

ACI 318-14 e ACI 318-19

O cálculo de punção no TQS para o ACI contém simplificações e deve ser considerado como um pré-dimensionamento indicativo da necessidade de armadura. O TQS não detalha a armadura final de punção. Fica a cargo do engenheiro a verificação e detalhamento final.

Subperímetros de punção e medição da tensão de cisalhamento

O TQS determina de maneira genérica o valor da tensão de cisalhamento distribuída em um perímetro, em função da força cortante medida nas barras da grelha interceptadas pelo perímetro considerado. Para que a tensão medida não seja distribuída em excesso, os perímetros são quebrados em subperímetros, conforme uma regra com distância parametrizada.

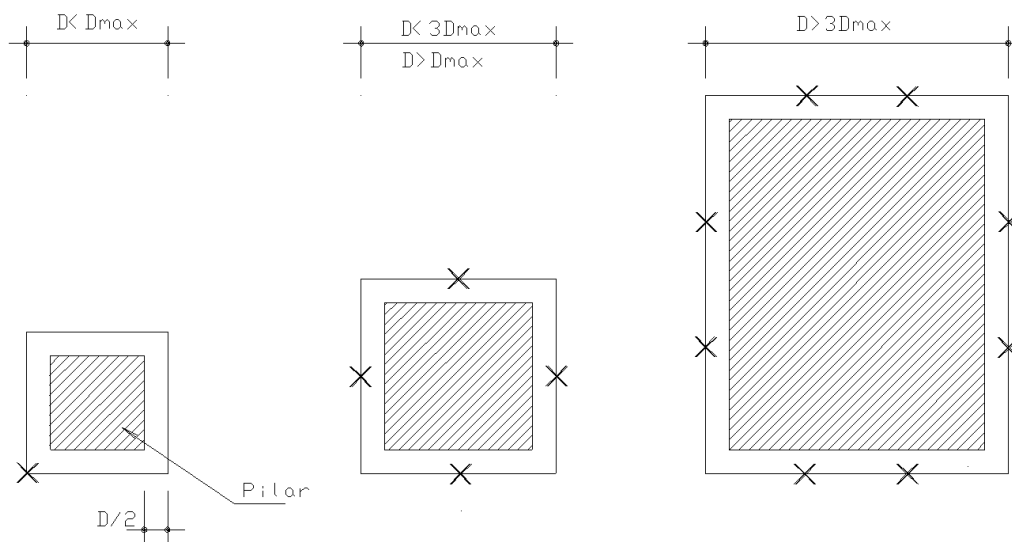
Seja d a altura útil da laje. Esta altura é a altura total da laje, menos o cobrimento da armadura negativa, menos meia bitola de flexão, estimada em 10 mm.

Trabalhamos com até dois perímetros de punção. No primeiro perímetro, localizado a $d/2$ do perímetro do pilar, verificaremos se a seção necessita armadura de punção, o valor da armadura, e possivelmente se a seção não passa no dimensionamento e a laje precisa ser redimensionada.

Sendo necessária armadura de punção, será determinado se existir, um segundo perímetro, onde a tensão resistente do concreto não exige mais armadura de punção.

Geração de subperímetros de punção

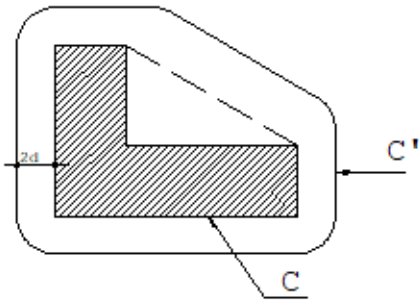
O primeiro perímetro está a $d/2$ do contorno do pilar. O programa define cada face do perímetro sem divisões, com uma divisão ou com duas divisões, conforme o comprimento da face seja menor que D_{max} ou $3D_{max}$. A distância D_{max} multiplica a altura útil d e é parametrizada, valendo por padrão 1.5.



As divisões marcadas nas faces delimitam um subperímetro. Cada subperímetro consiste no caminho entre estas divisões.

