

## Punção - Esforços através de barras (descontinuado)

O sistema de dimensionamento, detalhamento e desenho à punção foi reestruturado na Versão 11. As características principais do novo sistema são:

Faixas de homogeneização de força cortante formadas por sub-perímetros de punção, acompanham a geometria dos perímetros críticos;

As forças homogeneizadas nos sub-perímetros podem ser modificadas e os subperímetros podem ser reagrupados;

Verificação da tensão de compressão diagonal do concreto no contorno do pilar;

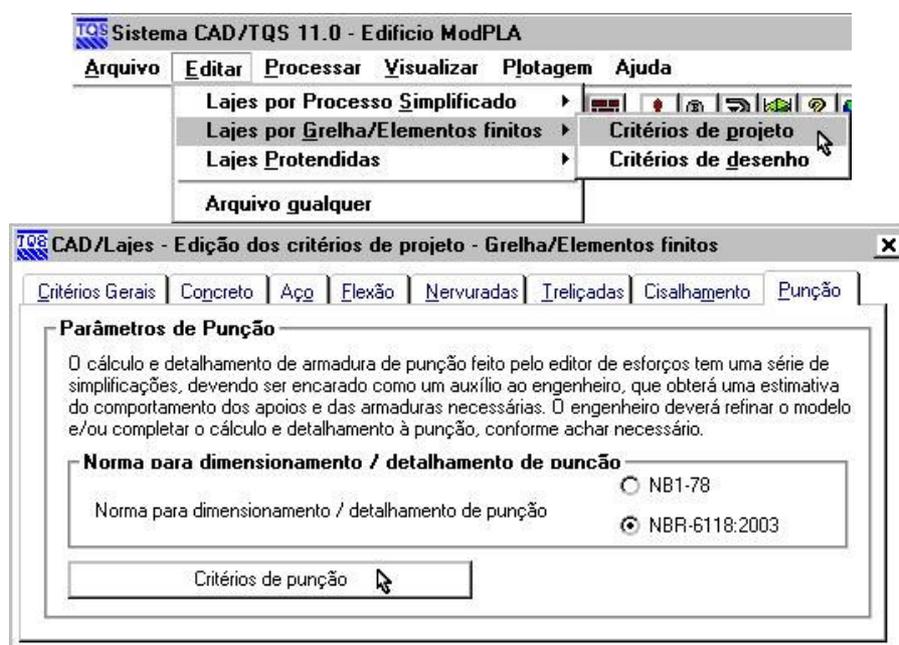
Número variável de perímetros críticos, conforme a necessidade de detalhamento de armaduras;

Limitação da altura útil dentro do capitel conforme a distância do perímetro crítico à borda;

Especificação de linhas de armaduras e o seus espaçamentos;

Previsão de armadura de flexão positiva de combate ao colapso progressivo.

O novo sistema de cálculo é selecionado na edição de critérios de lajes, menu "Punção"



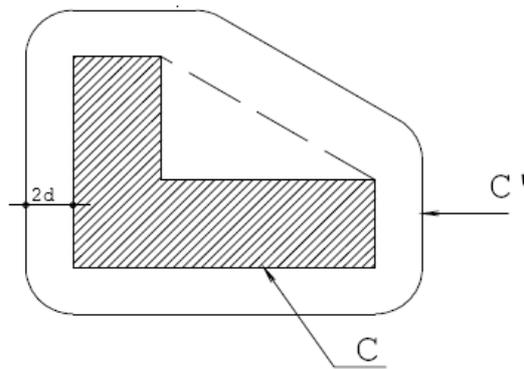
Todos os critérios neste capítulo se referem ao arquivo de critérios de projeto de lajes, para grelha/elementos finitos. A operação interativa do sistema é feita dentro do Editor de Esforços e Armaduras do TQS-Lajes.

### Perímetros críticos

O cálculo de punção em torno de um pilar é realizado sobre contornos ou superfícies críticas em volta do pilar, começando o primeiro contorno coincidindo com o contorno do pilar, e os demais à distância  $2d$  do pilar, onde  $d$  é a altura útil da laje.

### Eliminação de concavidades

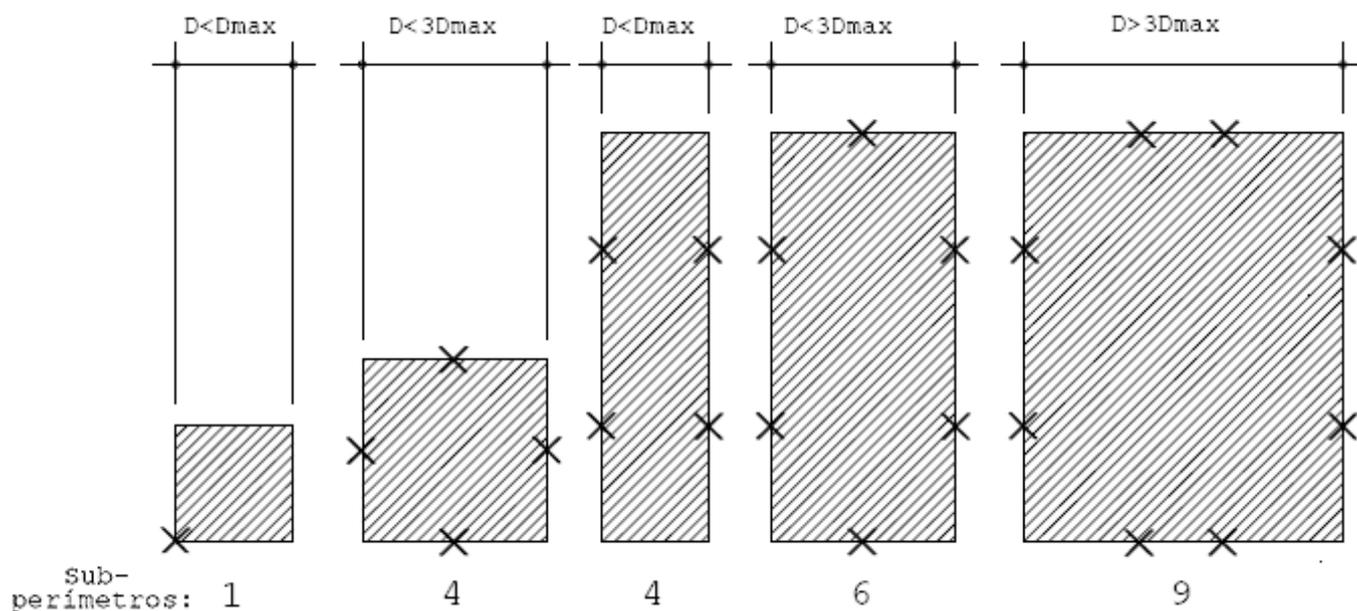
Os contornos críticos em volta do pilar devem ser convexos. O primeiro perímetro crítico consiste então no contorno do pilar com as concavidades removidas:



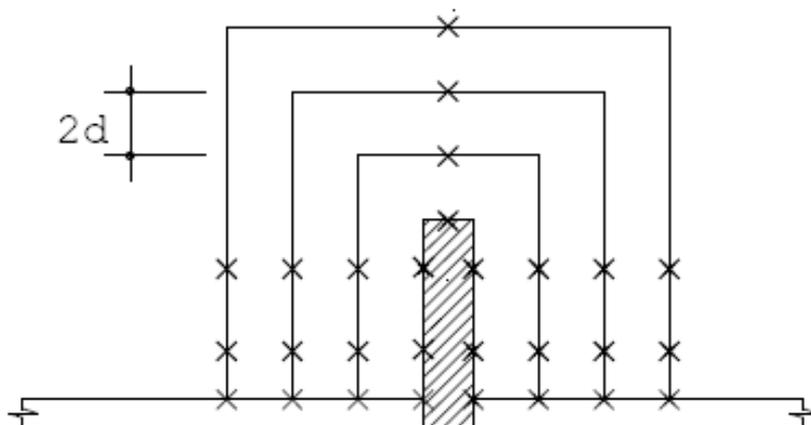
## Sub-perímetros para homogeneização de cortante

A norma tem uma série de regras para determinar a tensão de cisalhamento atuante nos perímetros críticos. Temos uma única tensão de cisalhamento por pilar, que depende do formato do pilar, sua posição relativa na planta de formas, se há momentos combinados, etc. Em vez disto, o TQS-Lajes faz a medição da força cortante (e o cálculo da tensão de cisalhamento) diretamente a partir das barras da grelha. A vantagem deste procedimento é que ele é genérico, e as forças obtidas são resultado do equilíbrio da grelha, que considera todas as condições de contorno.

