = \frac{\phi_i}{12.5 \eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \left( \frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right) \quad (8.162)$$

$$Wk1 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \right) \cdot \left( \frac{3 \cdot \sigma_{si}}{f_{ct_m}} \right) = 0,0191 \text{ mm}$$

$$Wk2 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \right) \cdot \left( \frac{4}{\rho_{cri}} + 45 \right) = 0,1718 \text{ mm}$$

if  $Wk1 < Wk2$

$Wk := Wk1$

else

$Wk := Wk2$

Abertura da fissura

$$Wk = 0,0191 \text{ mm}$$

if  $Wk < 0,3 \text{ mm} = \text{"okay"}$

$\text{"okay"}$

else

$\text{"não okay"}$

☐ — Armaduras Engaste

$$Mxm_q := 50,76 \cdot (\text{kN m}) \quad Mxm_g := 0,68 \cdot (\text{kN m})$$

Cálculo do momento de desing

$$Mxm_{qd} := Mxm_q \cdot 1,5 = 76,14 (\text{kN m})$$

$$Mxm_gd := 1,35 \cdot Mxm_g = 0,918 \text{ kN m}$$

$$Mxm_d := Mxm_{qd} + Mxm_{gd} = 77,058 \text{ kN m}$$

Cálculo da área de aço:

$$bw := 100 \text{ cm} \quad d' := 5 \text{ cm}$$

$$f_{ck} := 30 \text{ MPa} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{yk} := 500 \text{ MPa} = 50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$d := H_{laje} - d' = 15 \text{ cm}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{1,4}$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{1,15}$$

$$M_{xmd} = 77,058 \text{ kN m}$$

Cálculo da ductilidade  $\xi$  da seção transversal

$$a := 0,4$$

$$b := -1$$

$$c := \frac{M_{xmd}}{(0,68 \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd})} = 0,235$$

$$\text{delta} := b^2 - 4 \cdot a \cdot c = 0,6239$$

$$\text{if } \text{delta} < 0 \quad = \text{"Ok"}$$

"Seção Inválida"

else

"Ok"

$$\text{raiz}_1 := \frac{(-b + \sqrt{\text{delta}})}{(2 \cdot a)} = 2,2374$$

$$\text{raiz}_2 := \frac{(-b - \sqrt{\text{delta}})}{(2 \cdot a)} = 0,2626$$

$$\text{epsilon} := \min \left( \left[ \text{raiz}_1 \text{ raiz}_2 \right] \right) = 0,2626$$

Verificação de necessidade de armadura dupla

$$\text{if } \text{epsilon} \leq 0,45 = \text{"okay"}$$

"okay"

else

"não okay"

**Posição da Linha Neutra:**

$$x := \text{epsilon} \cdot d = 3,9394 \text{ cm}$$

$$y := 0,8 \cdot x = 3,1515 \text{ cm}$$

**Definição dos Domínios:**

```

Dominio := ""
if epslon < 0                                     = "Dominio 3a"
    "Dominio 1"
else
    if (((0 < epslon)) ^ (epslon ≤ 0,259))
        "Dominio 2"
    else
        if (((0,259 < epslon)) ^ (epslon ≤ 0,450))
            "Dominio 3a"
        else
            if (((0,450 < epslon)) ^ (epslon ≤ 0,628))
                "Dominio 3b"
            else
                if (((0,628 < epslon)) ^ (epslon ≤ 1))
                    "Dominio 4"
                else
                    "Dominio 5"

```

**Área de Aço:**

$bitola := 16 \text{ mm}$

$$A_s := \frac{Mxmd}{(fyd \cdot (d - 0,4 \cdot x))} = 13,2 \text{ cm}^2$$

$$taxa\_armadura := \frac{0,208}{100} = 0,0021$$

$$A_{s,min} := taxa\_armadura \cdot bw \cdot (d + d') = 4,16 \text{ cm}^2$$

$$area\_bitola := \pi \cdot \frac{(bitola^2)}{4} = 0,0002 \text{ m}^2$$

$$num\_bitolas := \frac{A_s}{area\_bitola} = 6,57$$

$$casas\_decimais := \text{mod}(num\_bitolas; 1) = 0,5664$$

```

if casas_decimais ≤ 0,5
    Num_bitolasadotadas := num_bitolas + (1 - casas_decimais)
else
    Num_bitolasadotadas := round(num_bitolas; 0)

```

$$Num\_bitolasadotadas = 7$$

**Espaçamento**

$$Comprimento := L4X \quad Num\_espaçamento := Num\_bitolasadotadas - 1 = 6$$

$$Espaçamento := Num\_espaçamento \cdot Comprimento = 150 \text{ m}$$

$$EspaçamentoReal := \frac{Comprimento}{Espaçamento} \cdot 100 = 16,67 \quad \text{Espaçamentoadotado} := 16 \text{ cm}$$



**Espaçamento máximo**

```

if Hlaje · 2 > 20 cm
    Smax := 20 cm
else
    Smax := Hlaje · 2

Smax = 20 cm

if Espaçamentoadotado > Smax
    Espaçamentoadotado := Smax

Espaçamentoadotado = 16 cm

```

**Numero de bitolas totais**

$$NumbitolasT := \frac{Comprimento}{Espaçamentoadotado} = 156$$

**COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)**  
 6118 – 2023

**9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração**

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2 \phi$ ;
- b) em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4 \phi$ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8 \phi$ .

**Logo**

$Comprimento ancoragem := 8 \cdot bitola = 12,8 \text{ cm}$

**VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA**

$$\begin{aligned}
 Mminq &:= Mxm q \cdot 0 & Mming &:= Mxm g & Mmaxq &:= Mxm q \cdot 0,8 & Mmaxg &:= Mxm g \\
 Mxmin_{freq} &:= Mminq + Mming = 0,68 \text{ kN m} & Mxmax_{freq} &:= Mmaxq + Mmaxg = 41,288 \text{ kN m} \\
 \Delta M_{freq} &:= Mxmax_{freq} - Mxmin_{freq} = 40,608 \text{ kN m}
 \end{aligned}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{Espaçamentoadotado} = 6,25 \quad area\_bitola = 0,0002 \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$As_f := NB \cdot area\_bitola = 12,5664 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

**posição da linha neutra**

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot As_f + \sqrt{(As_f \cdot \alpha_e)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 5,0106 \text{ cm}$$

**Momento de Inercia**

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha e \cdot A s_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 16732,9669 \text{ cm}^4$$

**Variação maxima de tensão**

$$\Delta \sigma S_s := \alpha e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 242,4254 \text{ MPa}$$

```

if  $\Delta \sigma S_s \leq 190 \text{ MPa}$  = "Não Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"

