

Dimensionamento da Longarina

Equipe

Arthur Brito Gomes

Francisco Gustavo

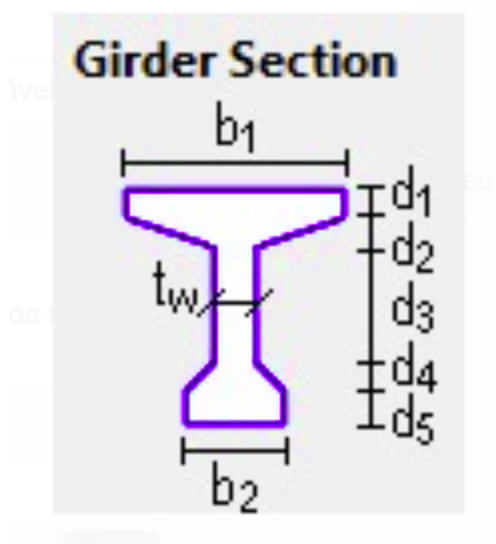
Gustavo Gomes

José Enrico

Imports

```
In [ ]: import math
from funcoes import (
    to_red as re,
    to_yellow as ye,
    arredonda_pra_cima,
    arredonda_pra_baixo,
    show_section,
    integrate_linear_function
)
from ABNT_NBR_7188 import P, p, CNF, CIA, CIV
```

Dados



```
In [ ]: # Dimensões da viga (Seção T) OBS: Verificar secao.png
b1 = 2.43
b2 = 0.8
tw = 0.4

d1 = 0.2
d2 = 0
d3 = 0.4
d4 = 0
d5 = 0.2

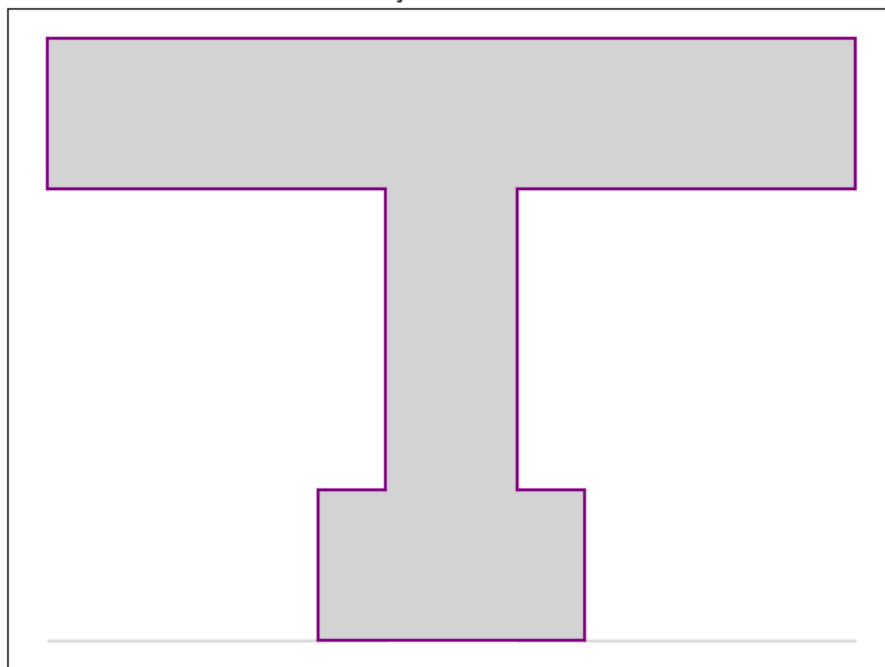
d_linha = 0.04

d = 0.7375 # Valor modificado para deixar com menor valor de diferença entre d'-d_r
# d = (d1 + d2 + d3 + d4 + d5) - d_linha

# Concreto
bitola_agregado = (3 / 4) * 2.54e-2
fck = 30e6
fcd = fck / 1.4

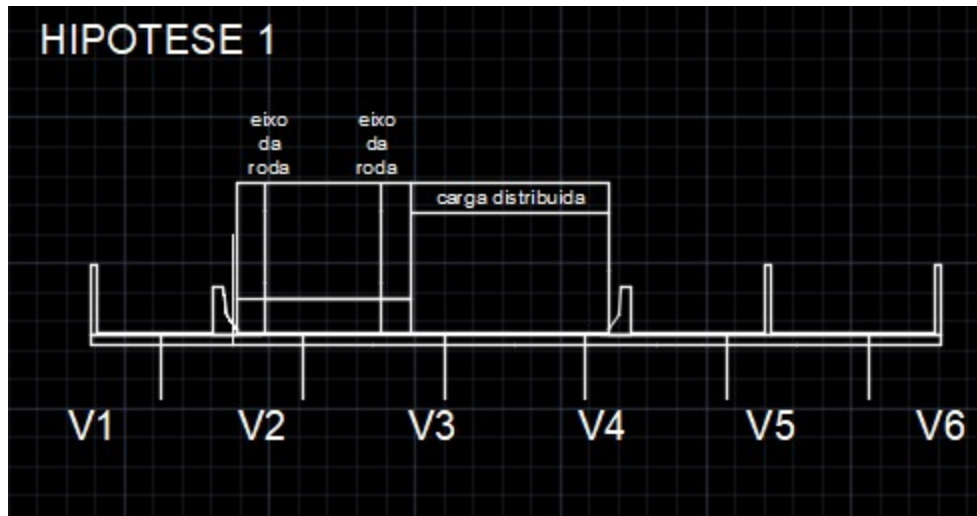
# Aço
num_ramos = 2
fy = 500e6
fyd = fy / 1.15
```

Seção Adotada



Trem Tipo

Utilizou-se as Equações de Engesser-Courbon para o cálculo do trem tipo considerando a Hipotese 1 evidenciada a seguir:



```
In [ ]: n = 6 # número de longarinas
E = 2.43 # distância entre eixos
equacoes = []

for i in range(1, n + 1):
    aux = (6 / n) * ((2 * i - n - 1) / ((n**2 - 1) * E))
    a = aux
    b = -aux * 7.05 + 1 / n
    equacoes.append((a, b))

print(f'Equações de Engesser-Courbon:')
for i, equacao in enumerate(equacoes):
    a, b = equacao
    print(f'n{i+1}(x)={a:.3f}x + {b:.3f}')

# print(f'Pontos de análise:')
coordenada_x_do_comeco_trem_tipo = 2.5
pontos = [ponto + coordenada_x_do_comeco_trem_tipo for ponto in [0, 0.5, 2.5, 3]]
pontos_de_analise = []
for i, equacao in enumerate(equacoes):
    analise = []
    for ponto in pontos:
        a, b = equacao
        ni = a * ponto + b
        analise.append(ni)
        # print(f'n{i+1}({ponto})={ni:.3f}')
    pontos_de_analise.append(analise)
    # print()

comprimento_sem_trem_tipo = 3.4
print(f'Trem tipo:')
```

```

for i, (a, y1, y2, b) in enumerate(pontos_de_analise):
    a = abs(a)
    y1 = abs(y1)
    y2 = abs(y2)
    b = abs(b)
    A1 = integrate_linear_function(equacoes[i][0], equacoes[i][1], pontos[0], ponto
    A2 = integrate_linear_function(equacoes[i][0], equacoes[i][1], pontos[len(ponto
    Q1 = 75 * (y1 + y2)
    q1 = 5 * (A1 + A2)
    q2 = 5 * A2
    print(f'Viga {i+1}: Q1={Q1:.2f} q1={q1:.2f} q2={q2:.2f}')