Entretanto, a tensão de cisalhamento varia ao longo do perímetro crítico. O TQS-Lajes quebra o perímetro crítico em sub-perímetros em função dos comprimentos das arestas do pilar, através de uma regra parametrizada, de maneira que cada sub-perímetro terá um dimensionamento e detalhamento de punção independente. Veja abaixo um exemplo de subperímetros:



A distância parametrizada  $D_{max}$  funciona como um divisor. Até  $D_{max}$  temos um único trecho, até  $3D_{max}$  temos dois, e acima temos três. Cada sub-perímetro é formado pelo caminho que liga duas marcas "X".



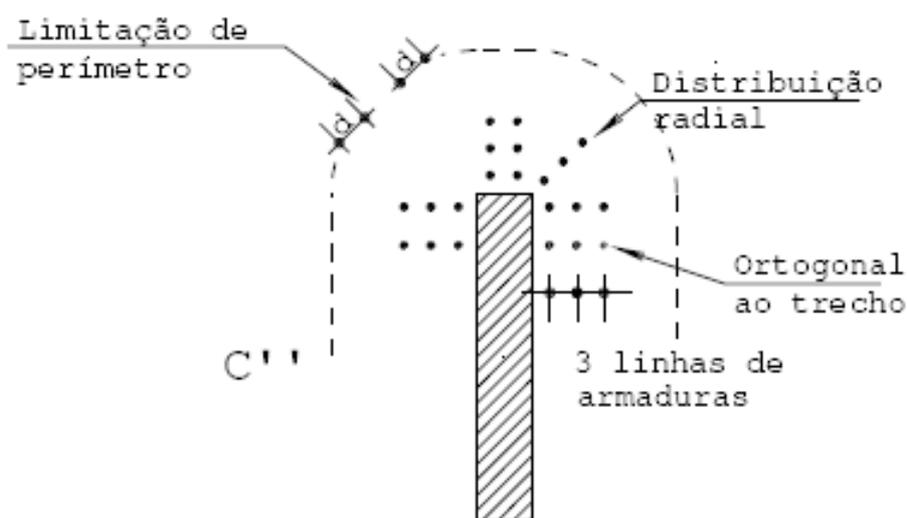
O perímetro do contorno do pilar é normalizado e quebrado em sub-perímetros. Os demais sub-perímetros para

homogeneização de cortantes serão formados por paralelas simples aos perímetros anteriores. A distância (parametrizada) entre sub-perímetros é  $2d$ .

Os sub-perímetros são gerados pelo TQS-Lajes na etapa de inicialização de faixas, que pode ocorrer durante o processamento global, transferência de esforços de grelhas para lajes ou acionamento direto. Por padrão (parametrizável) são gerados inicialmente 3 contornos em volta de todos os pilares, começando na face do pilar, e dois outros à distância  $2d$  do anterior, mesmo que não haja necessidade de armadura de punção. Se houver necessidade da geração de novos perímetros (para cobrir as tensões de cisalhamento), o sistema gerará automaticamente.

## Sub-perímetros críticos de cálculo

Os sub-perímetros de homogeneização interceptam a grelha e determinam o valor da cortante. Mas o comprimento real usado no cálculo de tensões será limitado por arredondamentos de raio  $2d$  e pela distribuição das armaduras de punção (que serão previamente planejadas). As projeções das linhas de armaduras em torno do pilar sobre o perímetro crítico podem ter distância máxima de  $2d$ , limitando o comprimento do perímetro como na figura:



O resultado é que novos perímetros podem não ter um acréscimo significativo no comprimento, conforme a disposição das armaduras. Isto pode provocar um aumento no número de perímetros necessários para armar punção.

## Critérios para controle dos perímetros críticos

O botão "Critérios de punção" chama a janela onde "Perímetros críticos" são os critérios para controle da geração dos perímetros. Os critérios são:

TQS Critérios de punção - NBR-6118:2003	
Perímetros críticos   Cálculo de armadura   Detalhamento	
Nos critérios a seguir, "d" representa a altura útil da laje.	
Comprimento máximo para eliminação de concavidades	20 d
Comprimento máximo para agrupamento de trechos	1,5 d
Distância entre perímetros críticos paralelos	2 d
Número de perímetros críticos a mostrar inicialmente	3

Comprimento máximo para eliminação de concavidades

A remoção de concavidades só será feita em arestas com comprimento menor que o máximo definido aqui.

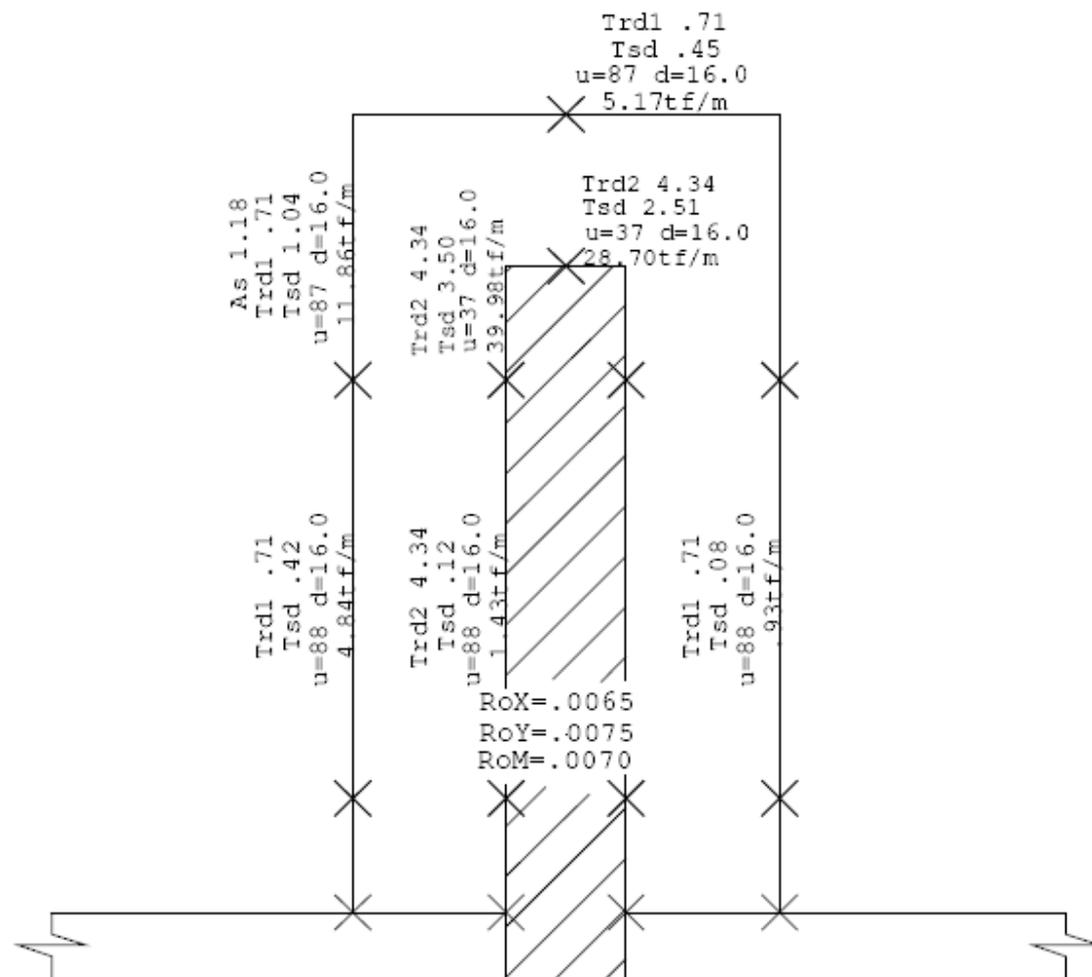
Comprimento máximo para agrupamento de trechos	É a distância Dmax mostrada anteriormente que serve para quebrar os sub-perímetros (padrão 1.5d).
Distância entre perímetros críticos paralelos	Por padrão vale 2d, conforme a norma.
Número de perímetros a mostrar inicialmente	Por padrão são gerados inicialmente três perímetros em volta do pilar.