```

```
Num_bitolasadotadas := 10
```

**Espaçamento**

```
Comprimento := L4X
```

```
Num_espaçamento := Num_bitolasadotadas - 1 = 9
```

```
Espaçamento := Num_espaçamento · Comprimento = 225 m
```

```
EspaçamentoReal :=  $\frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamento}} \cdot 100 = 11,11$ 
```

```
Espaçamentoadotado := 11 cm
```

**Espaçamento máximo**

```
if  $H_{laje} \cdot 2 > 20 \text{ cm}$ 
```

```
  Smax := 20 cm
```

```
else
```

```
  Smax :=  $H_{laje} \cdot 2$ 
```

```
Smax = 20 cm
```

```
if  $\text{Espaçamentoadotado} > S_{max}$ 
```

```
   $\text{Espaçamentoadotado} := S_{max}$ 
```

```
Espaçamentoadotado = 11 cm
```

**Numero de bitolas totais**

```
NumbitolasT :=  $\frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamentoadotado}} = 227$ 
```

```

COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)
6118 - 2023

```

#### 9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2 \phi$ ;
- b) em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4 \phi$ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8 \phi$ .

Logo

$$\text{Comprimento ancoragem} := 8 \cdot \text{bitola} = 12,8 \text{ cm}$$

#### VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

$$M_{minq} := M_{xm} \cdot 0 \quad M_{ming} := M_{xm} \quad M_{maxq} := M_{xm} \cdot 0,8 \quad M_{maxg} := M_{xm}$$

$$M_{xmin_{freq}} := M_{minq} + M_{ming} = 0,68 \text{ kN m} \quad M_{xmax_{freq}} := M_{maxq} + M_{maxg} = 41,288 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{freq} := M_{xmax_{freq}} - M_{xmin_{freq}} = 40,608 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{\text{Espaçamento adotado}} = 9,0909 \quad \text{area\_bitola} = 0,0002 \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$A_{s_f} := NB \cdot \text{area\_bitola} = 18,2784 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot A_{s_f} + \sqrt{(A_{s_f} \cdot \alpha_e)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot A_{s_f}}}{bw} = 5,7995 \text{ cm}$$

Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_{s_f} \cdot (d - x_{ii})^2 = 21974,5347 \text{ cm}^4$$

Variação máxima de tensão

$$\Delta \sigma_s := \alpha_e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 170,0215 \text{ MPa}$$

```
if  $\Delta \sigma_s \leq 190 \text{ MPa}$  = "Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"
```

#### Verificação e Formação de Fissura

$$\alpha := 1,5 \quad y_t := \frac{H_{laje}}{2} = 10 \text{ cm} \quad F_{ct} := 0,7 \cdot \left( 0,3 \cdot \left( 3 \sqrt{f_{ck}} \right)^2 \right) \cdot \frac{1,7955}{10} = 0,1795$$

$$I_c := \frac{bw \cdot H_{laje}^3}{12} = 66666,6667 \text{ cm}^4$$

Momento fissuração para lajes

$$M_r := \frac{\alpha \cdot F_{ct} \cdot I_c}{Y_t}$$

$$M_r := 2027,528 \text{ kN cm}$$

Momento fletor maximo meio do vão

$$M_{d_{rara}} := M_{xmg} + M_{xmQ} = 5144 \text{ kN cm}$$

$$\text{if } M_r < M_{d_{rara}}$$

$$m := \text{"Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"}$$

else

$$m := \text{"não ocorre fissuras"}$$

$$m = \text{"Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"}$$

Verificação de Abertura de Fissuras

barras nervuradas

$$M_{d_{freq}} := M_{xmg} + 0,5 \cdot M_{xmQ} = 26,06 \text{ kN m} \quad \alpha_e := 15 \quad \eta_1 := 2,25$$

$$bitola = 16 \text{ mm} \quad d' = 5 \text{ cm} \quad E_{si} := 210 \text{ GPa}$$

$$f_{ct_m} := 0,3 \cdot \left( f_{ck} \frac{2}{3} \right)$$

$$f_{ct_m} := 0,22104 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{cri} := b_w \cdot (d' + 8 \cdot bitola) = 1780 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{cri} := \frac{A_{s_f}}{A_{cri}} = 1,0269 \%$$

O cálculo no estágio II (que admite comportamento linear dos materiais e despreza a resistência à tração do concreto) pode ser feito considerando a relação  $\alpha_e$  entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto igual a 15.

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot A_{s_f} + \sqrt{(A_{s_f} \cdot \alpha_e)^2 + 2 \cdot b_w \cdot \alpha_e \cdot d \cdot A_{s_f}}}{b_w} = 6,7329 \text{ cm}$$

$$I_{ii} := \frac{b_w \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_{s_f} \cdot (d - x_{ii})^2 = 28912,3469 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{si} := \alpha_e \cdot \left( \frac{M_{d_{freq}} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 11,1772 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

logo

O valor característico da abertura de fissuras ( $w_k$ ), determinado para cada parte da região de envolvimento, é o menor obtido pelas expressões a seguir.

$$w_k = \frac{\phi_i}{12.5 \eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \frac{3 \sigma_{Si}}{f_{ct,m}} \tag{8.161}$$

$$w_k = \frac{\phi_i}{12.5 \eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \left( \frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right) \tag{8.162}$$

$$Wk1 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \right) \cdot \left( \frac{3 \cdot \sigma_{Si}}{f_{ct,m}} \right) = 0,0459 \text{ mm}$$

$$Wk2 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \right) \cdot \left( \frac{4}{\rho_{cri}} + 45 \right) = 0,1316 \text{ mm}$$

```
if Wk1 < Wk2
  Wk := Wk1
else
  Wk := Wk2
```

Abertura da fissura

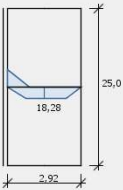
$Wk = 0,0459 \text{ mm}$

```
if Wk < 0,3 mm = "okay"
  "okay"
else
  "não okay"
```

Laje5

$$L5X = 25 \text{ m} \qquad L5Y = 2,92 \text{ m}$$

tabelas



Dimensões:

Vinculações:

lx = 2,92 m

ly = 25,00 m

t = 0,1692 m

a = 2 m

Borda superior: Apoiada

Borda inferior: Apoiada

Borda esquerda: Engastada

Borda direita: Apoiada

Direção do tráfego: ☒ ☐

Coefficiente de Impacto (φ) : 1,60

Calcular

MxmMymMxe

lx/ly	t/a				Para todos os valores de t/a	
	0,125	0,250	0,5	1,0	p	p'
0,5	0,115	0,058	0,024	0,008	0,0	0,0
1,0	0,16	0,102	0,061	0,035	0,0	0,0
1,5	0,229	0,169	0,105	0,085	0,0	0,01
2,0	0,299	0,236	0,152	0,128	0,0	0,07
2,5	0,354	0,289	0,203	0,176	0,0	0,17
3,0	0,397	0,338	0,253	0,227	0,0	0,24
4,0	0,478	0,428	0,348	0,326	0,06	0,73
5,0	0,55	0,51	0,433	0,412	0,15	1,31
6,0	0,63	0,59	0,51	0,496	0,34	2,09
7,0	0,69	0,66	0,59	0,57	0,55	3,15
8,0	0,74	0,72	0,65	0,63	0,78	4,3
9,0	0,79	0,77	0,7	0,68	1,06	5,47
10,0	0,84	0,81	0,74	0,72	1,38	6,78

Resultados:  
Tabela Utilizada: 87  
Cargas Móveis:  
ML=0,15  
Mp=0,00  
Mp=0,01  
Mxm=18,28 kN.m/m  
Cargas Permanentes:  
kxm=0,06  
Mxm=0,58 kN.m/m

Dimensões: Vinculações:

$l_x = 2,92$  m Borda superior: Apoiada

$l_y = 25,00$  m Borda inferior: Apoiada

$t = 0,5962$  m Borda esquerda: Engastada

$a = 2$  m Borda direita: Apoiada

Direção do tráfego: ☒ ↑ ☐ ↔

Coefficiente de Impacto ( $\phi$ ):

Calcular Mxm Mym Mxe

$l_x/a$	$t/a$				Para todos os valores de $t/a$	
	0,125	0,250	0,5	1,0	$p$	$p'$
0,5	0,148	0,1	0,068	0,038	0,0	0,0
1,0	0,21	0,149	0,1	0,079	0,0	0,0
1,5	0,309	0,268	0,232	0,21	0,0	0,08
2,0	0,421	0,393	0,361	0,34	0,0	0,4
2,5	0,51	0,486	0,45	0,428	0,0	0,99
3,0	0,58	0,55	0,51	0,48	0,0	1,6
4,0	0,69	0,66	0,6	0,58	0,05	3,35
5,0	0,77	0,75	0,68	0,65	0,16	5,38
6,0	0,85	0,82	0,76	0,73	0,3	8,1
7,0	0,91	0,88	0,82	0,79	0,5	11,8
8,0	0,96	0,94	0,88	0,84	0,7	16,0
9,0	1,0	0,99	0,92	0,89	0,95	20,1
10,0	1,04	1,03	0,96	0,94	1,18	24,8

Resultados:

Tabela Utilizada: 87

Cargas Móveis:

$M_L = 0,25$

$M_D = 0,00$

$M_P = 0,07$

$M_{ym} = 30,75$  kN.m/m

Cargas Permanentes:

$k_{ym} = 0,01$

$M_{ym} = 0,10$  kN.m/m

Dimensões: Vinculações:

$l_x = 2,92$  m Borda superior: Apoiada

$l_y = 25,00$  m Borda inferior: Apoiada

$t = 0,5962$  m Borda esquerda: Engastada

$a = 2$  m Borda direita: Apoiada

Direção do tráfego: ☒ ↑ ☐ ↔

Coefficiente de Impacto ( $\phi$ ):

Calcular Mxm Mym Mxe

$l_x/a$	$t/a$				Para todos os valores de $t/a$	
	0,125	0,250	0,5	1,0	$p$	$p'$
0,5	0,24	0,2	0,121	0,082	0,0	0,09
1,0	0,36	0,32	0,225	0,17	0,0	0,18
1,5	0,54	0,51	0,4	0,34	0,02	0,3
2,0	0,73	0,71	0,57	0,53	0,08	0,6
2,5	0,88	0,86	0,73	0,7	0,12	1,11
3,0	1,01	1,0	0,9	0,87	0,2	2,0
4,0	1,21	1,2	1,13	1,11	0,55	4,3
5,0	1,36	1,35	1,31	1,3	0,93	7,0
6,0	1,47	1,46	1,44	1,42	1,05	10,8
7,0	1,55	1,54	1,53	1,52	2,35	16,0
8,0	1,6	1,6	1,6	1,58	3,3	22,1
9,0	1,63	1,63	1,63	1,61	4,3	28,3
10,0	1,65	1,65	1,65	1,62	5,45	35,6

Resultados:

Tabela Utilizada: 87

Cargas Móveis:

$M_L = 0,47$

$M_D = 0,02$

$M_P = 0,29$

$M_{xe} = -59,33$  kN.m/m

Cargas Permanentes:

$k_{xe} = 0,06$

$M_{xe} = 0,60$  kN.m/m

## — Armaduras Principal

$$M_{xm}q := 30,75 \cdot (\text{kN m}) \quad M_{xm}g := 0,1 \cdot (\text{kN m})$$

## Cálculo do momento de desing

$$M_{xm}qd := M_{xm}q \cdot 1,5 = 46,125 \text{ (kN m)} \quad M_{xm}gd := 1,35 \cdot M_{xm}g = 0,135 \text{ kN m}$$

$$M_{xmd} := M_{xm}qd + M_{xm}gd = 46,26 \text{ kN m}$$

## Cálculo da área de aço:

$$b_w := 100 \text{ cm} \quad d' := 5 \text{ cm} \quad f_{ck} := 30 \text{ MPa} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad f_{yk} := 500 \text{ MPa} = 50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$d := H_{laje} - d' = 15 \text{ cm}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{1,4}$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{1,15}$$

$$M_{xmd} = 46,26 \text{ kN m}$$

## Cálculo da ductilidade $\xi$ da seção transversal

$a := 0,4$

$b := -1$

$c := \frac{M_{xmd}}{(0,68 \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd})} = 0,1411$

$\Delta := b^2 - 4 \cdot a \cdot c = 0,7742$

```
if Delta < 0
    = "Ok"
    "Seção Inválida"
else
    "Ok"
```

$raiz_1 := \frac{(-b + \sqrt{\Delta})}{(2 \cdot a)} = 2,3499$

$raiz_2 := \frac{(-b - \sqrt{\Delta})}{(2 \cdot a)} = 0,1501$

$\epsilon := \min([raiz_1 \ raiz_2]) = 0,1501$

## Verificação de necessidade de armadura dupla

```
if epsilon <= 0,45 = "okay"
    "okay"
else
    "não okay"
```

## Posição da Linha Neutra:

$x := \epsilon \cdot d = 2,2517 \text{ cm}$

$y := 0,8 \cdot x = 1,8013 \text{ cm}$

## Definição dos Domínios:

```
Dominio := ""
if epsilon < 0
    = "Dominio 2"
    "Dominio 1"
else
    if ((0 < epsilon) & (epsilon <= 0,259))
        "Dominio 2"
    else
        if ((0,259 < epsilon) & (epsilon <= 0,450))
            "Dominio 3a"
        else
            if ((0,450 < epsilon) & (epsilon <= 0,628))
                "Dominio 3b"
            else
                if ((0,628 < epsilon) & (epsilon <= 1))
                    "Dominio 4"
                else
                    "Dominio 5"
```