```

Equações de Engesser-Courbon:

$$n1(x) = -0.059x + 0.581$$

$$n2(x) = -0.035x + 0.415$$

$$n3(x) = -0.012x + 0.250$$

$$n4(x) = 0.012x + 0.084$$

$$n5(x) = 0.035x + -0.082$$

$$n6(x) = 0.059x + -0.248$$

Trem tipo:

$$\text{Viga 1: } Q1=51.90 \quad q1=7.87 \quad q2=2.68$$

$$\text{Viga 2: } Q1=41.14 \quad q1=6.86 \quad q2=2.74$$

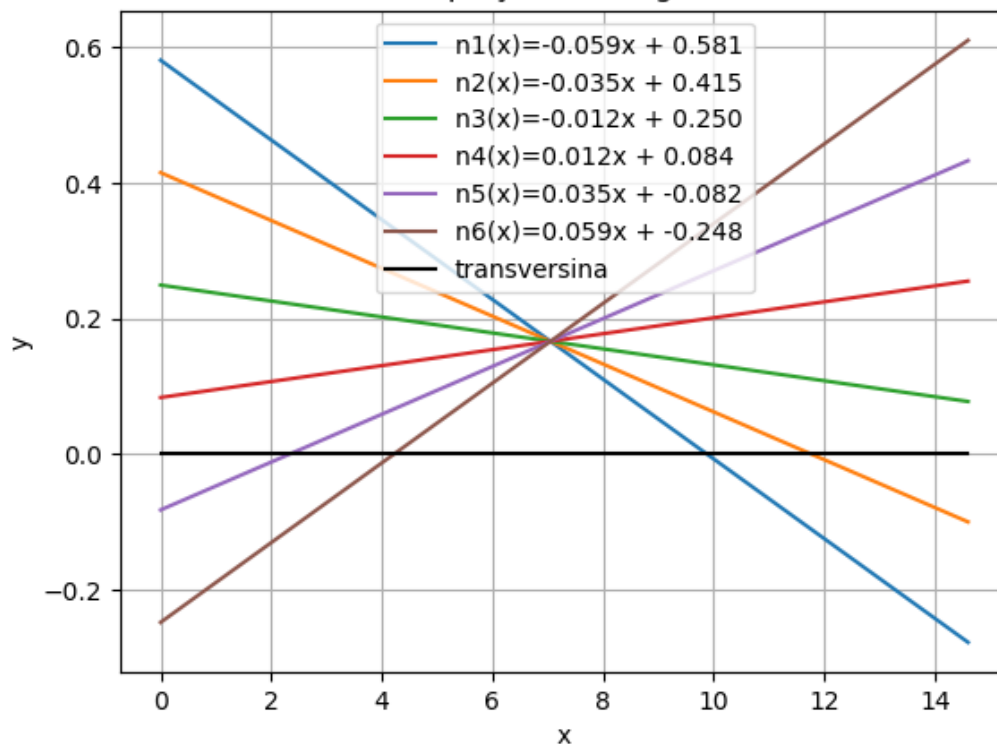
$$\text{Viga 3: } Q1=30.38 \quad q1=5.84 \quad q2=2.80$$

$$\text{Viga 4: } Q1=19.62 \quad q1=4.83 \quad q2=2.86$$

$$\text{Viga 5: } Q1=8.86 \quad q1=3.81 \quad q2=2.92$$

$$\text{Viga 6: } Q1=8.82 \quad q1=3.64 \quad q2=2.98$$

Gráfico das Equações de Engesser-Courbon



Peso Próprio

```
In [ ]: '''
Entrada de dados:
'''

# Trem tipo intermediário
distancia_1o_vao = b1
distancia_2o_vao = b1
# Trem tipo canto
distancia_entre_longarinas = b1

# Pesos específicos Materiais
peso_especifico_concreto = 25 # kN/m³
peso_especifico_pavimento = 24 # kN/m³

# AREAS DO PROJETO CAD
# Longarina
area_secao_longarina = (
    b1 * d1 +
    (tw + b1) * d2 / 2 +
    tw * d3 + (tw + b2) * d4 / 2 +
    d5 * b2
)

# Guarda_roda
area_guarda_roda = 0.218 # m²

# Guarda_corpo
q_guarda_corpo = 0.157 # kN/m

# Transversinas
area_septo_pilar = 0.7 * 0.35 # altura x base
comprimento_septo_pilar = b1 # m

# Recapeamento
q_recapeamento = 2 # kN/m²

# Comprimentos adotados
espessura_de_asfalto = 0.04 # m
altura_passeio = 0.04 # m

# CARREGAMENTOS FTOOL
# Distribuído
ppV1 = area_secao_longarina * peso_especifico_concreto
ppV1 += q_guarda_corpo
ppV1 += 2 * 0.04 * peso_especifico_pavimento
ppV1 += 2 * q_recapeamento
ppV1 += area_guarda_roda * peso_especifico_concreto

ppV2 = area_secao_longarina * peso_especifico_concreto
ppV2 += 2.36 * 0.04 * peso_especifico_pavimento
```

```

ppV2 += 2.36 * q_recapeamento

ppV3 = area_secao_longarina * peso_especifico_concreto
ppV3 += b1 * 0.04 * peso_especifico_pavimento
ppV3 += b1 * q_recapeamento

ppV4 = area_secao_longarina * peso_especifico_concreto
ppV4 += area_guarda_roda * peso_especifico_concreto
ppV4 += (b1 - 0.4) * 0.04 * peso_especifico_pavimento
ppV4 += (b1 - 0.4) * q_recapeamento

ppV5 = area_secao_longarina * peso_especifico_concreto
ppV5 += q_guarda_corpo
ppV5 += (b1 - 0.1) * 0.04 * peso_especifico_pavimento
ppV5 += (b1 - 0.1) * q_recapeamento

ppV6 = area_secao_longarina * peso_especifico_concreto
ppV6 += q_guarda_corpo
ppV6 += (b1 - 0.1) * 0.04 * peso_especifico_pavimento
ppV6 += (b1 - 0.1) * q_recapeamento

# Concentrado
concentrada = area_septo_pilar * comprimento_septo_pilar * peso_especifico_concreto

# Fator de impacto
fator_de_impacto = CNF(2) * CIA('concreto') * CIV(20)

```

```

In [ ]: print(f'CARGAS DISTRIBUÍDAS:')
        print(f'    V1: {ppV1:.2f}')
        print(f'    V2: {ppV2:.2f}')
        print(f'    V3: {ppV3:.2f}')
        print(f'    V4: {ppV4:.2f}')
        print(f'    V5: {ppV5:.2f}')
        print(f'    V6: {ppV6:.2f}')

        print(f'CARGAS CONCENTRADAS:')
        print(f'    Transversina no pilar: {concentrada:.2f}')

        print(f'FATOR DE IMPACTO={fator_de_impacto:.2f}')