## Perímetros no Editor de Esforços

Os sub-perímetros de punção são visualizados no Editor de Esforços da mesma maneira que outras faixas de esforços no editor, ou seja, ligando-se a visualização de faixas de esforços e selecionando-se o tipo de faixa atual de forças cortantes:



As faixas são visualizadas com vários valores característicos, como na figura:



Os valores mostrados são:

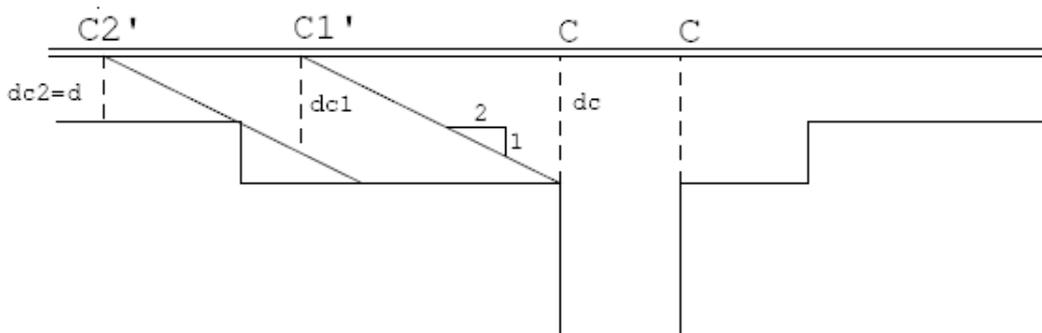
tf/m	Cortante média característica em tf/m. Pode ser a cortante característica total corrigida das barras do perímetro, se o Editor de Esforços estiver em modo de visualização de esforços por barra.
u	Comprimento do sub-perímetro em cm
d	Altura útil da laje, em cm

Tsd	Tensão atuante de cálculo, MPa
Trd1	Tensão resistente crítica sem armadura de punção, MPa
Trd2	Tensão resistente de compressão da diagonal do concreto, MPa
As	Armadura de punção calculada, cm <sup>2</sup>
Rox	Taxa de armadura de flexão negativa na direção X , medida à 3d do contorno do pilar
Roy	O mesmo, na direção y
Rom	Média geométrica

A correção a que nos referimos acima é do comprimento do perímetro de homogeneização de esforços dividido pelo comprimento do perímetro crítico de punção. Como comentamos antes, os perímetros críticos de cálculo tem limitações de comprimento.

## Verificação de punção em região de capitéis

Nas regiões de capitéis, além da verificação feita nos perímetros à 2d do contorno dos pilares, verifica-se também o contorno do capitel como se fosse um pilar e a 2d deste. Na região do capitel a altura útil usada no cálculo varia como na figura:



A altura útil começa com o valor dc do capitel, tem dc1 variável conforme a distância ao contorno do pilar e ao contorno do capitel, e termina com dc2, a altura útil da laje fora do capitel.

## Tensão resistente de compressão diagonal no contorno

A tensão resistente de compressão diagonal do concreto no contorno é dada pelas expressões:

$$\alpha_v = (1 - f_{ck} / 250)$$

$$\tau_{Sd} \leq \tau_{Rd2} = 0,27 \alpha_v f_{cd}$$

$\tau_{Rd2}$  pode ser majorado em até 20% por efeito de estado múltiplo de tensões junto a um pilar interno. Esta majoração deve ser feita somente pelo engenheiro através da fixação de critérios (veja adiante).

A tensão atuante de cisalhamento é dada por:

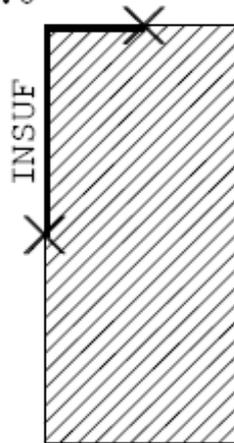
$$\tau_{Sd} = \frac{F_{Sd}}{ud} \quad \text{onde} \quad d = \frac{(d_x + d_y)}{2}$$

Fsd é a soma das forças cortantes de cálculo das barras no sub-perímetro de homogeneização de esforços de punção. u é o comprimento do sub-perímetro crítico considerando todas as restrições.

$d$  é a altura útil da laje, sendo ligeiramente diferente nas direções horizontal e vertical. A altura do baricentro das armaduras secundárias é aproximada em função dos cobrimentos principal e secundários fornecidos pelo engenheiro.

Se  $T_{Sd} > T_{Rd2}$ , a seção tem sua capacidade esgotada e não pode nem mesmo ser armada à punção, devendo ser redimensionada (por remanejamento estrutural ou alteração da espessura das peças). Esta situação será mostrada pelo Editor de Esforços com a palavra INSUF e uma linha vermelha:

Trd2 3.55  
Tsd 3.80  
u=42 d=14.0  
38tf/m



## Dispensa de armadura de punção

Se por outro lado  $T_{Sd} < T_{Rd2}$  no primeiro perímetro (contorno do pilar), então podemos verificar se é possível dispensar a armadura de punção na seção, verificando o próximo perímetro  $C'$ , com a expressão:

$$\tau_{Sd} \leq \tau_{Rd1} = 0,13(1 + \sqrt{20/d})(100\rho f_{ck})^{1/3}$$

Na expressão acima vemos a taxa de armadura de flexão negativa. Esta taxa é obtida a partir das faixas de esforços de flexão negativa tratadas pelo Editor de Esforços, medida à  $3d$  do contorno do pilar.

É muito importante fazer a homogeneização de faixas de flexão antes do dimensionamento à punção. Picos de momento negativo, que podem não ocorrer na prática poderão diminuir ou eliminar a armadura de punção, indo contra a segurança do projeto.

## Determinação da armadura de punção

Se não há dispensa de armadura de punção, é preciso calculá-la e detalhá-la. Isto é feito através das expressões:

$$\tau_{Sd} \leq \tau_{Rd3} = 0,10(1 + \sqrt{20/d})(100\rho f_{ck})^{1/3} + 1,5 \frac{d}{S_r} \frac{A_{sw} f_{ywd} \sin \alpha}{ud}$$

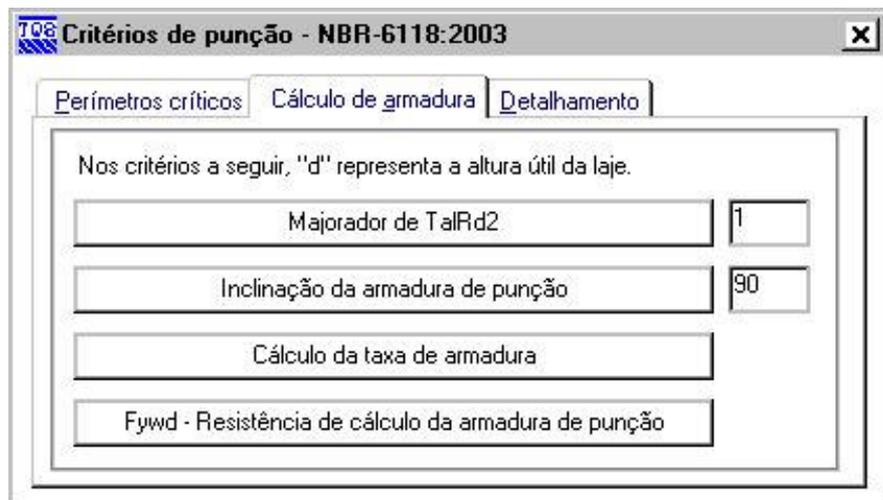
$$S_r \leq 0,75d$$

Neste caso a tensão resistente  $T_{Rd3}$  é igualada à tensão atuante  $T_{Sd}$  e daí extraída a armadura  $A_{sw}$ .  $S_r$  é o espaçamento radial entre as armaduras parametrizado, e  $\alpha$  o ângulo de inclinação da armadura de punção.

Quando é necessária armadura de punção, é preciso passar para um próximo perímetro crítico à  $2d$  do atual, e verificar novamente se a armadura de punção pode ser dispensada. Se não puder, calcula-se e passa-se para outro perímetro, e para tantos quantos forem necessários.