Eliminação de concavidades

Os contornos críticos em volta do pilar devem ser convexos. O primeiro perímetro crítico a $d/2$ do contorno do pilar tem as concavidades removidas:



Verificação da necessidade de armaduras

Para que um apoio de laje sobre pilar seja dispensado de armadura de punção, é necessário que (ACI 318-14M 22.6.5.2 e ACI 318-19M 22.6.1.4):

$$\frac{v_u}{\phi} < v_n$$

onde,

$$v_u = \frac{V_d}{b_{0s} * d}$$

V_d : força cortante de cálculo em MPa

b_{0s} : subperímetro de punção onde V_d foi medido, cm

d : altura útil da laje, cm

ϕ : Fator de redução da resistência à punção. Padrão 0.75 (critério) (ACI 318-14M 22.2.1 e ACI 318-19M 21.2.1)

v_n : menor valor entre as expressões:

ACI 318-14M 22.6.6.2:

$$\left(2 + \frac{4}{\beta}\right) * \lambda * \frac{\sqrt{F'_c}}{12}$$

$$\left(\alpha_s * \frac{d}{b_0} + 2\right) * \lambda * \frac{\sqrt{F'_c}}{12}$$

$$\lambda * \frac{\sqrt{F'_c}}{3}$$

ACI 318-19M 22.6.5.2:

$$\left(2 + \frac{4}{\beta}\right) * \lambda * \lambda_s * \frac{\sqrt{F'_c}}{12}$$

$$\left(\alpha_s * \frac{d}{b_0} + 2\right) * \lambda * \lambda_s * \frac{\sqrt{F'_c}}{12}$$

$$\lambda_s * \lambda * \frac{\sqrt{F'_c}}{3}$$

β : Relação entre maior e menor lado de pilar retangular. Para pilares não retangulares, considerar dimensões de retângulo envolvente na direção principal.

λ : Redutor para concreto leve. Padrão 1.0 (critério)

F'_c : Resistência característica do concreto MPa

b_0 : Perímetro de punção completo do pilar, cm

α_s : Vale 40 para pilares internos, 30 para pilares intermediários em contorno, 20 para pilares de canto. Por

simplificação, é determinado pelo número de direções diferentes do perímetro de punção: quatro ou mais, três ou duas.

λ_s : Fator para considerar "size effect" (ACI 318-19M 22.5.5.1.3): $\lambda_s = \sqrt{\frac{2}{1+0,004d}} \leq 1$.

Limite na resistência dos materiais

No cálculo da armadura de punção, serão consideradas resistências limitadas, por critério, a:

F'_c : Resistência característica do concreto ≤ 69 MPa (ACI 318-14M 22.6.3.1 e ACI 318-19M 22.6.3.1)

F_y : Resistência característica do aço de punção ≤ 420 Mpa (ACI 318-14M 20.2.2.4 e ACI 318-19M 22.6.3.2/20.2.2.4)

Limite para dimensionar

O programa trabalha com o cálculo de estribos e de conectores, definidos por critério. Os limites de v_u/ϕ são (ACI 318-14M 22.6.6.2 e ACI 318-19M 22.6.6.3):

Estribos: $1./2. \cdot \sqrt{F'_c}$

Conectores: $2./3. \cdot \sqrt{F'_c}$

Com tensões acima deste limite, a laje precisa ter dimensões ou cargas alteradas. O uso de estribos exige altura útil $d \geq 15$ cm e $d \geq 16\phi$ do estribo.

Cálculo da armadura de punção

A armadura de punção será distribuída pelo sistema exclusivamente de maneira ortogonal às faces do pilar. Uma vez distribuída a armadura, será formado um novo perímetro de punção, a $d/2$ de uma linha ligando o contorno externo das armaduras. Este novo perímetro deverá obedecer ao limite de tensões abaixo:

ACI 318-14M 22.6.6.1:

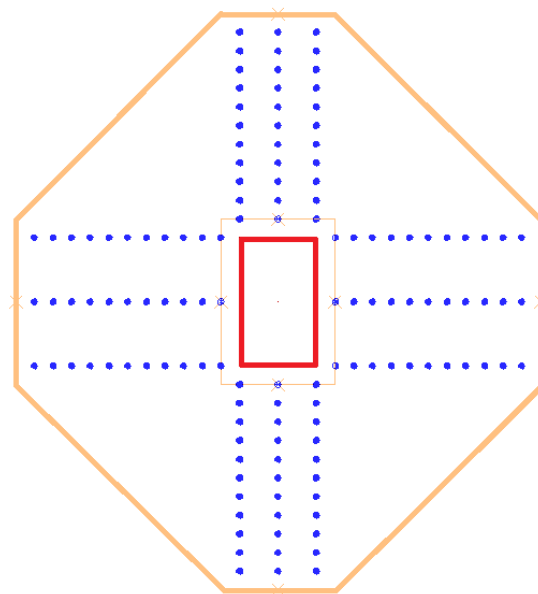
$$\frac{v_u}{\phi} < \frac{\sqrt{F'_c}}{6.}$$

ACI 318-19M 22.6.6.1:

$$\frac{v_u}{\phi} < \lambda \lambda_s \frac{\sqrt{F'_c}}{6.}$$

Partindo da distância de $4.5d$ das faces do pilar (critério), e verificando a cada d , o programa criará perímetros até que um atenda as condições acima. Se não for localizado, a laje será considerada como não dimensionável.