```

CARGAS DISTRIBUÍDAS:

V1: 31.68

V2: 27.14

V3: 27.34

V4: 31.61

V5: 27.20

V6: 27.20

CARGAS CONCENTRADAS:

Transversina no pilar: 14.88

FATOR DE IMPACTO=1.63

Dimensionamento Longarina

Funções

```
In [ ]: def calcular_epslon(Md: float, b1: float, d: float, fcd: float) -> tuple[float, float]:
    """
    Equação que retorna epslon (x/d).
    """
    a = 0.4
    b = -1
    c = Md / (0.68 * b1 * (d**2) * fcd)

    delta = b**2 - 4 * a * c

    if delta < 0:
        raise Exception('Dimensões da viga não válidas.')

    raiz1 = (-b + math.sqrt(delta)) / (2 * a)
    raiz2 = (-b - math.sqrt(delta)) / (2 * a)
    return raiz1, raiz2
```

```
In [ ]: def verifica_dominio(epsilon: float) -> str:
    """
    Verifica o domínio com base em um epslon (x/d).
    """
    if epsilon < 0:
        return '1'
    elif 0 <= epsilon <= 0.259:
        return '2'
    elif 0.259 < epsilon <= 0.450:
        return '3a'
    elif 0.450 < epsilon <= 0.628:
        return '3b'
    elif 0.628 < epsilon <= 1:
        return '4'
    elif 1 < epsilon:
        return '5'
    else:
        raise Exception('Intervalo do domínio não definido.')
```

Carregamentos

```
In [ ]: # Comprimento ponte
L = 25

# Carregamentos
PP = max(ppV1, ppV2, ppV3, ppV4, ppV5, ppV6)
print(f'Peso próprio = {PP:.2f} kN/m')

# Momento Fletor
Mg = (PP * L**2 / 8) * 1e3
Mq = 2142.2e3
Md = 1.35 * Mg + 1.5 * Mq
print(f'Md={Md:.2e}')
```

```
# Esforço cortante
Vsg = (PP * L) * 1e3 / 2
Vsq = 357.6e3
Vsd = 1.35 * Vsg + 1.5 * Vsq
print(f'Vsd={Vsd:.2e}')
```

Peso próprio = 31.68 kN/m

Md=6.55e+06

Vsd=1.07e+06

Verificação Domínio

```
In [ ]: raiz1, raiz2 = calcular_epsilon(Md, b1, d, fcd)
epsilon = min(raiz1, raiz2)
x = epsilon * d
y = 0.8 * x

if y > d1 and not (b1 == b2 == tw):
    Md1 = 0.85 * fcd * (b1 - tw) * d1 * (d - 0.5 * d1)
    Md2 = Md - Md1
    Md = Md2
    raiz1, raiz2 = calcular_epsilon(Md2, b1, d, fcd)
    epsilon = min(raiz1, raiz2)
    x = epsilon * d
    y = 0.8 * x

if epsilon > 0.45:
    print(y(f'Necessita armadura dupla. O calculo não considera isso.'))

dominio = verifica_dominio(epsilon)
print(f'x/d={epsilon} x={x} y={y} Domínio {dominio}')
```

x/d=0.09949568860818117 x=0.07337807034853362 y=0.0587024562788269 Domínio 2

Cálculo da área de aço

```
In [ ]: diametro_bitola = 25 # mm

# Area de aço
As_calculado = Md / (fyd * (d - 0.4 * x))
As = As_calculado
taxa_armadura = 0.208 / 100
As_min = taxa_armadura * tw * (d + d_linha)

if As_min > As_calculado:
    As = As_min

area_bitola = math.pi * (diametro_bitola / 1e3)**2 / 4
num_bitolas = arredonda_pra_cima(As / area_bitola)
print(f'Area de aço calculado={As_calculado}; Area de aço min={As_min} -> {num_bito
```

Area de aço calculado=0.0059758890840216254; Area de aço min=0.0006468800000000001 -
> 13 Ø 25mm

Cálculo da armadura de pele

```
In [ ]: diametro_bitola_pele = 10 # mm

# Armadura de pele
if d1 + d2 + d3 + d4 + d5 >= 0.6:
    As_pele = (0.1 / 100) * tw * (d1 + d2 + d3 + d4 + d5)
    area_bitola = math.pi * (diametro_bitola_pele / 1e3)**2 / 4
    num_bitolas_pele = arredonda_pra_cima(As_pele / area_bitola)

    print(f'Area de aço pele={As_pele} -> {num_bitolas_pele} Ø {diametro_bitola_pele}')
else:
    print(f'Não é necessário armadura de pele.')
```

Area de aço pele=0.00032 -> 5 Ø 10mm

Verificação esforço cortante

```
In [ ]: diametro_estribo = 10 # mm

# Verificação do esforço cortante
alfa_v2 = 1 - (fck / 1e6) / 250
Vrd2 = 0.27 * alfa_v2 * fcd * tw * d
if Vsd <= Vrd2:
    # Não ocorre ruptura das diagonais de compressão. (Vsd<Vrd2)
    # Resistência a compressão do concreto
    fctd = 0.7 * (0.3 * math.pow(fck / 1e6, 2 / 3)) / 1.4
    Vc = 0.6 * fctd * 1e6 * tw * d
    Vsw = Vsd - Vc
    fywd: int = None
    if fyd <= 435e6:
        fywd = fyd
    else:
        fywd = 435e6
    alfa = math.radians(90)
    Asw = Vsw / (0.9 * d * fywd * (math.sin(alfa) + math.cos(alfa)))
    fctm = 0.3 * math.pow(fck / 1e6, 2 / 3)
    fywk = fy
    Asw_min = 0.2 * (fctm * 1e6 / fywk) * tw * math.sin(alfa)

    if Asw < Asw_min:
        Asw = Asw_min

    area_estribo = num_ramos * math.pi * (diametro_estribo / 1e3)**2 / 4
    num_estribos = arredonda_pra_cima(Asw / area_estribo)
    # Espaçamento de estribos - item 18.3.3.2 da NBR 6118 (2014)
    espacamento_max_estribos: float = None
    if Vsd <= 0.67 * Vrd2:
        if 0.6 * d >= 0.3:
            espacamento_max_estribos = 0.3
        else:
            espacamento_max_estribos = 0.6 * d
    elif Vsd > 0.67 * Vrd2:
```

```

        if 0.3 * d >= 0.3:
            espacamento_max_estribos = 0.2
        else:
            espacamento_max_estribos = 0.3 * d
    else:
        raise Exception(re('Ocorreu um erro no espaçamento de estribos.'))

print(f'Area de aço estribos={Asw}/m; Area de aço min={Asw_min}/m -> {num_estri')
print(f'Consumo esforço cortante = {Vsd/Vrd2 * 100:.2f}%')
# print(f'Espaçamento máximo entre estribos={espacamento_max_estribos}')
else:
    raise Exception(re(f'Ocorre ruptura das diagonais de compressão. Vsd/Vrd2={Vsd/