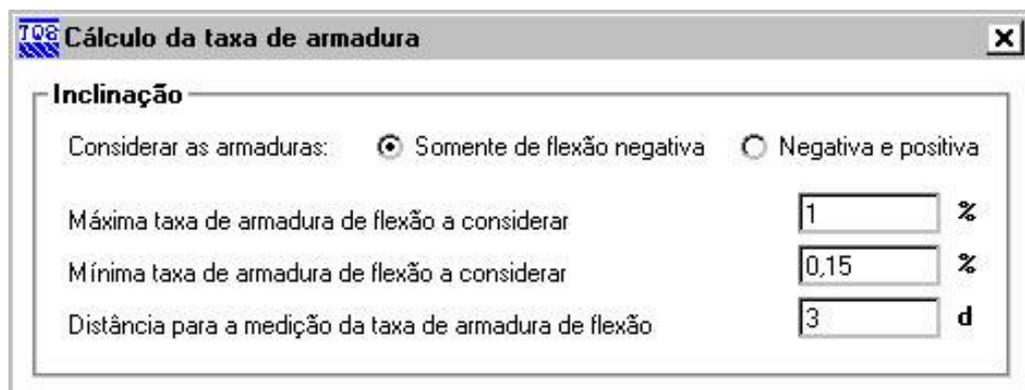
## Crítérios de cálculo de armadura

Na edição de critérios de projeto de lajes, estes são os critérios para cálculo de armaduras de punção.

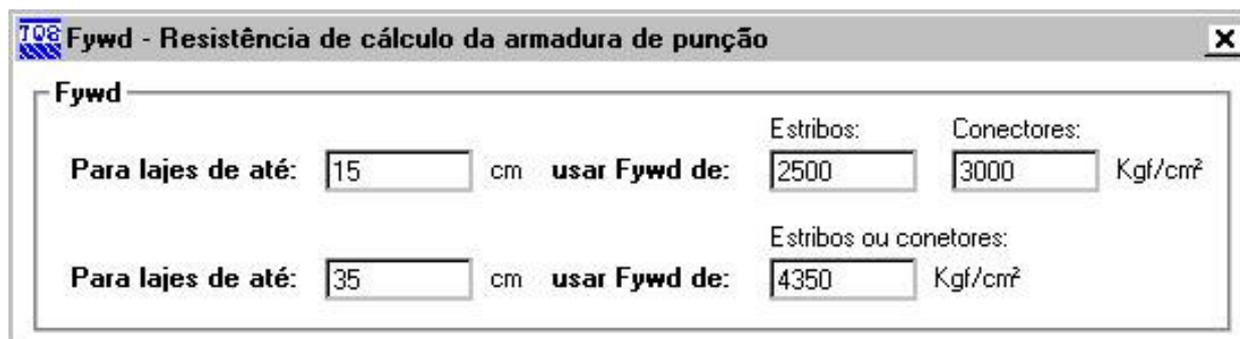


Majorador de TRd2	Multiplicador que pode valer até 1.2 a critério do engenheiro, que majora a tensão resistente de compressão diagonal do concreto.
Inclinação da armadura de punção	Geralmente 90°.
Cálculo da taxa de armadura	Define os valores mínimos e máximos de taxa de armadura de flexão negativa medidos automaticamente pelo programa usadas nas verificações.
Fywd - Resistência de cálculo da armadura de punção	A resistência do aço de punção não pode entrar diretamente nas expressões.

Como a taxa de armadura medida automaticamente para as expressões de punção podem variar, por segurança define-se um valor mínimo e máximo adotado em qualquer caso:

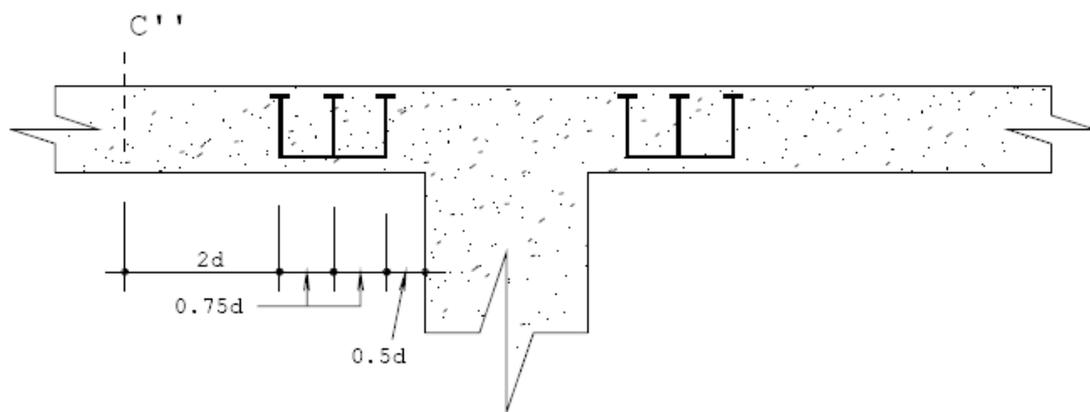


A resistência de cálculo da armadura de punção é definida conforme a janela abaixo:



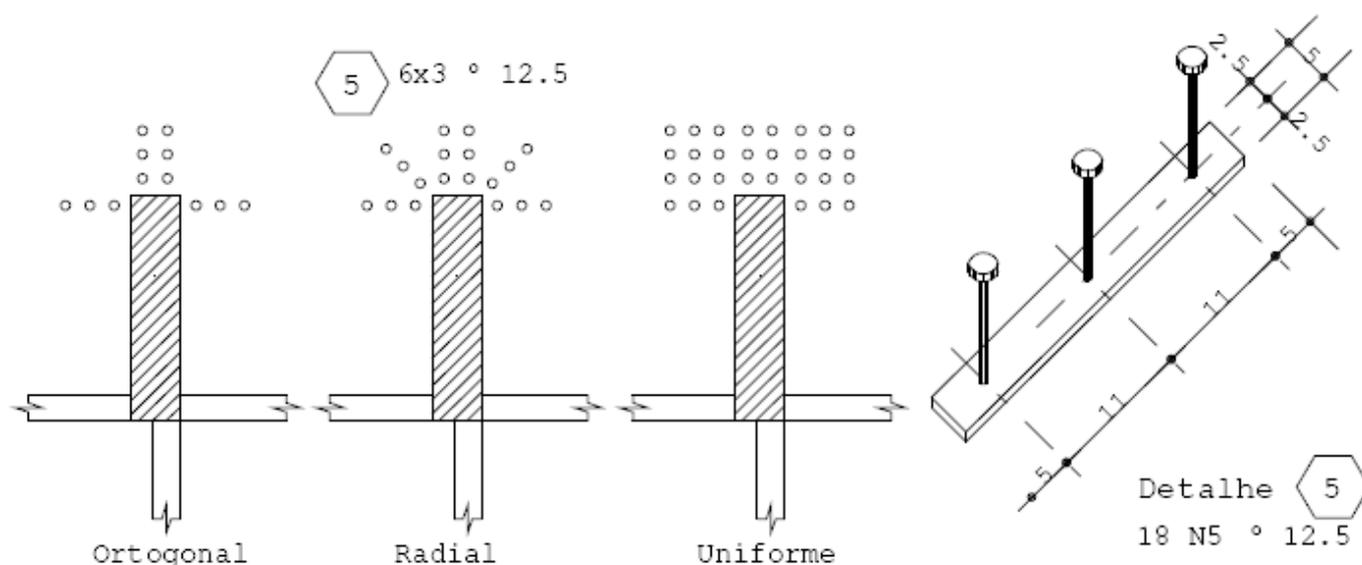
## Detalhamento da armadura de punção

A área de armadura obtida vale para o sub-perímetro usado no cálculo, e deve ser repetida em mais duas linhas de armaduras, entre o perímetro atual e o anterior, conforme a figura:



Para um dado sub-perímetro o programa escolhe a menor bitola de uma lista para punção, e verifica se o espaçamento entre elas é maior que um mínimo. Se não for, adota-se a próxima bitola da lista, ou outra até que o espaçamento mínimo seja atingido.

A distribuição das bitolas pode ser ortogonal às faces, radial com uma linha saindo de cada vértice, ou uniforme, com bitolas adicionais cobrindo o perímetro de punção:



Para cada pilar, o Editor de Esforços soma as bitolas de todos os sub-perímetros e faz um resumo atribuindo um número de detalhe (posição). O detalhe das armaduras de punção não é gerado automaticamente, mas o editor faz a inclusão e a modificação, se encontrar na pasta atual (ou do edifício, ou no \$SUPPORTE\LAJES\BLOCOS) um desenho na forma PUAxx.DWG, onde xx é a espessura da laje. Este detalhe precisa ter uma descrição de ferros na convenção do NGE, que será substituída pela descrição do ferro detalhado. A listagem de detalhes é feita junto com as demais armaduras de cisalhamento.