**Área de Aço:**

$$bitola := 12,5 \text{ mm}$$

$$A_s := \frac{M_{xmd}}{(f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x))} = 7,55 \text{ cm}^2$$

$$taxa\_armadura := \frac{0,208}{100} = 0,0021$$

$$A_{s,min} := taxa\_armadura \cdot bw \cdot (d + d') = 4,16 \text{ cm}^2$$

$$area\_bitola := \pi \cdot \frac{(bitola^2)}{4} = 0,0001 \text{ m}^2$$

$$num\_bitolas := \frac{A_s}{area\_bitola} = 6,15$$

$$casas\_decimais := \text{mod}(num\_bitolas; 1) = 0,1493$$

$$\text{if } casas\_decimais \leq 0,5$$

$$Num\_bitolasadotadas := num\_bitolas + (1 - casas\_decimais)$$

$$\text{else}$$

$$Num\_bitolasadotadas := \text{round}(num\_bitolas; 0)$$

$$Num\_bitolasadotadas = 7$$

**Espaçamento**

$$Comprimento := L5Y$$

$$Num\_espaçamento := Num\_bitolasadotadas - 1 = 6$$

$$Espaçamento := Num\_espaçamento \cdot Comprimento = 17,52 \text{ m}$$

$$EspaçamentoReal := \frac{Comprimento}{Espaçamento} \cdot 100 = 16,67$$

$$Espaçamentoadotado := 16,5 \text{ cm}$$

**Espaçamento máximo**

$$\text{if } H_{laje} \cdot 2 > 20 \text{ cm}$$

$$S_{max} := 20 \text{ cm}$$

$$\text{else}$$

$$S_{max} := H_{laje} \cdot 2$$

$$S_{max} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{if } Espaçamentoadotado > S_{max}$$

$$Espaçamentoadotado := S_{max}$$

$$Espaçamentoadotado = 16,5 \text{ cm}$$

**Numero de bitolas totais**

$$NumbitolasT := \frac{Comprimento}{Espaçamentoadotado} = 18$$



COMPIMENTO DE ANCORAGEM(virada)

6118 - 2023

#### 9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2\phi$ ;
- b) em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4\phi$ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8\phi$ .

Logo

$$\text{Comprimento ancoragem} := 8 \cdot \text{bitola} = 10 \text{ cm}$$

#### VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

$$M_{minq} := M_{xm}q \cdot 0 \quad M_{ming} := M_{xm}g \quad M_{maxq} := M_{xm}q \cdot 0,8 \quad M_{maxg} := M_{xm}g$$

$$M_{x_{min}freq} := M_{minq} + M_{ming} = 0,1 \text{ kN m} \quad M_{x_{max}freq} := M_{maxq} + M_{maxg} = 24,7 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{freq} := M_{x_{max}freq} - M_{x_{min}freq} = 24,6 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{\text{Espaçamento adotado}} = 6,0606 \quad \text{area\_bitola} = 0,0001 \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$A_{s_f} := NB \cdot \text{area\_bitola} = 7,4375 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot A_{s_f} + \sqrt{(\alpha_e \cdot A_{s_f})^2 + 2 \cdot b_w \cdot \alpha_e \cdot d \cdot A_{s_f}}}{b_w} = 4,0381 \text{ cm}$$

Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{b_w \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_{s_f} \cdot (d - x_{ii})^2 = 11131,9968 \text{ cm}^4$$

Variação máxima de tensão

$$\Delta \sigma_{S_s} := \alpha_e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 242,2422 \text{ MPa}$$

```
if ΔσSs ≤ 190 MPa = "Não Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"
```

$$\text{Num\_bitolas adotadas} := 9$$

Espaçamento

$$\text{Comprimento} := L5Y$$

$$\text{Num\_espaçamento} := \text{Num\_bitolas adotadas} - 1 = 8$$

$$Espaceamento := Num\_espaceamento \cdot Comprimento = 23,36 \text{ m}$$

$$EspaceamentoReal := \frac{Comprimento}{Espaceamento} \cdot 100 = 12,5$$

$$Espaceamentoadoado := 12,5 \text{ cm}$$

### Espaceamento máximo

$$\text{if } Hlaje \cdot 2 > 20 \text{ cm}$$

$$Smax := 20 \text{ cm}$$

else

$$Smax := Hlaje \cdot 2$$

$$Smax = 20 \text{ cm}$$

$$\text{if } Espaceamentoadoado > Smax$$

$$Espaceamentoadoado := Smax$$

$$Espaceamentoadoado = 12,5 \text{ cm}$$

### Numero de bitolas totais

$$NumbitolasT := \frac{Comprimento}{Espaceamentoadoado} = 23$$

$$\text{COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)} \\ 6118 - 2023$$

#### 9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2\phi$ ;
- b) em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4\phi$ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8\phi$ .

### Logo

$$Comprimento ancoragem := 8 \cdot bitola = 10 \text{ cm}$$

#### VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

$$Mminq := Mxm q \cdot 0 \quad Mming := Mxm g \quad Mmaxq := Mxm q \cdot 0,8 \quad Mmaxg := Mxm g$$

$$Mxmin_{freq} := Mminq + Mming = 0,1 \text{ kN m} \quad Mxmax_{freq} := Mmaxq + Mmaxg = 24,7 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{freq} := Mxmax_{freq} - Mxmin_{freq} = 24,6 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{Espaceamentoadoado} = 8$$

$$area\_bitola = 0,0001 \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$As_f := NB \cdot area\_bitola = 9,8175 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha e \cdot A s_f + \sqrt{(A s_f \cdot \alpha e)^2 + 2 \cdot b w \cdot \alpha e \cdot d \cdot A s_f}}{b w} = 4,5333 \text{ cm}$$

Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{b w \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha e \cdot A s_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 13860,6564 \text{ cm}^4$$

Variação maxima de tensão

$$\Delta \sigma S_s := \alpha e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 185,763 \text{ MPa}$$

```
if ΔσSs ≤ 190 MPa = "Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"
```