```

Area de aço estribos=0.0028227607831119725/m; Area de aço min=0.0004634349046107023/
m -> 18 Ø 10mm
Consumo esforço cortante = 71.30%

Verificação dos espaçamentos

Considera os valores mínimos de espaçamento permitidos pela NBR 6118

```

In [ ]: espacamento_min_horizontal = max(1.2 * bitola_agregado, 0.02, diametro_bitola * 1e-3)
# print(f'Espacamento min horizontal={espacamento_min_horizontal}')

espacamento_min_vertical = max(0.5 * bitola_agregado, 0.02, diametro_bitola * 1e-3)
# print(f'Espacamento min vertical={espacamento_min_vertical}')

num_max_de_bitolas_por_camada = arredonda_pra_baixo(
    ((b2 - d_linha * 2 - num_ramos * diametro_estribo * 2e-3) + espacamento_min_hor
    (diametro_bitola * 1e-3 + espacamento_min_horizontal)
)

if num_bitolas <= num_max_de_bitolas_por_camada:
    print(f'1 camada com {num_bitolas} Ø de {diametro_bitola}mm')
    d_real = (d1 + d2 + d3 + d4 + d5 - d_linha - diametro_estribo * 1e-3 - diametro
    print(f'Diferença d_real e d utilizado = {math.fabs(d_real - d) * 100:.2f}%')
else:
    print(f'Precisa de mais de uma camada. 1 camada suporta apenas {num_max_de_bito
    num_de_camadas = arredonda_pra_cima(num_bitolas / num_max_de_bitolas_por_camada
    print(f'Numero de camadas: {num_de_camadas}')
    num_max_de_camadas = arredonda_pra_baixo(
        ((d5 - diametro_estribo * 1e-3 - d_linha) + espacamento_min_vertical) /
        (diametro_bitola * 1e-3 + espacamento_min_vertical)
    )
    if num_de_camadas > num_max_de_camadas:
        raise Exception(f'Não existe seção suficiente para a quantidade de bitolas.
    d_real = d1 + d2 + d3 + d4
    d_real += (
        d5 - d_linha - diametro_estribo * 1e-3 -
        (num_de_camadas * diametro_bitola * 1e-3 + (num_de_camadas - 1) * espacamen
    ) # Folga
    d_real += (num_de_camadas * (diametro_bitola * 1e-3) + (num_de_camadas - 1) * e
    if d_real != d:
        print(f'd={d} d_real={d_real} {((d - d_real) / (d1 + d2 + d3 + d4 + d5)*100

```

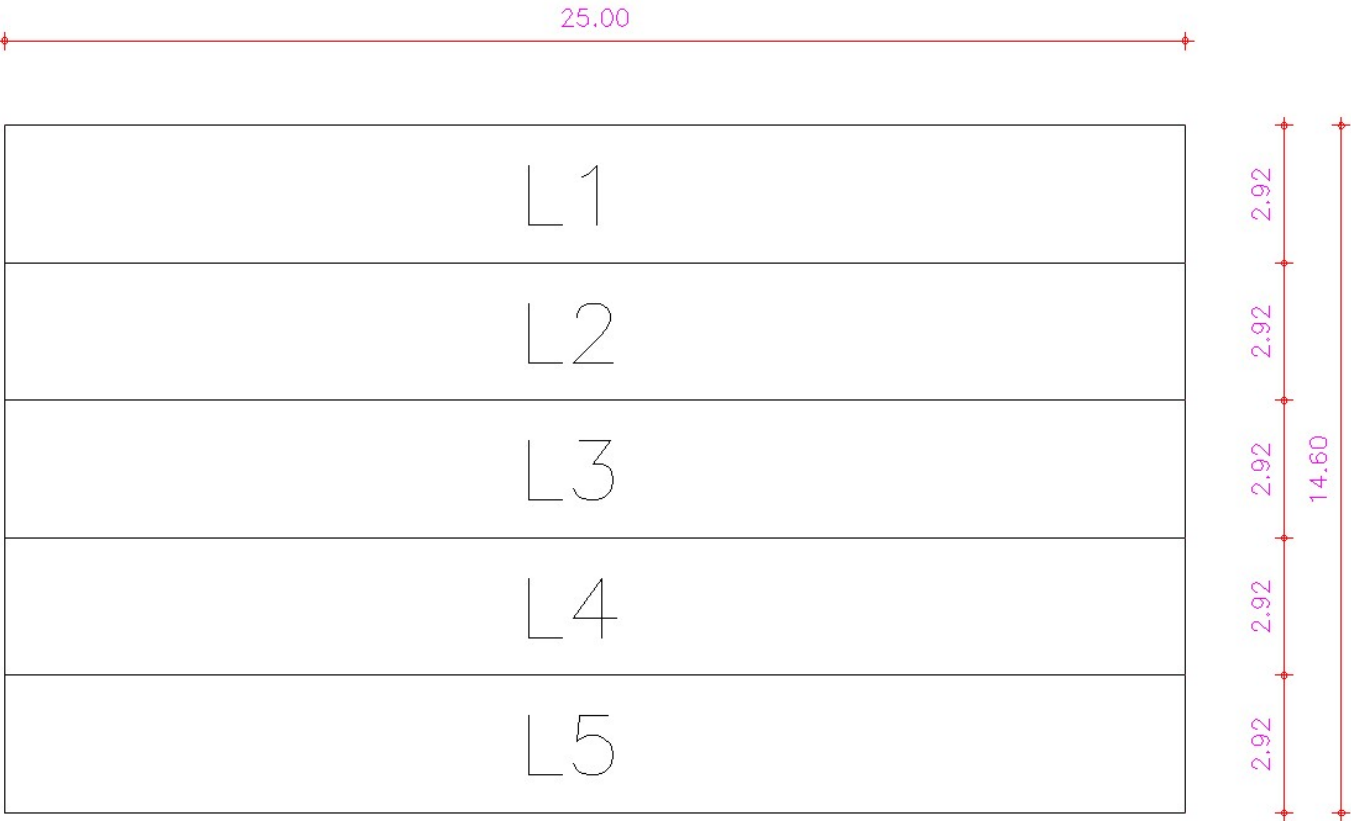
```
if (d - d_real) / (d1 + d2 + d3 + d4 + d5) > 0.1:  
    raise Exception(f'(d-d_real)/h > 10%')
```