A armadura de punção é visualizável no Editor de Esforços com os mesmos critérios das demais armaduras, e dentro de certos limites pode ser editada.

## Critérios de detalhamento

Estes são os critérios para detalhamento de lajes à punção. Estes critérios são:

**TQS Critérios de punção - NBR-6118:2003**

Perímetros críticos | Cálculo de armadura | **Detalhamento**

Tipo de armadura de punção:

Distribuição de armaduras:

Espaçamento mínimo de armaduras:  cm

Linhas de conectores:

Bitolas de punção:

Tipo de armadura de punção	Podem ser estribos ou conectores. A resistência máxima de cálculo é diferente entre eles.
Distribuição de armaduras	Diversos critérios de distribuição (veja a seguir)
Espaçamento mínimo de armaduras	A bitola escolhida da lista é tal que o espaçamento no perímetro de punção seja maior que o mínimo.
Linhas de conectores	Espaçamentos entre conectores definidos na norma
Bitolas de punção	Lista de bitolas que podem ser usadas no detalhamento.

Temos quatro critérios de distribuição de armaduras:

**TQS Distribuição de armaduras**

**Distribuição**

Distribuição de armaduras:  Reta  Radial  Uniforme

Ângulo máximo para distribuição radial:  °

Comprimento mínimo de trecho com pelo menos uma bitola:  cm

Número de bitolas adicionais para distribuição uniforme:

Distribuição de armaduras	Conforme vimos, a armadura pode ser distribuída reta (ortogonal às faces do pilar), radial (ortogonal, mais uma bitola adicional saindo dos vértices) e uniforme (mais bitolas completando o perímetro de punção).
Ângulo máximo para distribuição radial	Esta opção limita a armadura radial se o vértice do pilar tiver um ângulo muito aberto.
Comprimento mínimo de trecho com pelo menos uma bitola	Mesmo que não tenha sido dimensionada, é colocada pelo menos uma bitola paralela a trechos do contorno acima deste comprimento.
Número de bitolas adicionais para distribuição uniforme	Usado na distribuição uniforme.

## Armadura de punção obrigatória

A NBR-6118:2003 estabelece que no caso de a estabilidade global da estrutura depender da ligação entre uma laje e um pilar, deverá ser prevista armadura de punção em volta deste pilar, mesmo que  $\rho_{sd}$  seja menor que  $\rho_{rd1}$ . Essa armadura deve equilibrar um mínimo de 50% de  $F_{sd}$ .

Temos duas possibilidades usando o sistema CAD/TQS. Na primeira, integra-se a laje ao pórtico espacial através de vigas fictícias, ou vigas faixa. O sistema não reconhecerá este apoio como um apoio direto de lajes sobre pilar, e não fará nenhum tipo de detalhamento - ele precisará ser feito manualmente pelo engenheiro.

A segunda possibilidade é não montar o modelo de pórtico espacial com a colaboração da laje (isto é, apoio direto da laje sobre o pilar). Neste caso, o pilar de apoio poderá ser marcado no pavimento para detalhamento com armadura de punção obrigatória. Isto é feito dentro do Modelador, através da janela de edição de dados de pilares:

**Dados de pilares**

Identificação | Seção | Modelo | Grelha/Pav | Pórtico | Detalhamento | Cargas | Plantas/Seções

Grelha

Modelo de apoio conforme critérios

Apoio articulado contínuo

Apoio articulado independente

Apoio elástico contínuo

Apoio elástico independente

	Rotação	Traslação
Coef mola X	0	0
Coef mola Y	0	0
Coef mola Z		0

Estas informações se aplicam a:

Todas as plantas com a mesma seção

Exclusivamente na planta atual

Verificação de punção

Armadura de punção obrigatória  Não  Sim

Neste caso, teremos uma armadura mínima no primeiro perímetro de punção, com 50% de  $\rho_{sd}$  cobrindo  $\rho_{rd3}$ , sem levar em consideração a colaboração do concreto.

## Armadura Contra o Colapso Progressivo (ACCP)

De acordo com a norma, para garantir a ductilidade local e a consequente proteção contra o colapso progressivo, a armadura de flexão inferior que atravessa o contorno do pilar deve estar suficientemente ancorada e ser tal que:

$A_{sfyd} \geq F_{sd}$

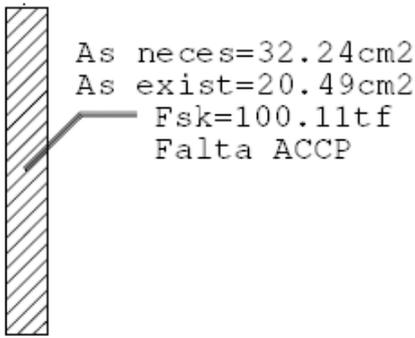
Onde  $A_s$  é a soma das áreas das barras que cruzam as faces do pilar.

As armaduras positivas geradas pelo editor sempre atravessam o capitel e seguem através da laje, de modo que a ancoragem não é um problema. O Editor de Esforços não tem a posição exata das armaduras que atravessam o pilar, assim determina a área destas barras da seguinte maneira aproximada:

Determina a taxa de armadura à 3d do pilar;

Calcula a área de armadura em volta do pilar usando esta taxa

A partir deste cálculo, emite apenas um aviso de verificação, como abaixo:



A força atuante de cisalhamento mostrada é característica. Se for necessário aumentar a armadura de flexão positiva, isto deverá ser feito dentro do próprio Editor de Esforços, e a verificação da ACCP refletirá imediatamente as modificações.

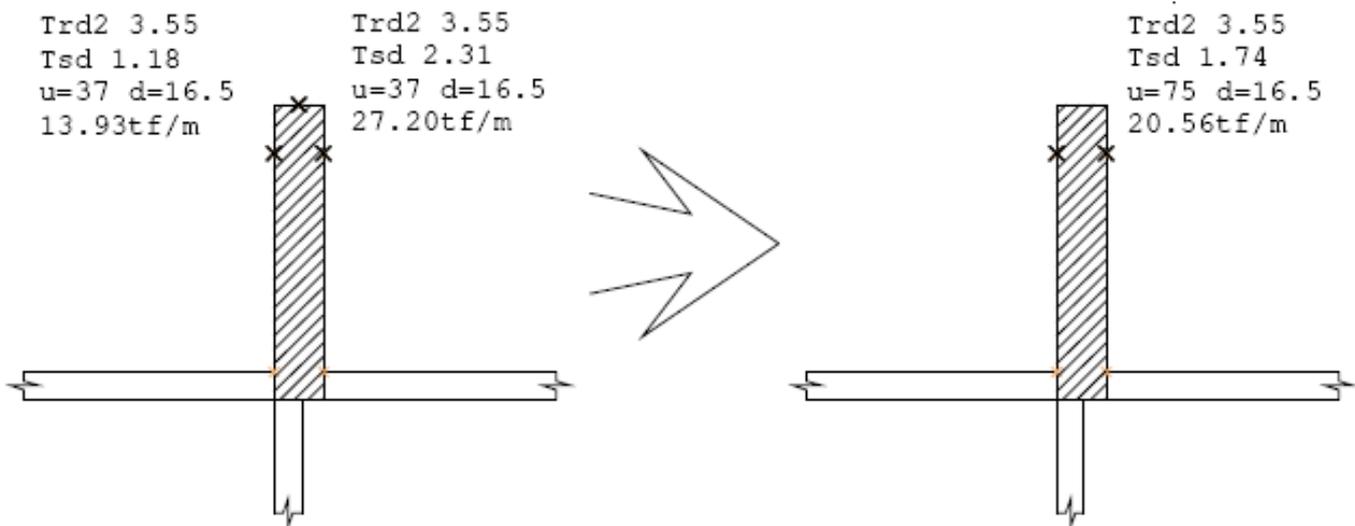
O cálculo da ACCP feito pelo Editor de Esforços é simplificado, e deve ser verificado manualmente pelo engenheiro.

### 1.1.1. Edição de esforços e armaduras

Os perímetros de punção não podem ter coordenadas alteradas, mas podem ser unidos e separados posteriormente. As seguintes operações são suportadas com os sub-perímetros de punção:

O valor da cortante de cálculo por metro pode ser redefinido, pelo comando "Igualar faixas".

Dois ou mais sub-perímetros de punção podem ser unidos pelo comando "Unir faixas", obtendo-se um sub-perímetro maior com a cortante média entre eles. Veja o exemplo abaixo:



Sub-perímetros unidos podem ser posteriormente explodidos.