Verificação e Formação de Fissura

$$\alpha := 1,5 \quad y_t := \frac{H l a j e}{2} = 10 \text{ cm} \quad F_{ct} := 0,7 \cdot \left( 0,3 \cdot \left( \sqrt[3]{f_{ck}^2} \right) \right) \cdot \frac{1,7955}{10} = 0,1795$$

$$I_C := \frac{b w \cdot H l a j e^3}{12} = 66666,6667 \text{ cm}^4$$

Momento fissuração para lajes

$$M_r := \frac{\alpha \cdot F_{ct} \cdot I_C}{Y_t} \quad M_r := 2027,528 \text{ kN cm}$$

Momento fletor maximo meio do vão

$$M d_{rara} := M x m g + M x m q = 3085 \text{ kN cm}$$

```
if Mr < M drara
  m := "Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"
else
  m := "não ocorre fissuras"
```

m = "Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"

Verificação de Abertura de Fissuras

barras nervuradas

$$M d_{freq} := M x m g + 0,5 \cdot M x m q = 15,475 \text{ kN m} \quad \alpha e := 15 \quad \eta_1 := 2,25$$

$$bitola = 12,5 \text{ mm} \quad d' = 5 \text{ cm} \quad E s i := 210 \text{ GPa}$$

$$fct_m := 0,3 \cdot \left( fck \frac{2}{3} \right)$$

$$fct_m := 0,28964 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{cri} := bw \cdot (d' + 8 \cdot bitola) = 1500 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{cri} := \frac{As_f}{A_{cri}} = 0,6545 \%$$

O cálculo no estágio II (que admite comportamento linear dos materiais e despreza a resistência à tração do concreto) pode ser feito considerando a relação  $\alpha_e$  entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto igual a 15.

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot As_f + \sqrt{(As_f \cdot \alpha_e)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 5,3353 \text{ cm}$$

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot As_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 18817,6179 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{si} := \alpha_e \cdot \left( \frac{Md_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 11,922 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

logo

O valor característico da abertura de fissuras ( $w_k$ ), determinado para cada parte da região de envolvimento, é o menor obtido pelas expressões a seguir.

$$w_k = \frac{\phi_i}{12,5\eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \frac{3\sigma_{Si}}{fct_m} \quad (8.161)$$

$$w_k = \frac{\phi_i}{12,5\eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \left( \frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right) \quad (8.162)$$

$$wk1 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \right) \cdot \left( \frac{3 \cdot \sigma_{si}}{fct_m} \right) = 0,0312 \text{ mm}$$

$$wk2 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \right) \cdot \left( \frac{4}{\rho_{cri}} + 45 \right) = 0,1656 \text{ mm}$$

if  $wk1 < wk2$

$wk := wk1$

else

$wk := wk2$

Abertura da fissura

$$wk = 0,0312 \text{ mm}$$

if  $wk < 0,3 \text{ mm} = \text{"okay"}$

$\text{"okay"}$

else

$\text{"não okay"}$

# Armaduras Secundária

$$M_{xmq} := 18,28 \cdot (\text{kN m}) \quad M_{xmg} := 0,58 \cdot (\text{kN m})$$

## Cálculo do momento de desing

$$M_{xmqd} := M_{xmq} \cdot 1,5 = 27,42 (\text{kN m}) \quad M_{xmgd} := 1,35 \cdot M_{xmg} = 0,783 \text{ kN m}$$

$$M_{xmd} := M_{xmqd} + M_{xmgd} = 28,203 \text{ kN m}$$

## Cálculo da área de aço:

$$b_w := 100 \text{ cm} \quad d' := 5 \text{ cm} \quad f_{ck} := 30 \text{ MPa} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad f_{yk} := 500 \text{ MPa} = 50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$d := H_{laje} - d' = 15 \text{ cm}$$

$$f_{cd} := \frac{f_{ck}}{1,4}$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{1,15}$$

$$M_{xmd} = 28,203 \text{ kN m}$$

## Cálculo da ductilidade $\xi$ da seção transversal

$$a := 0,4$$

$$b := -1$$

$$c := \frac{M_{xmd}}{(0,68 \cdot b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd})} = 0,086$$

$$\text{delta} := b^2 - 4 \cdot a \cdot c = 0,8624$$

$$\text{if } \text{delta} < 0 \quad = \text{"Ok"}$$

"Seção Inválida"

else

"Ok"

$$\text{raiz}_1 := \frac{(-b + \sqrt{\text{delta}})}{(2 \cdot a)} = 2,4108$$

$$\text{raiz}_2 := \frac{(-b - \sqrt{\text{delta}})}{(2 \cdot a)} = 0,0892$$

$$\text{epsilon} := \min \left( \left[ \text{raiz}_1 \quad \text{raiz}_2 \right] \right) = 0,0892$$

## Verificação de necessidade de armadura dupla

$$\text{if } \text{epsilon} \leq 0,45 = \text{"okay"}$$

"okay"

else

"não okay"

## Posição da Linha Neutra:

$$x := \text{epsilon} \cdot d = 1,3381 \text{ cm}$$

$$y := 0,8 \cdot x = 1,0705 \text{ cm}$$

**Definição dos Domínios:**

```

Dominio := ""
if epsilon < 0                                     = "Dominio 2"
    "Dominio 1"
else
    if ((0 < epsilon) ∧ (epsilon ≤ 0,259))
        "Dominio 2"
    else
        if ((0,259 < epsilon) ∧ (epsilon ≤ 0,450))
            "Dominio 3a"
        else
            if ((0,450 < epsilon) ∧ (epsilon ≤ 0,628))
                "Dominio 3b"
            else
                if ((0,628 < epsilon) ∧ (epsilon ≤ 1))
                    "Dominio 4"
                else
                    "Dominio 5"

```

**Área de Aço:**

bitola := 10 mm

$$A_s := \frac{Mxmd}{(fyd \cdot (d - 0,4 \cdot x))} = 4,48 \text{ cm}^2$$

$$taxa\_armadura := \frac{0,208}{100} = 0,0021$$

$$A_{s,min} := taxa\_armadura \cdot bw \cdot (d + d') = 4,16 \text{ cm}^2$$

$$area\_bitola := \pi \cdot \frac{(bitola^2)}{4} = 7,854 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$num\_bitolas := \frac{A_s}{area\_bitola} = 5,71$$

$$casas\_decimais := \text{mod}(num\_bitolas; 1) = 0,7098$$

```

if casas_decimais ≤ 0,5
    Num_bitolasadotadas := num_bitolas + (1 - casas_decimais)
else
    Num_bitolasadotadas := round(num_bitolas; 0)

```

$$Num\_bitolasadotadas = 6$$

**Espaçamento**

$$Comprimento := L5X \quad Num\_espaçamento := Num\_bitolasadotadas - 1 = 5$$

$$Espaçamento := Num\_espaçamento \cdot Comprimento = 125 \text{ m}$$

$$EspaçamentoReal := \frac{Comprimento}{Espaçamento} \cdot 100 = 20$$

$$Espaçamentoadotado := 20 \text{ cm}$$

## Espaçamento máximo

```

if Hlaje · 2 > 20 cm
    Smax := 20 cm
else
    Smax := Hlaje · 2

Smax = 20 cm

if Espaçamentoadotado > Smax
    Espaçamentoadotado := Smax

Espaçamentoadotado = 20 cm

```

## Numero de bitolas totais

$$NumbitolasT := \frac{Comprimento}{Espaçamentoadotado} = 125$$

## COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)

6118 – 2023

### 9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2\phi$ ;
- b) em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4\phi$ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8\phi$ .