1 camada com 13 Ø de 25mm

Diferença d_real e d utilizado = 0.00%

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

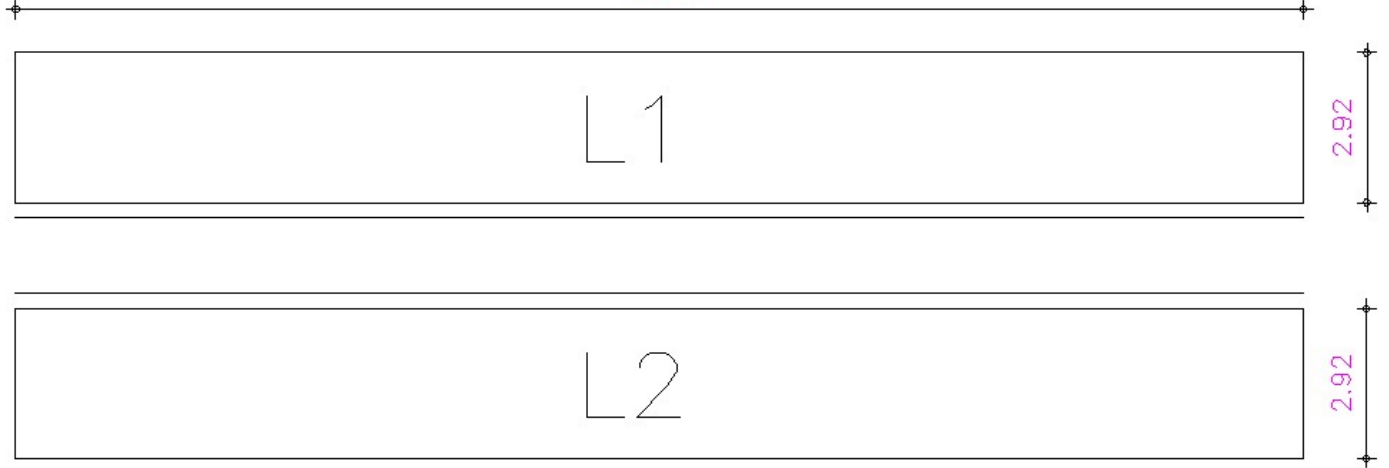
LAJE L1 E L2

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"
```



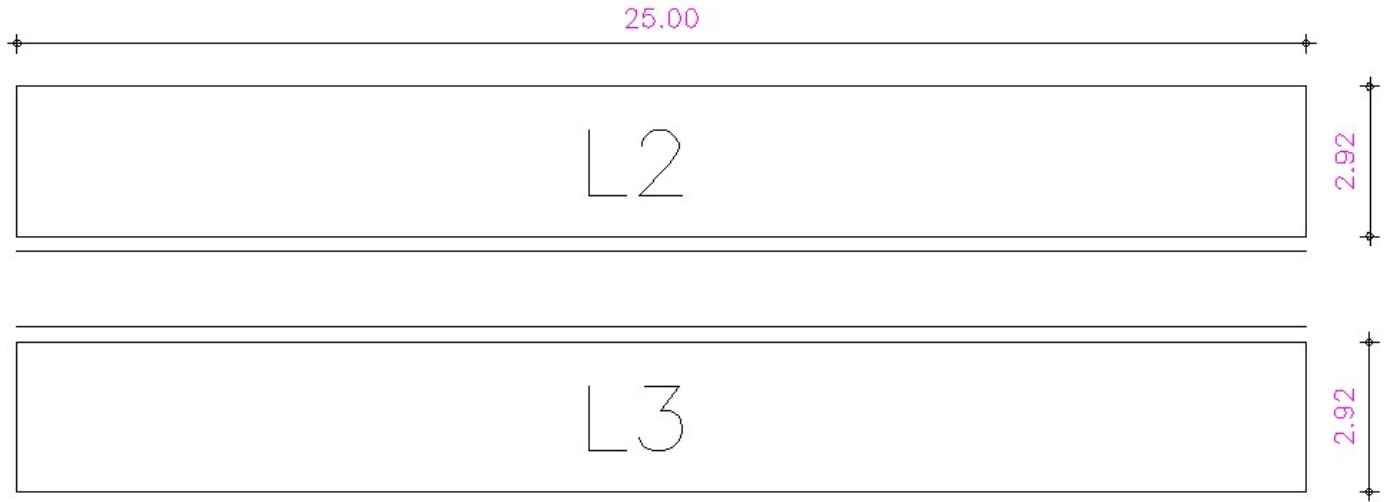
LAJE L2 E L3

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

☐ — 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

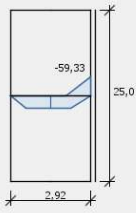
$l_y = 25,00$ m Borda inferior: Apoiada

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

$a = 2$ m Borda direita: Engastada

Direção do tráfego: ☒ \updownarrow ☐ \leftrightarrow

Coefficiente de Impacto (ψ):



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

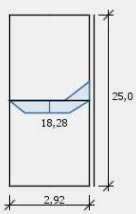
$l_y = 25,00$ m Borda inferior: Apoiada

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

$a = 2$ m Borda direita: Engastada

Direção do tráfego: ☒ \updownarrow ☐ \leftrightarrow

Coefficiente de Impacto (ψ):



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

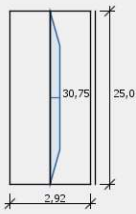
$l_y = 25,00$ m Borda inferior: Apoiada

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

$a = 2$ m Borda direita: Engastada

Direção do tráfego: ☒ \updownarrow ☐ \leftrightarrow

Coefficiente de Impacto (ψ):



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

$$M_{xmq} := 30,75 \cdot (\text{kN m}) \quad M_{xmg} := 0,1 \cdot (\text{kN m})$$

Cálculo do momento de desing

$$M_{xmqd} := M_{xmq} \cdot 1,5 = 46,125 (\text{kN m}) \quad M_{xmgd} := 1,35 \cdot M_{xmg} = 0,135 \text{ kN m}$$

$$M_{xmd} := M_{xmqd} + M_{xmgd} = 46,26 \text{ kN m}$$

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 ξ 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

```

$\text{Espaçamentoadotado} = 16,5 \text{ cm}$

Numero de bitolas totais

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

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 2ϕ ;
- b) em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

Logo

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

VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA
--

$$\begin{aligned}
 M_{minq} &:= M_{xm q} \cdot 0 & M_{ming} &:= M_{xm g} & M_{maxq} &:= M_{xm q} \cdot 0,8 & M_{maxg} &:= M_{xm g} \\
 M_{xmin_{freq}} &:= M_{minq} + M_{ming} = 0,1 \text{ kN m} & M_{xmax_{freq}} &:= M_{maxq} + M_{maxg} = 24,7 \text{ kN m} \\
 \Delta M_{freq} &:= M_{xmax_{freq}} - M_{xmin_{freq}} = 24,6 \text{ kN m}
 \end{aligned}$$

Portanto, a razão modular α_e definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

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

$$\alpha_e := 10$$

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

posição da linha neutra

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

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  $\Delta\sigma S_s \leq 190 \text{ MPa}$  = "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 :=  $\frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamento}} \cdot 100 = 12,5$ 
```

```
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 :=  $\frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamentoadotado}} = 23$ 
```

```

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 2ϕ ;
- em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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 α_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

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

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 $\Delta \sigma_{S_s} \leq 190 \text{ MPa}$ = "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 α_e entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto igual a 15.

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

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

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

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.