As armaduras de punção são editáveis de três em três, localizando-se diretamente as bitolas em planta. Operações típicas que podem ser feitas com os ferros de punção depois de gerados são apagar, criar, mover, copiar e espelhar.

## Cálculo de cortante

O sistema faz a verificação de força cortante em nervuras de lajes nervuradas. Em outros trechos maciços foi implementada a verificação de cortante, por barra da grelha, apenas para indicar regiões com problemas, mas sem detalhamento de armaduras. Esta verificação é feita através de um novo modo de visualização dentro do Editor de Esforços.

Como o cálculo de punção e de cortante tratam com a verificação de tensões de cisalhamento, é possível que o sistema indique a necessidade de armadura de combate à força cortante em regiões já armadas à punção; entretanto, é possível também esta indicação em regiões onde a armadura de punção não se faz necessária.

A NBR 6118:2003 introduziu nova sistemática de cálculo de força cortante. Este cálculo é do mesmo tipo efetuado em vigas (mostrado neste manual), a menos de duas exceções:

Não há armadura mínima de cortante em lajes;

A resistência dos estribos está limitada a 250 MPa para lajes de espessura menor ou igual a 15 cm e 435 MPa para lajes maiores de 35 cm.

Então, resumidamente, para dispensa de armadura para força cortante, podemos aplicar as prescrições do item 19.4.1:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd1}$$

$$V_{Rd} = (\tau_{Rd} k(1.2 + 40\rho_1) + 0.15\sigma_{cp}) b_w d$$

$$\tau_{Rd} = 0.25 f_{ctd}$$

$$f_{ctd} = f_{ctk,inf} / \gamma_c$$

$$\rho_1 = \frac{A_{S1}}{b_w d} \leq 0.02$$

$$\sigma_{cp} = N_{sd} / A_c$$

$$k = 1 \quad \text{p/ armadura de flexão alternada}$$

$$k = 1.6 - d \geq 1 \quad \text{p/ demais casos}$$

Verificação da compressão da biela:  $V_{Sd} \leq V_{Rd2}$

Com armadura p/ força cortante a resistência dos estribos será:- 250 MPa p/ h ? 15 cm- 435 MPa p/ h ? 35 cm

$$\text{Armadura mínima: } \rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b_w s \cdot \text{sen} \alpha} \geq 0.2 \frac{f_{ctm}}{f_{ywk}}$$

Quando  $V_{rd1}$  é maior que  $V_{sd}$ , temos que armar a laje e nesta situação aplica-se as prescrições do item 17.4.2.

$$V_{Sd} \leq V_{Rd2}$$

Modelo de Cálculo I- Verificação da compressão da diagonal do concreto  $V_{Rd2} = 0.27 \alpha_{v2} f_{cd} b_w d$

$$\alpha_{v2} = (1 - f_{ck} / 250)$$

$$V_{Rd3} = V_c + V_{sw}$$

- Cálculo da armadura transversal  $V_{sw} = (A_{sw} / s) 0.9 d f_{ywd} (\text{sen} \alpha + \cos \alpha)$

$$V_c = V_{c0} = 0.6 f_{ctd} b_w d$$

$$f_{ctd} = f_{ctk,inf} / \gamma_c$$

Modelo II- Verificação da compressão da diagonal do concreto

$$V_{Rd2} = 0.54 \alpha_{v2} f_{cd} b_w d \cdot \text{sen}^2 \theta (\cot g \alpha + \cot g \theta)$$

$$\alpha_{v2} = (1 - f_{ck} / 250)$$

- Cálculo da armadura transversal  $V_{Rd3} = V_c + V_{sw}$

$$V_{sw} = (A_{sw} / s) 0.9 d f_{ywd} (\cot g \alpha + \cot g \theta) \text{sen} \alpha$$

## Critérios para dimensionamento à cortante

Os critérios para dimensionamento à cortante que são dependentes de norma estão agrupados pelo botão "Critérios para dimensionamento à força cortante"

**TQS CAD/Lajes - Edição dos critérios de projeto - Grelha/Elementos finitos**

Crítérios Gerais | Concreto | Aço | Flexão | Nervuradas | Treliçadas | **Cisalhamento** | Punção

**Parâmetros de Cisalhamento**

**Norma para dimensionamento à força cortante**

Norma para dimensionamento à força cortante  NB1-78  NBR-6118:2003

Critérios para dimensionamento à força cortante

Prefixo dos DWG para detalhamento de estribos

Largura limite de nervura para imposição de 1R

KL30 - Agrupamento de faixas contíguas de cisalhamento

Tabela de alojamento de estribos em lajes nervuradas

Agrupar pelo esforço máximo

Este botão chama para a NBR 6118:2003 a tela ao lado. Estes critérios são:

**TQS Cisalhamento NBR6118:2003**

**Cisalhamento**

Modelo de cálculo de cisalhamento

Modelo I

Ângulo  $\theta$  das diagonais de compressão

45

Ângulo  $\alpha$  de inclinação da armadura transversal

90

Taxa percentual da armadura de tração na seção considerada

0 %

Modelo de cálculo de cisalhamento	Modelo I (com diagonais de compressão inclinadas de $\theta=45^\circ$ ) ou II (ângulo da diagonal entre $30^\circ$ e $45^\circ$ )
Ângulo $\theta$ das diagonais de compressão	Ângulo da diagonal exclusivamente para o modelo II de cálculo
Ângulo $\alpha$ de inclinação da armadura transversal	Inclinação da armadura transversal em relação à horizontal.
Taxa percentual da armadura de tração na seção comprimida	A taxa percentual de armadura de tração entra em algumas formulações. No cálculo da cortante esta taxa é estimada, ou se fornecida zero, é adotada como sendo a taxa mínima de armadura de flexão.

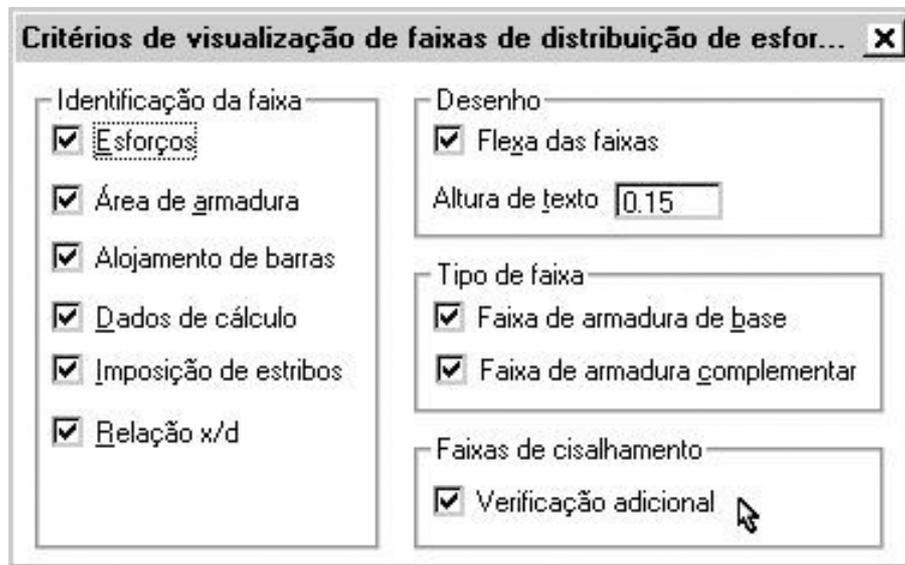
## Verificação de cortante em maciços

É uma verificação adicional, cuja visualização é independente das demais faixas, diagramas e armaduras. A

verificação é feita sempre que o botão indicado abaixo é mantido pressionada na barra de ferramentas do Editor de Esforços:



Os critérios de visualização de faixas também tem este parâmetro.