## Logo

$$Comprimento ancoragem := 8 \cdot bitola = 8 \text{ cm}$$

## VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

$$\begin{aligned}
 Mminq &:= Mxm q \cdot 0 & Mming &:= Mxm g & Mmaxq &:= Mxm q \cdot 0,8 & Mmaxg &:= Mxm g \\
 Mxmin_{freq} &:= Mminq + Mming = 0,58 \text{ kN m} & Mxmax_{freq} &:= Mmaxq + Mmaxg = 15,204 \text{ kN m} \\
 \Delta M_{freq} &:= Mxmax_{freq} - Mxmin_{freq} = 14,624 \text{ kN m}
 \end{aligned}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{Espaçamentoadotado} = 5 \quad \text{area\_bitola} = 7,854 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$As_f := NB \cdot \text{area\_bitola} = 3,927 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

## posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot As_f + \sqrt{(As_f \cdot \alpha_e)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 3,062 \text{ cm}$$

**Momento de Inercia**

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha e \cdot As_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 6553,5453 \text{ cm}^4$$

**Variação máxima de tensão**

$$\Delta \sigma S_s := \alpha e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 266,3914 \text{ MPa}$$

```

if  $\Delta \sigma S_s \leq 190 \text{ MPa}$  = "Não Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"

```

```
Num_bitolasadotadas := 8
```

**Espaçamento**

```
Comprimento := L5Y          Num_espaçamento := Num_bitolasadotadas - 1 = 7
```

```
Espaçamento := Num_espaçamento · Comprimento = 20,44 m
```

```
EspaçamentoReal :=  $\frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamento}} \cdot 100 = 14,29$    Espaçamentoadotado := 14 cm
```

**Espaçamento máximo**

```

if Hlaje · 2 > 20 cm
  Smax := 20 cm
else
  Smax := Hlaje · 2

```

```
Smax = 20 cm
```

```

if Espaçamentoadotado > Smax
  Espaçamentoadotado := Smax

```

```
Espaçamentoadotado = 14 cm
```

**Numero de bitolas totais**

```
NumbitolasT :=  $\frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamentoadotado}} = 21$ 
```

```

COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)
6118 - 2023

```

**9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração**

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2 \phi$ ;
- em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4 \phi$ ;
- em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8 \phi$ .



Logo

$$\text{Comprimento ancoragem} := 8 \cdot \text{bitola} = 8 \text{ cm}$$

### VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

$$M_{minq} := M_{xm} \cdot 0 \quad M_{ming} := M_{xm} \quad M_{maxq} := M_{xm} \cdot 0,8 \quad M_{maxg} := M_{xm}$$

$$M_{x_{min}}_{freq} := M_{minq} + M_{ming} = 0,58 \text{ kN m} \quad M_{x_{max}}_{freq} := M_{maxq} + M_{maxg} = 15,204 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{freq} := M_{x_{max}}_{freq} - M_{x_{min}}_{freq} = 14,624 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{\text{Espaçamento adotado}} = 7,1429 \quad \text{area\_bitola} = 7,854 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$A_{s_f} := NB \cdot \text{area\_bitola} = 5,61 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot A_{s_f} + \sqrt{(A_{s_f} \cdot \alpha_e)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot A_{s_f}}}{bw} = 3,5796 \text{ cm}$$

Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot A_{s_f} \cdot (d - x_{ii})^2 = 8845,7666 \text{ cm}^4$$

Variação máxima de tensão

$$\Delta \sigma_s := \alpha_e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 188,8041 \text{ MPa}$$

```
if  $\Delta \sigma_s \leq 190 \text{ MPa}$  = "Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"
```

### Verificação e Formação de Fissura

$$\alpha := 1,5 \quad Y_t := \frac{H \cdot l_{aje}}{2} = 10 \text{ cm} \quad F_{ct} := 0,7 \cdot \left( 0,3 \cdot \left( \sqrt[3]{f_{ck}^2} \right) \right) \cdot \frac{1,7955}{10} = 0,1795$$

$$I_c := \frac{bw \cdot H \cdot l_{aje}^3}{12} = 66666,6667 \text{ cm}^4$$

Momento fissuração para lajes

$$M_r := \frac{\alpha \cdot F_{ct} \cdot I_c}{Y_t}$$

$$M_r := 2027,528 \text{ kN cm}$$

Momento fletor maximo meio do vão

$$Md_{rara} := Mxmg + Mxm q = 1886 \text{ kN cm}$$

$$\text{if } Mr < Md_{rara}$$

$m := \text{"Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"}$

else

$m := \text{"não ocorre fissuras"}$

$m = \text{"não ocorre fissuras"}$

Verificação de Abertura de Fissuras

barras nervuradas

$$Md_{freq} := Mxmg + 0,5 \cdot Mxm q = 9,72 \text{ kN m} \quad \alpha e := 15 \quad \eta_1 := 2,25$$

$$bitola = 10 \text{ mm} \quad d' = 5 \text{ cm} \quad Esi := 210 \text{ GPa}$$

$$fct_m := 0,3 \cdot \left( fck \cdot \frac{2}{3} \right) = 28964,6815$$

$$fct_m := 0,28964 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{cri} := bw \cdot (d' + 8 \cdot bitola) = 1300 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{cri} := \frac{As_f}{A_{cri}} = 0,4315 \%$$

O cálculo no estágio II (que admite comportamento linear dos materiais e despreza a resistência à tração do concreto) pode ser feito considerando a relação  $\alpha_e$  entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto igual a 15.

$$x_{ii} := \frac{-\alpha e \cdot As_f + \sqrt{(\alpha e \cdot As_f)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 4,2529 \text{ cm}$$

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha e \cdot As_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 12283,4115 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{si} := \alpha e \cdot \left( \frac{Md_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 12,7564 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

logo

O valor característico da abertura de fissuras ( $w_k$ ), determinado para cada parte da região de envolvimento, é o menor obtido pelas expressões a seguir.