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

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

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

$$Wk2 := \left(\frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{si}}{Esi} \right) \cdot \left(\frac{4}{\rho_{cri}} + 45 \right) = 0,1656 \text{ mm}$$

```

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

```

Abertura da fissura

$$\bar{Wk} = 0,0312 \text{ mm}$$

```

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

```

☐—Armaduras Secundária

$$Mxm_q := 18,28 \cdot (\text{kN m}) \quad Mxm_g := 0,58 \cdot (\text{kN m})$$

Cálculo do momento de desing

$$Mxm_{qd} := Mxm_q \cdot 1,5 = 27,42 \text{ (kN m)}$$

$$Mxm_{gd} := 1,35 \cdot Mxm_g = 0,783 \text{ kN m}$$

$$Mxmd := Mxm_{qd} + Mxm_{gd} = 28,203 \text{ kN m}$$

Cálculo da área de aço:

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

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

$$fcd := \frac{fck}{1,4}$$

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

$$Mxmd = 28,203 \text{ kN m}$$

Cálculo da ductilidade ξ da seção transversal

$$a := 0,4$$

$$b := -1$$

$$c := \frac{Mxmd}{\left(0,68 \cdot bw \cdot d^2 \cdot fcd \right)} = 0,086$$

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

```

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

```

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

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

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

Verificação de necessidade de armadura dupla

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

Posição da Linha Neutra:

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

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

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:

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

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

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

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

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

$$\text{num_bitolas} := \frac{A_s}{\text{area_bitola}} = 5,71$$

$$\text{casas_decimais} := \text{mod}(\text{num_bitolas}; 1) = 0,7098$$

```
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 2ϕ ;
- em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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 α_e definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

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

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

$$\alpha e := 10$$

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

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"
```

$$\text{Num_bitolasadotadas} := 8$$

Espaçamento

$$\text{Comprimento} := L1Y \quad \text{Num_espaçamento} := \text{Num_bitolasadotadas} - 1 = 7$$

$$\text{Espaçamento} := \text{Num_espaçamento} \cdot \text{Comprimento} = 20,44 \text{ m}$$

$$\text{EspaçamentoReal} := \frac{\text{Comprimento}}{\text{Espaçamento}} \cdot 100 = 14,29 \quad \text{Espaçamentoadotado} := 14 \text{ cm}$$

Espaçamento máximo

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

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

```
if Espaçamentoadotado > Smax
  Espaçamentoadotado := Smax
```

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

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 2ϕ ;
- b) em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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

Verificação e Formação de Fissura

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

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

Momento fissuração para lajes

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

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

Momento fletor maximo meio do vão

$$M_{d_{rara}} := M_{xmg} + M_{xm} = 1886 \text{ kN cm}$$

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

$m = \text{"não ocorre fissuras"}$

Verificação de Abertura de Fissuras

barras nervuradas

$$M_{d_{freq}} := M_{xmg} + 0,5 \cdot M_{xm} = 9,72 \text{ kN m} \quad \alpha_e := 15 \quad \eta_1 := 2,25$$

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

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

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

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

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

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 α_e entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto igual a 15.

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

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

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

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 ξ 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 2ϕ ;
- b) em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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

$$\text{Num_bitolas adotadas} := 11$$

Espaçamento

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

$$\text{Num_espaçamento} := \text{Num_bitolas adotadas} - 1 = 10$$

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

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

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

Espaceamento máximo

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

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

else

$$Smax := Hlaje \cdot 2$$

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

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

$$Espaceamentoadotado := Smax$$

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

Numero de bitolas totais

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

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

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 2ϕ ;
- b) em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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 α_e definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

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

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

$$\alpha_e := 10$$

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

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 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 α_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 (ϕ): 1,60

Calcular

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	0,193	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:

$M_L = 0,17$

$M_P = 0,00$

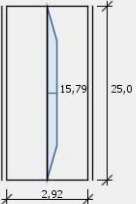
$M_P' = 0,05$

$M_{xm} = 20,34 \text{ kN.m/m}$

Cargas Permanentes:

$k_{xm} = 0,04$

$M_{xm} = 0,34 \text{ kN.m/m}$



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 (ϕ): 1,60

Calcular

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:

$M_L = 0,13$

$M_P = 0,00$

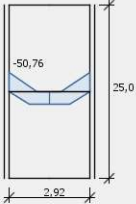
$M_P' = 0,02$

$M_{ym} = 15,79 \text{ kN.m/m}$

Cargas Permanentes:

$k_{ym} = 0,01$

$M_{ym} = 0,06 \text{ kN.m/m}$



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 (ϕ): 1,60

Calcular

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	0,26	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 ξ 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"

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

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

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

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

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

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

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

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

$$num_bitolas := \frac{A_s}{area_bitola} = 4,03$$

$$casas_decimais := \text{mod}(num_bitolas; 1) = 0,0279$$

if casas_decimais ≤ 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 2ϕ ;
- b) em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

Logo

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

VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

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

$$M_{\min \text{freq}} := M_{\min q} + M_{\min g} = 0,34 \text{ kN m} \quad M_{\max \text{freq}} := M_{\max q} + M_{\max g} = 16,612 \text{ kN m}$$

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

Portanto, a razão modular α_e definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

$$NB := \frac{100 \text{ cm}}{\text{Espaçamentoadotado}} = 5 \quad \text{area_bitola} = 0,0001 \text{ m}^2$$

$$\alpha_e := 10$$

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

posição da linha neutra

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

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  $\Delta \sigma_{S_s} \leq 190 \text{ MPa}$  = "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 2ϕ ;
- b) em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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 α_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

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

$$\alpha := 1,5$$

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

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

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

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

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

else

$$m := \text{"não ocorre fissuras"}$$

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

Verificação de Abertura de Fissuras

barras nervuradas

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

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

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

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

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

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

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 α_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.

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

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

$$Wk1 := \left(\frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \right) \cdot \left(\frac{3 \cdot \sigma_{Si}}{f_{ct,m}} \right) = 0,023 \text{ mm}$$

$$Wk2 := \left(\frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{Si}}{E_{Si}} \right) \cdot \left(\frac{4}{\rho_{cri}} + 45 \right) = 0,1792 \text{ mm}$$

```
if Wk1 < Wk2
```

```
Wk := Wk1
```

```
else
```

```
Wk := Wk2
```