A verificação adicional de cortantes em maciços é feita por barra da grelha, assim a verificação precisa ser feita independentemente nos sentidos horizontal e vertical. O Editor de Esforços mostra, por direção, as posições na planta de formas com problemas, como na figura abaixo:



$$\oplus Twd=4.2 \quad Twu=4.2 \quad Twc=4.3 \quad As=46.8$$

$$\ominus Twd=1.2 \quad Twu=1.2 \quad Twc=4.3 \quad As=6.1$$

$$\oplus Twd=2.4 \quad Twu=2.4 \quad Twc=4.3 \quad As=22.2$$

$$\ominus Twd=1.0 \quad Twu=1.0 \quad Twc=4.3 \quad As=3.6$$

Nesta figura temos:

Twd	<p>Tensão atuante de cálculo na seção, MPa. Igualada a <math>\tau_w</math> para aplicar a NBR 6118:2003, (Tensão calculada com base no Vsd) A seção deve ser armada se a tensão calculada for superior a:</p> $(\tau_{Rd} k (1.2 + 40 \rho_1))$ <p>(Tensão calculada com base no VRd1)</p> $\tau_{Rd} = 0.25 f_{ctd}$
Twu	<p>Tensão resistente de cálculo de tração, incluindo as parcelas do concreto e do aço, MPa, onde igualamos VRd3 com Vsd p/calcular a armadura de cisalhamento. (Tensão calculada com base no VRd3 com Asw já calculado)</p>

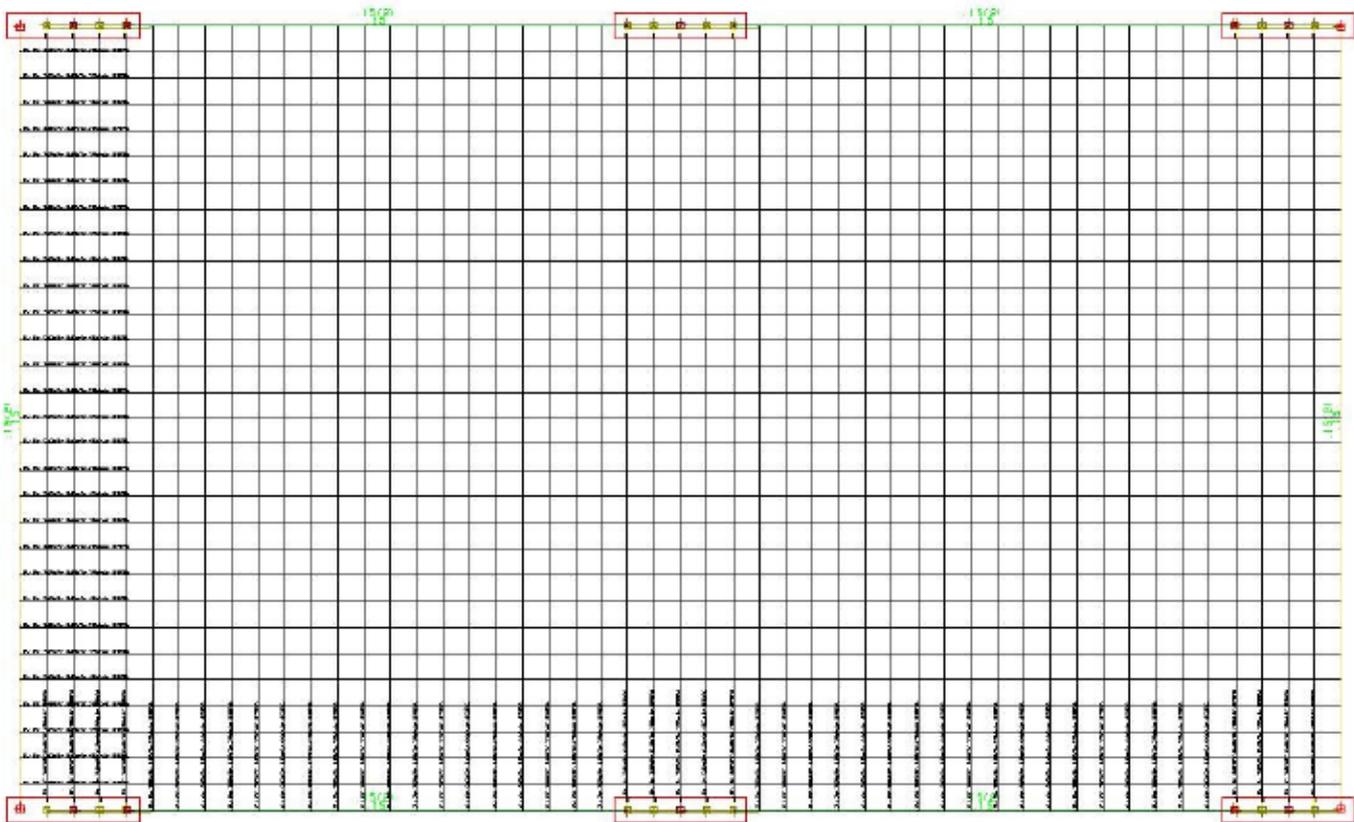
Twc	Tensão resistente de cálculo relativa à ruína da biela comprimida do concreto, MPa. (Tensão calculada com base no VRd2) $\alpha_v = (1 - f_{ck} / 250)$ $\tau_{Sd} \leq \tau_{Rd2} = 0,27 \alpha_v f_{cd}$
As	Área de armadura de cisalhamento necessária p/o dimensionamento da barra da grelha na direção atual (horizontal ou vertical), cm <sup>2</sup> /barra

O engenheiro deve verificar os pontos indicados com necessidade de armadura à força cortante, e decidir a necessidade ou não de detalhamento ou alteração do modelo.

### Exemplo:

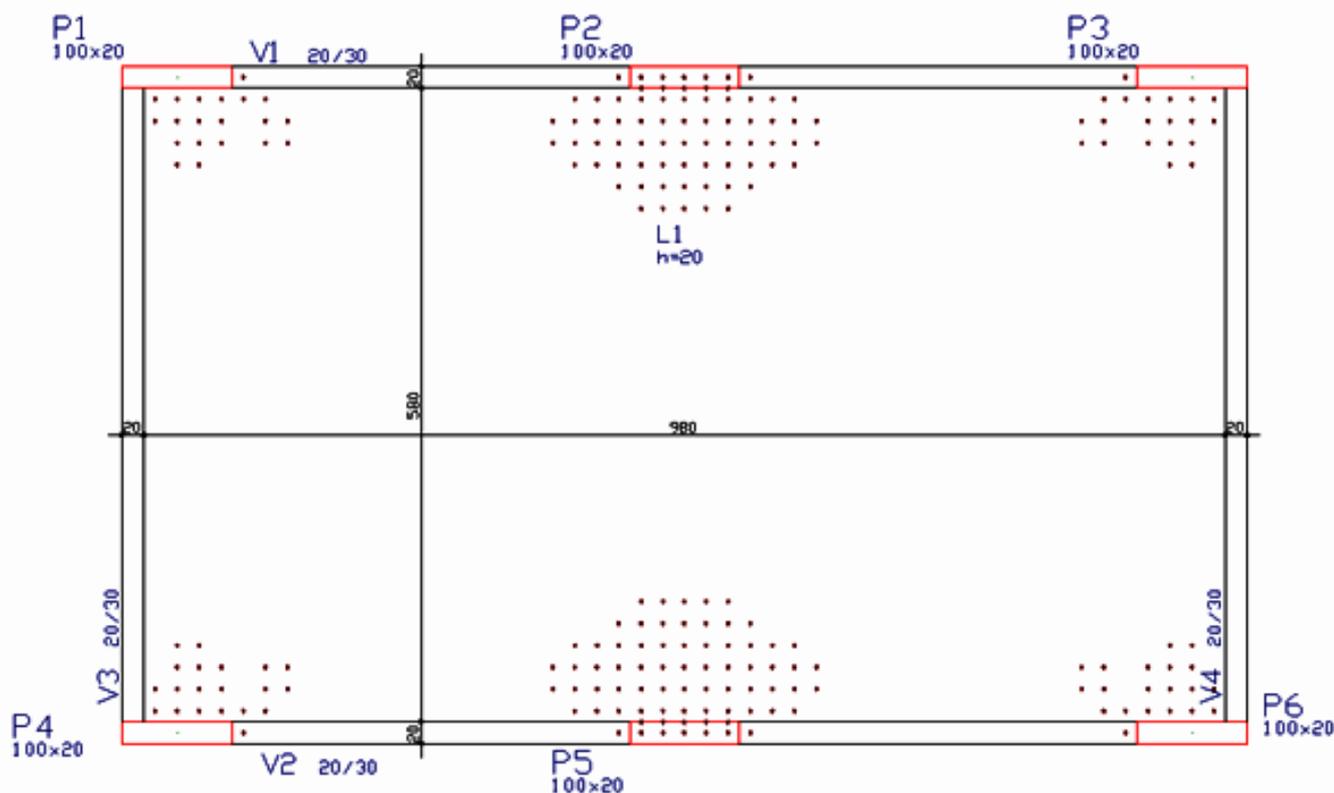
No pavimento abaixo, onde sobre a laje, além de peso próprio, atua uma carga distribuída permanente de 2 tf/m<sup>2</sup> e uma carga distribuída acidental de 1 tf/m<sup>2</sup>.