$$w_k = \frac{\phi_i}{12,5 \eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \frac{3 \sigma_{Si}}{f_{ct,m}} \quad (8.161)$$

$$w_k = \frac{\phi_i}{12,5 \eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \left( \frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right) \quad (8.162)$$

$$wk1 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{Esi} \right) \cdot \left( \frac{3 \cdot \sigma_{si}}{fct_m} \right) = 0,0285 \text{ mm}$$

$$Wk2 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{Esi} \right) \cdot \left( \frac{4}{\rho_{cri}} + 45 \right) = 0,2099 \text{ mm}$$

```
if Wk1 < Wk2
  Wk := Wk1
else
  Wk := Wk2
```

#### Abertura da fissura

$$Wk = 0,0285 \text{ mm}$$

```
if Wk < 0,3 mm = "okay"
  "okay"
else
  "não okay"
```

#### □ Armaduras Engaste

$$Mxm_q := 59,33 \cdot (\text{kN m}) \quad Mxm_g := 0,59 \cdot (\text{kN m})$$

#### Cálculo do momento de desing

$$Mxm_{qd} := Mxm_q \cdot 1,5 = 88,995 (\text{kN m})$$

$$Mxm_{gd} := 1,35 \cdot Mxm_g = 0,7965 \text{ kN m}$$

$$Mxmd := Mxm_{qd} + Mxm_{gd} = 89,7915 \text{ kN m}$$

#### Cálculo da área de aço:

$$bw := 100 \text{ cm} \quad d' := 5 \text{ cm}$$

$$fck := 30 \text{ MPa} = 3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{yk} := 500 \text{ MPa} = 50 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$d := H_{laje} - d' = 15 \text{ cm}$$

$$f_{cd} := \frac{fck}{1,4}$$

$$f_{yd} := \frac{f_{yk}}{1,15}$$

$$Mxmd = 89,7915 \text{ kN m}$$

#### Cálculo da ductilidade $\xi$ da seção transversal

$$a := 0,4$$

$$b := -1$$

$$c := \frac{Mxmd}{\left( 0,68 \cdot bw \cdot d^2 \cdot f_{cd} \right)} = 0,2739$$

$$\delta := b^2 - 4 \cdot a \cdot c = 0,5618$$

```
if delta < 0 = "Ok"
  "Seção Inválida"
else
  "Ok"
```

$$raiz_1 := \frac{(-b + \sqrt{\delta})}{(2 \cdot a)} = 2,1869$$

$$raiz_2 := \frac{(-b - \sqrt{\text{delta}})}{(2 \cdot a)} = 0,3131$$

$$\text{epsilon} := \min \left( \left[ \text{raiz}_1 \text{ raiz}_2 \right] \right) = 0,3131$$

Verificação de necessidade de armadura dupla

```
if epsilon ≤ 0,45 = "okay"
  "okay"
else
  "não okay"
```

**Posição da Linha Neutra:**

$$x := \text{epsilon} \cdot d = 4,6962 \text{ cm}$$

$$y := 0,8 \cdot x = 3,757 \text{ cm}$$

**Definição dos Domínios:**

```
Dominio := ""
if epsilon < 0                                     = "Dominio 3a"
  "Dominio 1"
else
  if (((0 < epsilon)) ∧ (epsilon ≤ 0,259))
    "Dominio 2"
  else
    if (((0,259 < epsilon)) ∧ (epsilon ≤ 0,450))
      "Dominio 3a"
    else
      if (((0,450 < epsilon)) ∧ (epsilon ≤ 0,628))
        "Dominio 3b"
      else
        if (((0,628 < epsilon)) ∧ (epsilon ≤ 1))
          "Dominio 4"
        else
          "Dominio 5"
```

**Área de Aço:**

$$\text{bitola} := 16 \text{ mm}$$

$$A_s := \frac{M_{xmd}}{(f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x))} = 15,74 \text{ cm}^2$$

$$\text{taxa\_armadura} := \frac{0,208}{100} = 0,0021$$

$$A_{s,min} := \text{taxa\_armadura} \cdot b_w \cdot (d + d') = 4,16 \text{ cm}^2$$

$$\text{area\_bitola} := \pi \cdot \frac{(\text{bitola}^2)}{4} = 0,0002 \text{ m}^2$$

$$\text{num\_bitolas} := \frac{A_s}{\text{area\_bitola}} = 7,83$$

$$\text{casas\_decimais} := \text{mod}(\text{num\_bitolas}; 1) = 0,828$$

```
if casas_decimais ≤ 0,5
  Num_bitolasadotadas := num_bitolas + (1 - casas_decimais)
else
  Num_bitolasadotadas := round(num_bitolas; 0)
```

$$\text{Num\_bitolasadotadas} = 8$$

## Espaçamento

$$\text{Comprimento} := L5X \quad \text{Num\_espaçamento} := \text{Num\_bitolasadotadas} - 1 = 7$$

$$\text{Espaçamento} := \text{Num\_espaçamento} \cdot \text{Comprimento} = 175 \text{ m}$$

$$\text{EspaçamentoReal} := \frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamento}} \cdot 100 = 14,29 \quad \text{Espaçamentoadotado} := 14 \text{ cm}$$

## Espaçamento máximo

$$\text{if } H\text{laje} \cdot 2 > 20 \text{ cm}$$

$$S_{\max} := 20 \text{ cm}$$

else

$$S_{\max} := H\text{laje} \cdot 2$$

$$S_{\max} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{if } \text{Espaçamentoadotado} > S_{\max}$$

$$\text{Espaçamentoadotado} := S_{\max}$$

$$\text{Espaçamentoadotado} = 14 \text{ cm}$$

## Numero de bitolas totais

$$\text{NumbitolasT} := \frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamentoadotado}} = 179$$

$$\text{COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)} \\ 6118 - 2023$$

### 9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2 \phi$ ;
- em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4 \phi$ ;
- em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8 \phi$ .