Abertura da fissura

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

```
if Wk < 0,3 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

$$Mxm_{qd} := Mxm_q \cdot 1,5 = 23,685 (\text{kN m})$$

$$Mxm_{gd} := 1,35 \cdot Mxm_g = 0,081 \text{ kN m}$$

$$Mxmd := Mxm_{qd} + Mxm_{gd} = 23,766 \text{ kN m}$$

Cálculo da área de aço:

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

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

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

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

$$Mxmd = 23,766 \text{ kN m}$$

Cálculo da ductilidade ξ 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:

$Domínio := ""$

if $\epsilon < 0$

= "Domínio 2"

"Domínio 1"

else

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

"Domínio 2"

else

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

"Domínio 3a"

else

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

"Domínio 3b"

else

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

"Domínio 4"

else

"Domínio 5"

Área de Aço:

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

$$A_s := \frac{M_{xmd}}{(f_{yd} \cdot (d - 0,4 \cdot x))} = 3,76 \text{ cm}^2$$

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

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

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

$$num_bitolas := \frac{A_s}{area_bitola} = 4,78$$

$$casas_decimais := \text{mod}(num_bitolas; 1) = 0,7828$$

$$\begin{aligned} \text{if } casas_decimais \leq 0,5 \\ \quad Num_bitolasadotadas := num_bitolas + (1 - casas_decimais) \\ \text{else} \\ \quad Num_bitolasadotadas := \text{round}(num_bitolas; 0) \end{aligned}$$

$$Num_bitolasadotadas = 5$$

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

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

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

$$\text{else}$$

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

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

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

$$Espaçamentoadotado := S_{max}$$

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

Numero de bitolas totais

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

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 2ϕ ;
- b) em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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 α_e definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

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

$$\alpha_e := 10$$

$$A_{s_f} := NB \cdot \text{area_bitola} = 3,927 \text{ cm}^2 \quad \text{por metro}$$

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

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

```
if Δσs ≤ 190 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 2ϕ ;
- b) em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

Logo

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

VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

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

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

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

Portanto, a razão modular α_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

$$M_{d_{rara}} := M_{xmg} + M_{xm q} = 1585 \text{ kN cm}$$

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

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

else

$m := \text{"não ocorre fissuras"}$

$m = \text{"não ocorre fissuras"}$

Verificação de Abertura de Fissuras

barras nervuradas

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

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

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

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

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

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

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

"okay"

else

"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 ξ 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:

$bitola := 16 \text{ mm}$

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

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

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

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

$$num_bitolas := \frac{A_s}{area_bitola} = 6,57$$

$$casas_decimais := \text{mod}(num_bitolas; 1) = 0,5664$$

$$\text{if } casas_decimais \leq 0,5$$

$$Num_bitolasadotadas := num_bitolas + (1 - casas_decimais)$$

$$\text{else}$$

$$Num_bitolasadotadas := \text{round}(num_bitolas; 0)$$

$$Num_bitolasadotadas = 7$$

Espaçamento

$$Comprimento := L2X \quad Num_espaçamento := Num_bitolasadotadas - 1 = 6$$

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

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

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

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

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 2ϕ ;
- b) em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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

```
  Smax := 20 cm
```

```
else
```

```
  Smax :=  $H_{laje} \cdot 2$ 
```

```
Smax = 20 cm
```

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

```
   $\text{Espaçamentoadotado} := Smax$ 
```

```
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 2ϕ ;
- em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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 α_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

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

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

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

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

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

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

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

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

else

$$m := \text{"não ocorre fissuras"}$$

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

Verificação de Abertura de Fissuras

barras nervuradas

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

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

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

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

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

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

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 α_e entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto igual a 15.

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

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

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

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.

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

(8.161)

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

(8.162)

$$w_{k1} := \left(\frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \right) \cdot \left(\frac{3 \cdot \sigma_{si}}{f_{ct_m}} \right) = 0,0459 \text{ mm}$$

$$w_{k2} := \left(\frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \right) \cdot \left(\frac{4}{\rho_{cri}} + 45 \right) = 0,1316 \text{ mm}$$

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

Abertura da fissura

Wk = 0,0459 mm


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

Laje3

L3X = 25 m

L3Y = 2,92 m

tabelas



Dimensões:

Vinculações:

lx = 2,92 m

ly = 25,00 m

t = 0,5962 m

a = 2 m

Borda superior: Apoiada

Borda inferior: Apoiada

Borda esquerda: Engastada

Borda direita: Engastada

Direção do tráfego:

☒ ☐

Coefficiente de Impacto (φ): 1,60

Calcular

Mxm

Mym

Mxe

lx/ly	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	0,163	0,101	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:

ML=0,17

MP=0,00

MP'=0,05

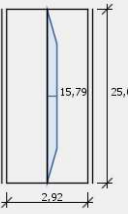
Mxm=20,34 kN.m/m

Cargas Permanentes:

kxm=0,04

Mxm=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

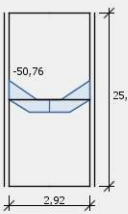
Coefficiente de Impacto (ψ): 1,60

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
Myp=0,02
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 (ψ): 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
Myp=0,33
Mxe=-50,76 kN.m/m
Cargas Permanentes:
kxe=0,08
Mxe=0,68 kN.m/m

Armaduras Principal

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

Cálculo do momento de desing

$$M_{xm}qd := M_{xm}q \cdot 1,5 = 30,51 (\text{kN m})$$

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

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

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 ξ 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 2ϕ ;
- b) em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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 α_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

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

$$\text{Num_espaçamento} := \text{Num_bitolas adotadas} - 1 = 6$$

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

$$EspaceamentoReal := \frac{Comprimento}{Espaceamento} \cdot 100 = 16,67$$

$$Espaceamentoadoado := 16 \text{ cm}$$

Espaceamento máximo

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

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

else

$$Smax := Hlaje \cdot 2$$

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

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

$$Espaceamentoadoado := Smax$$

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

Numero de bitolas totais

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

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 2ϕ ;
- b) em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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 α_e definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

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

$$\alpha_e := 10$$

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

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

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

$$I_c := \frac{b w \cdot Hlaje^3}{12} = 66666,6667 \text{ cm}^4$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

"okay"

else

"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 ξ 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:

$bitola := 10 \text{ mm}$

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

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

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

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

$$num_bitolas := \frac{A_s}{area_bitola} = 4,78$$

$$casas_decimais := \text{mod}(num_bitolas; 1) = 0,7828$$

$$\text{if } casas_decimais \leq 0,5$$

$$Num_bitolasadotadas := num_bitolas + (1 - casas_decimais)$$

$$\text{else}$$

$$Num_bitolasadotadas := \text{round}(num_bitolas; 0)$$

$$Num_bitolasadotadas = 5$$

Espaçamento

$$Comprimento := L3Y \quad Num_espaçamento := Num_bitolasadotadas - 1 = 4$$

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

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

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

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:

- semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a 2ϕ ;
- em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

Logo

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

VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

$$\begin{aligned}
 M_{minq} &:= M_{xm q} \cdot 0 & M_{ming} &:= M_{xm g} & M_{maxq} &:= M_{xm q} \cdot 0,8 & M_{maxg} &:= M_{xm g} \\
 M_{xmin_{freq}} &:= M_{minq} + M_{ming} = 0,06 \text{ kN m} & M_{xmax_{freq}} &:= M_{maxq} + M_{maxg} = 12,692 \text{ kN m} \\
 \Delta M_{freq} &:= M_{xmax_{freq}} - M_{xmin_{freq}} = 12,632 \text{ kN m}
 \end{aligned}$$

Portanto, a razão modular α_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

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

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 2ϕ ;
- em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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 α_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 α_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.

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

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

$$Wk1 := \left(\frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{Si}}{Esi} \right) \cdot \left(\frac{3 \cdot \sigma_{Si}}{fct_m} \right) = 0,0191 \text{ mm}$$

$$Wk2 := \left(\frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{si}}{Esi} \right) \cdot \left(\frac{4}{\rho_{cri}} + 45 \right) = 0,1718 \text{ mm}$$