132 Ø 10



Caso contrário, serão distribuídas armaduras de punção partindo do primeiro perímetro a $d/2$ do pilar, e avançando a menos de $d/2$ do perímetro externo. A tensão resistente do concreto na presença de armadura de punção será calculada por:

ACI 318-14M 22.6.6.1:

$$\text{Estribos: } v_c = \lambda * \sqrt{F'_c} / 6.$$

$$\text{Conectores: } v_c = \lambda * \sqrt{F'_c} / 4.$$

ACI 318-19M 22.6.6.1:

$$\text{Estribos: } v_c = \lambda_s * \lambda * \sqrt{F'_c} / 6.$$

Conectores: Menor valor entre as expressões:

$$\left(2. + \frac{4.}{\beta} \right) * \lambda * \lambda_s * \frac{\sqrt{F'_c}}{12}$$

$$\left(\alpha_s * \frac{d}{b_0} + 2. \right) * \lambda * \lambda_s * \frac{\sqrt{F'_c}}{12.}$$

$$\lambda_s * \lambda * \frac{\sqrt{F'_c}}{4.}$$

A tensão resistente da armadura de punção terá então que ser maior ou igual a:

$$v_s \geq \frac{v_u}{\phi} - v_c$$

A armadura distribuída por unidade de comprimento será calculada por (ACI 318-14M 22.6.7.2/22.6.8.2 e ACI 318-19M 22.6.7.2/22.6.8.2):

$$\frac{A_v}{s} \geq v_s * \frac{b_0}{F_{yt}}$$

onde s é o espaçamento entre as barras em uma linha ortogonal à face do pilar. Em caso de uso de conectores, temos ainda a seguinte limitação (ACI 318-14M 22.6.8.3 e ACI 318-19M 22.6.8.3):

$$\frac{A_v}{s} \geq 0.17 * \sqrt{F'_c} * b_0 / F_{yt}$$

A primeira barra de armadura deve ser colocada no primeiro perímetro, a $d/2$ das faces dos pilares. O espaçamento

s deve obedecer:

Estribos: $s \leq 0.50d$

Conectores: $s \leq 0.50d$ se $\frac{v_u}{\phi} > 0.5 * \sqrt{F'_c}$ (ACI 318-14M 8.7.7.1.2 e ACI 318-19M 8.7.7.1.2)

$s \leq 0.75d$ se $\frac{v_u}{\phi} \leq 0.5 * \sqrt{F'_c}$

A distância entre linhas de armaduras deve ser inferior a 2d (ACI 318-14M 8.7.6.3 e ACI 318-19M 8.7.6.3 e 8.7.7.1.2).

Dada uma relação $\frac{A_v}{s}$, o programa partirá da tabela de espaçamentos preferenciais (critério) e testará qual bitola de punção (critério) atende à relação acima, se necessário testando outros espaçamentos.

O programa indica a posição das armaduras, mas não detalha.

Valores listados pela Edição Rápida de armaduras

No perímetro a d/2 das faces de um pilar, são listados:

INSUFICIENTE	Caso não seja possível dimensionar este apoio
$b_0=61\text{cm}$ $d=20.5\text{cm}$	Comprimento do subperímetro, altura útil.
v_u/t 3.18MPa	Valor de $\frac{v_u}{\phi}$
v_n 1.04MPa	Valor limite para não usar armadura de punção
v_{nmx} 2.98MPa	Valor limite para dimensionar a laje

No perímetro externo às armaduras de punção, são listados:

$b_0=192\text{cm}$ $d=20.5\text{cm}$	Comprimento do subperímetro, altura útil.
v_c .75MPa	Tensão resistente do concreto no perímetro
v_u/t 0.07MPa	Valor de $\frac{v_u}{\phi}$
dist 4.50d	Distância do perímetro às faces do pilar, função de d