## Logo

$$\text{Comprimento ancoragem} := 8 \cdot \text{bitola} = 12,8 \text{ cm}$$

## VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

$$M_{\min q} := M_{xmq} \cdot 0 \quad M_{\min g} := M_{xmg} \quad M_{\max q} := M_{xmq} \cdot 0,8 \quad M_{\max g} := M_{xmg}$$

$$M_{x\min_{\text{freq}}} := M_{\min q} + M_{\min g} = 0,59 \text{ kN m} \quad M_{x\max_{\text{freq}}} := M_{\max q} + M_{\max g} = 48,054 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{\text{freq}} := M_{x\max_{\text{freq}}} - M_{x\min_{\text{freq}}} = 47,464 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{\text{Espaçamentoadotado}} = 7,1429 \quad \text{area\_bitola} = 0,0002 \text{ m}^2$$

$$\alpha e := 10$$

$$As_f := NB \cdot \text{area\_bitola} = 14,3616 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha e \cdot As_f + \sqrt{(As_f \cdot \alpha e)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 5,283 \text{ cm}$$

Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha e \cdot As_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 18475,1705 \text{ cm}^4$$

Variação máxima de tensão

$$\Delta \sigma S_s := \alpha e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 249,6362 \text{ MPa}$$

```
if ΔσS ≤ 190 MPa = "Não Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"
```

$$\text{Num\_bitolasadotadas} := 11$$

Espaçamento

$$\text{Comprimento} := L5X$$

$$\text{Num\_espaçamento} := \text{Num\_bitolasadotadas} - 1 = 10$$

$$\text{Espaçamento} := \text{Num\_espaçamento} \cdot \text{Comprimento} = 250 \text{ m}$$

$$\text{EspaçamentoReal} := \frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamento}} \cdot 100 = 10$$

$$\text{Espaçamentoadotado} := 10 \text{ cm}$$

Espaçamento máximo

```
if Hlaje · 2 > 20 cm
  Smax := 20 cm
else
  Smax := Hlaje · 2
```

$$Smax = 20 \text{ cm}$$

```
if Espaçamentoadotado > Smax
  Espaçamentoadotado := Smax
```

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

Numero de bitolas totais

$$NumbitolasT := \frac{Comprimento}{Espaçamentoadotado} = 250$$

$$\text{COMPRIMENTO DE ANCORAGEM(virada)} \\ 6118 - 2023$$

#### 9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração

Os ganchos das extremidades das barras da armadura longitudinal de tração podem ser:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a  $2 \phi$ ;
- b) em ângulo de  $45^\circ$  (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a  $4 \phi$ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a  $8 \phi$ .

Logo

$$Comprimento ancoragem := 8 \cdot bitola = 12,8 \text{ cm}$$

#### VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

$$Mminq := Mxm q \cdot 0 \quad Mming := Mxm g \quad Mmaxq := Mxm q \cdot 0,8 \quad Mmaxg := Mxm g$$

$$Mxmin_{freq} := Mminq + Mming = 0,59 \text{ kN m} \quad Mxmax_{freq} := Mmaxq + Mmaxg = 48,054 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{freq} := Mxmax_{freq} - Mxmin_{freq} = 47,464 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular  $\alpha_e$  definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{Espaçamentoadotado} = 10 \quad area\_bitola = 0,0002 \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

$$As_f := NB \cdot area\_bitola = 20,1062 \text{ cm}^2 \text{ por metro}$$

posição da linha neutra

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot As_f + \sqrt{(\alpha_e \cdot As_f)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot As_f}}{bw} = 6,0119 \text{ cm}$$

Momento de Inercia

$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha_e \cdot As_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 23485,9023 \text{ cm}^4$$

Variação máxima de tensão

$$\Delta \sigma_s := \alpha_e \cdot \left( \frac{\Delta M_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 181,6452 \text{ MPa}$$

```

if  $\Delta\sigma_s \leq 190 \text{ MPa}$  = "Okay"
  m := "Okay"
else
  m := "Não Okay"

```

### Verificação e Formação de Fissura

$$\alpha := 1,5 \quad \gamma_t := \frac{Hlaje}{2} = 10 \text{ cm} \quad F_{ct} := 0,7 \cdot \left( 0,3 \cdot \left( \sqrt[3]{f_{ck}^2} \right) \right) \quad \frac{1,7955}{10} = 0,1795$$

$$I_c := \frac{bw \cdot Hlaje^3}{12} = 66666,6667 \text{ cm}^4$$

Momento fissuração para lajes

$$M_r := \frac{\alpha \cdot F_{ct} \cdot I_c}{\gamma_t}$$

$$M_r := 2027,528 \text{ kN cm}$$

Momento fletor maximo meio do vão

$$M_{d_{rara}} := M_{xmg} + M_{xm} = 5992 \text{ kN cm}$$

```

if  $M_r < M_{d_{rara}}$ 
  m := "Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"
else
  m := "não ocorre fissuras"

```

$m = \text{"Ocorre fissuras e a peça trabalha no estágio 2"}$

### Verificação de Abertura de Fissuras

barras nervuradas

$$M_{d_{freq}} := M_{xmg} + 0,5 \cdot M_{xm} = 30,255 \text{ kN m} \quad \alpha_e := 15 \quad \eta_1 := 2,25$$

$$bitola = 16 \text{ mm} \quad d' = 5 \text{ cm} \quad E_{si} := 210 \text{ GPa}$$

$$f_{ct_m} := 0,3 \cdot \left( f_{ck}^{\frac{2}{3}} \right)$$

$$f_{ct_m} := 0,22104 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{cri} := bw \cdot (d' + 8 \cdot bitola) = 1780 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{cri} := \frac{A_{s_f}}{A_{cri}} = 1,1296 \%$$

O cálculo no estágio II (que admite comportamento linear dos materiais e despreza a resistência à tração do concreto) pode ser feito considerando a relação  $\alpha_e$  entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto igual a 15.

$$x_{ii} := \frac{-\alpha_e \cdot A_{s_f} + \sqrt{(A_{s_f} \cdot \alpha_e)^2 + 2 \cdot bw \cdot \alpha_e \cdot d \cdot A_{s_f}}}{bw} = 6,9627 \text{ cm}$$



$$I_{ii} := \frac{bw \cdot x_{ii}^3}{3} + \alpha e \cdot A s_f \cdot (d - x_{ii})^2 = 30733,891 \text{ cm}^4$$

$$\sigma_{si} := \alpha e \cdot \left( \frac{M d_{freq} \cdot (d - x_{ii})}{I_{ii}} \right) = 11,868 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

logo

O valor característico da abertura de fissuras ( $w_k$ ), determinado para cada parte da região de envolvimento, é o menor obtido pelas expressões a seguir.

$$w_k = \frac{\phi_i}{12.5 \eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \frac{3 \sigma_{Si}}{f_{ct,m}} \quad (8.161)$$

$$w_k = \frac{\phi_i}{12.5 \eta_1} \frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \left( \frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right) \quad (8.162)$$

$$wk1 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \right) \cdot \left( \frac{3 \cdot \sigma_{si}}{f_{ct_m}} \right) = 0,0518 \text{ mm}$$

$$wk2 := \left( \frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \right) \cdot \left( \frac{4}{\rho_{cri}} + 45 \right) = 0,1283 \text{ mm}$$

if  $wk1 < wk2$

$wk := wk1$

else

$wk := wk2$

Abertura da fissura

$$wk = 0,0518 \text{ mm}$$

if  $wk < 0,3 \text{ mm} = \text{"okay"}$

$\text{"okay"}$

else

$\text{"não okay"}$