```

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 ξ da seção transversal

$$a := 0,4$$

$$b := -1$$

$$c := \frac{Mxmd}{(0,68 \cdot bw \cdot d^2 \cdot fcd)} = 0,235$$

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

```

if delta < 0 = "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 2ϕ ;
- em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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 α_e definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

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

$$\alpha_e := 10$$

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

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

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

```
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

$$Numbitolas_T := \frac{Comprimento}{Espaceamento_{dotado}} = 227$$

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

9.4.2.3 Ganchos das armaduras de tração

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

- semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a 2ϕ ;
- em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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 α_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

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

```

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

```

Verificação e Formação de Fissura

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

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

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 α_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 (ψ): 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 (ψ): 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 (ψ): 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

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

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

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

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 ξ 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 2ϕ ;
- b) em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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 α_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:

- a) semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a 2ϕ ;
- b) em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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

```

Verificação e Formação de Fissura

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

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

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 α_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 ξ 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 ϕ ;
- b) em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4 ϕ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8 ϕ .

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

$$M_{x\min_{freq}} := M_{minq} + M_{ming} = 0,06 \text{ kN m} \quad M_{x\max_{freq}} := M_{maxq} + M_{maxg} = 12,692 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{freq} := M_{x\max_{freq}} - M_{x\min_{freq}} = 12,632 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular α_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

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

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 ΔσSs ≤ 190 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

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

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

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

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

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

Numero de bitolas totais

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

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

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 2ϕ ;
- b) em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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 α_e definida pela NBR 6118 (2014)

$$\alpha_e = 10$$

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

$$\alpha_e := 10$$

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

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

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

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

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

$$Md_{rara} := Mxmg + Mxm q = 1585 \text{ kN cm}$$

```

if  $Mr < Md_{rara}$ 
  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

$$Md_{freq} := Mxmg + 0,5 \cdot Mxm q = 7,955 \text{ kN m} \quad \alpha_e := 15 \quad \eta_1 := 2,25$$

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

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

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

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

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

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 α_e entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto igual a 15.

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

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

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

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

"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

$$Mxm_{qd} := Mxm_q \cdot 1,5 = 76,14 (\text{kN m})$$

$$Mxm_gd := 1,35 \cdot Mxm_g = 0,918 \text{ kN m}$$

$$Mxm_d := Mxm_{qd} + Mxm_{gd} = 77,058 \text{ kN m}$$

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 ξ 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

```

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

```

if Espaçamentoadotado > Smax
    Espaçamentoadotado := Smax

```

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

Numero de bitolas totais

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

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 2ϕ ;
- b) em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

Logo

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

VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

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

$M_{xmin_{freq}} := M_{minq} + M_{ming} = 0,68 \text{ kN m} \quad M_{xmax_{freq}} := M_{maxq} + M_{maxg} = 41,288 \text{ kN m}$

$\Delta M_{freq} := M_{xmax_{freq}} - M_{xmin_{freq}} = 40,608 \text{ kN m}$

Portanto, a razão modular α_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

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

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 2ϕ ;
- b) em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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 α_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 := "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

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

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

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

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

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

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

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 α_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

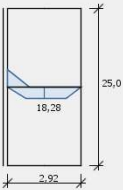
$Wk = 0,0459 \text{ mm}$

```
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 (ϕ):

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 (ϕ):

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

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

Cálculo do momento de desing

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

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

Cálculo da área de aço:

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

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

$$M_{xmd} = 46,26 \text{ kN m} \quad f_{cd} := \frac{f_{ck}}{1,4} \quad f_{yd} := \frac{f_{yk}}{1,15}$$

Cálculo da ductilidade ξ 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

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

COMPRIENTO 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 2ϕ ;
- b) em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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 α_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 2ϕ ;
- b) em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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 α_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

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

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

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"
```

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

Verificação de Abertura de Fissuras

barras nervuradas

$$M d_{freq} := M x m g + 0,5 \cdot M x m q = 15,475 \text{ kN m} \quad \alpha e := 15 \quad \eta_1 := 2,25$$

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

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

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

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

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

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 α_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.

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

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

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

$$wk2 := \left(\frac{bitola}{12,5 \cdot \eta_1} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \right) \cdot \left(\frac{4}{\rho_{cri}} + 45 \right) = 0,1656 \text{ mm}$$

if $wk1 < wk2$

$wk := wk1$

else

$wk := wk2$

Abertura da fissura

$$wk = 0,0312 \text{ mm}$$

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

"okay"

else

"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 ξ 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"

$$\text{raiz}_1 := \frac{(-b + \sqrt{\text{delta}})}{(2 \cdot a)} = 2,4108$$

$$\text{raiz}_2 := \frac{(-b - \sqrt{\text{delta}})}{(2 \cdot a)} = 0,0892$$

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

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

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

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

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

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

$$num_bitolas := \frac{A_s}{area_bitola} = 5,71$$

$$casas_decimais := \text{mod}(num_bitolas; 1) = 0,7098$$

$$\text{if } casas_decimais \leq 0,5 \\ Num_bitolasadotadas := num_bitolas + (1 - casas_decimais)$$

$$\text{else} \\ Num_bitolasadotadas := \text{round}(num_bitolas; 0)$$

$$Num_bitolasadotadas = 6$$

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:

- semicirculares, com ponta reta de comprimento não inferior a 2ϕ ;
- em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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 α_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

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

Variação máxima de tensão

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

```

if ΔσS ≤ 190 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 := Comprimento / Espaçamento · 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 := Comprimento / 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 2ϕ ;
- em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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 α_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 α_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

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

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

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

Cálculo da área de aço:

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

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

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

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

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

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

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

Cálculo da ductilidade ξ da seção transversal

$$a := 0,4$$

$$b := -1$$

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

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

```

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

```

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

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

$$\text{epsilon} := \min \left(\left[\text{raiz}_1 \text{ raiz}_2 \right] \right) = 0,3131$$

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

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

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

else

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

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

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

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

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

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 2ϕ ;
- em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

Logo

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

VERIFICAÇÃO FADIGA DA ARMADURA POSITIVA

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

$$M_{\text{xmin}_{\text{freq}}} := M_{\text{min}q} + M_{\text{ming}} = 0,59 \text{ kN m} \quad M_{\text{xmax}_{\text{freq}}} := M_{\text{max}q} + M_{\text{max}g} = 48,054 \text{ kN m}$$

$$\Delta M_{\text{freq}} := M_{\text{xmax}_{\text{freq}}} - M_{\text{xmin}_{\text{freq}}} = 47,464 \text{ kN m}$$

Portanto, a razão modular α_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 2ϕ ;
- b) em ângulo de 45° (interno), com ponta reta de comprimento não inferior a 4ϕ ;
- c) em ângulo reto, com ponta reta de comprimento não inferior a 8ϕ .

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 α_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

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

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

Momento fissuração para lajes

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

"okay"

else

"não okay"