A grelha do modelo foi discretizada a cada 20 cm. As barras na direção vertical da planta são as mais solicitadas ao cisalhamento. A verificação de cisalhamento é processada barra a barra do modelo, nas duas direções da malha.



Podemos observar na figura abaixo, a planta de formas com os pontos/barras onde Vsd esta maior que VRd1, onde seriam necessárias armaduras de cisalhamento.

# CISALHAMENTO - BARRAS VERTICAIS



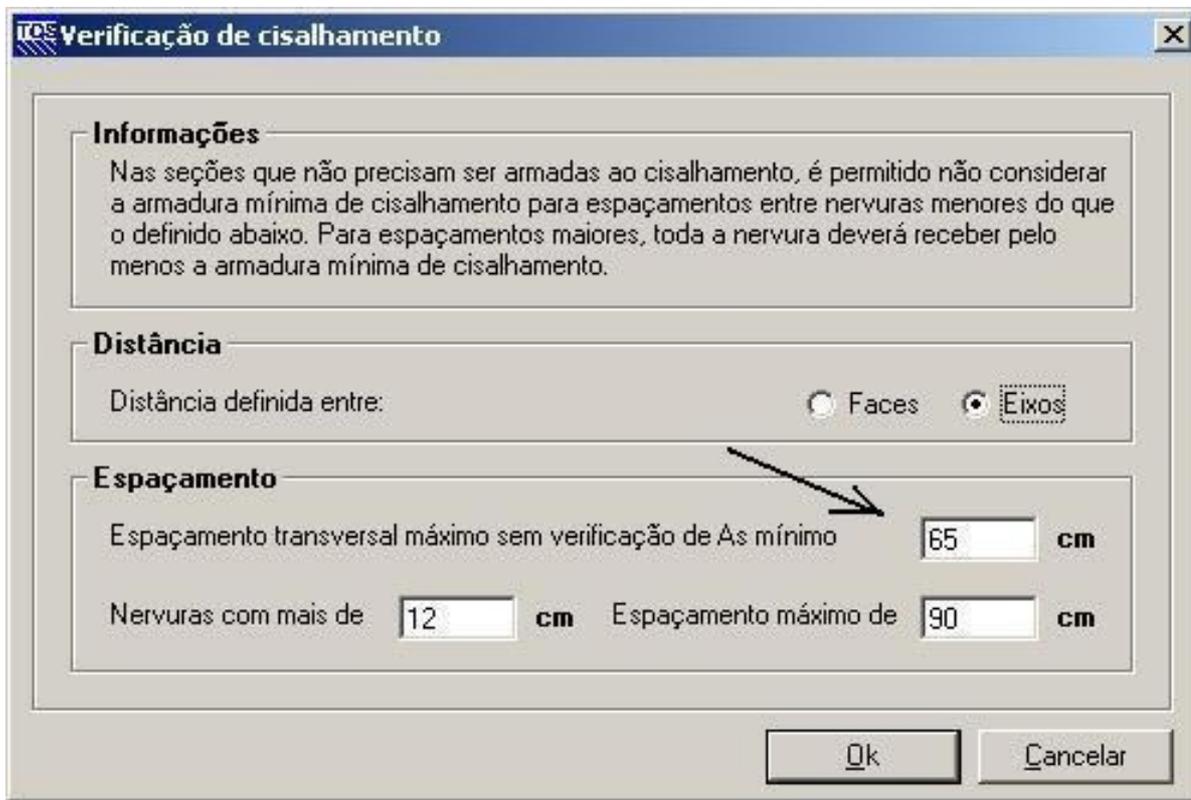
Comentário: Como a verificação é feita barra a barra, em alguns modelos podemos ter algumas barras solicitadas por picos de cortante, e neste caso, o engenheiro, a partir de uma análise criteriosa, pode desprezar as armaduras de cisalhamento calculadas pelo sistema.

Neste exemplo, temos uma laje muito carregada, que já não passa na flexão e nas verificações de deformações, e conseqüentemente, no cisalhamento, sendo um caso extremo para ilustrar uma laje bastante solicitada ao cisalhamento.

Normalmente, o cisalhamento em lajes convencionais maciças não resulta em necessidade de se adotar armaduras de cisalhamento.

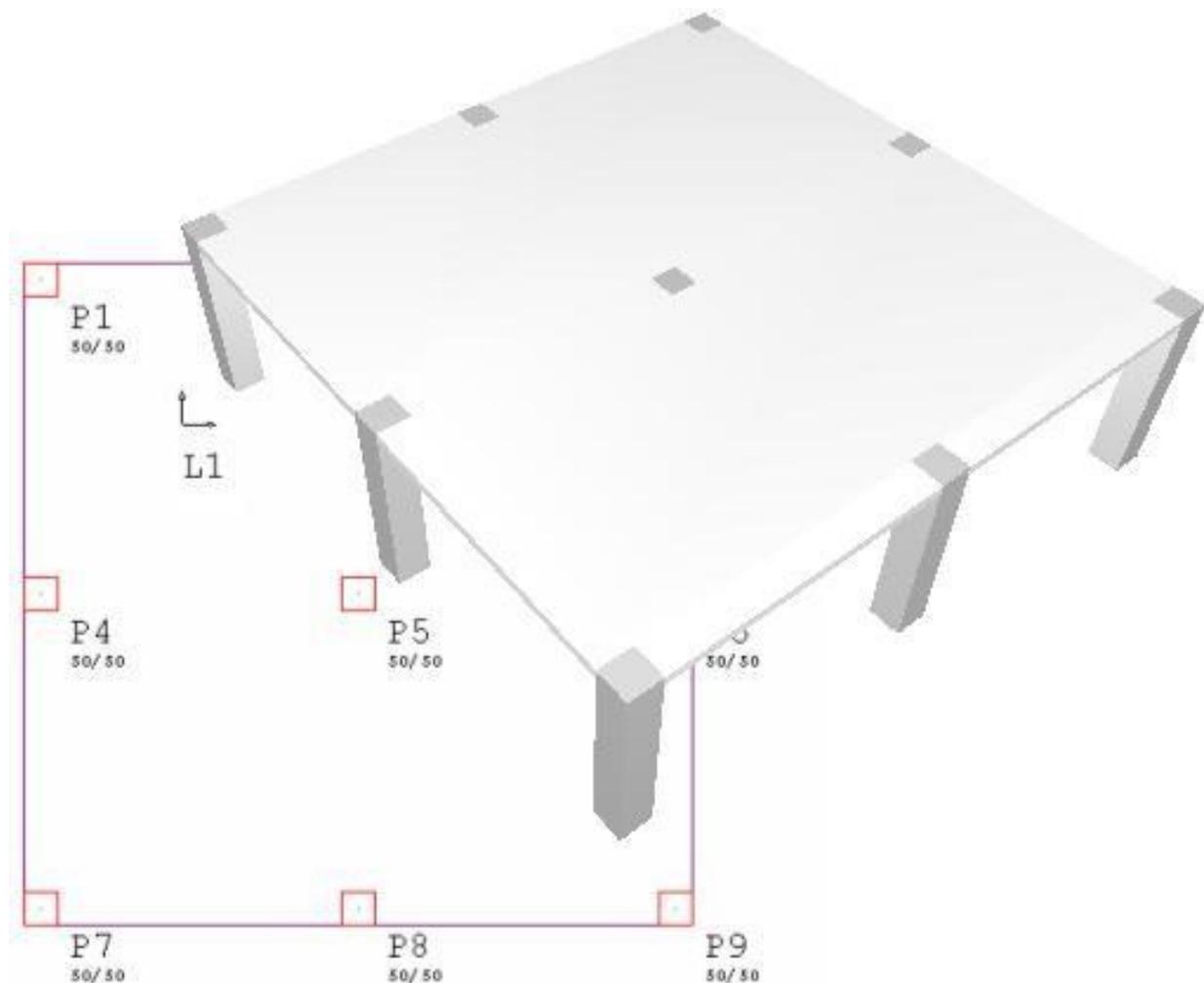
## Dica:

Em lajes nervuradas, temos no sistema um parâmetro, nos critérios de projeto, que permite ao usuário estabelecer a o espaçamento máximo entre nervuras sem verificação de armadura mínima de cisalhamento como vigas.



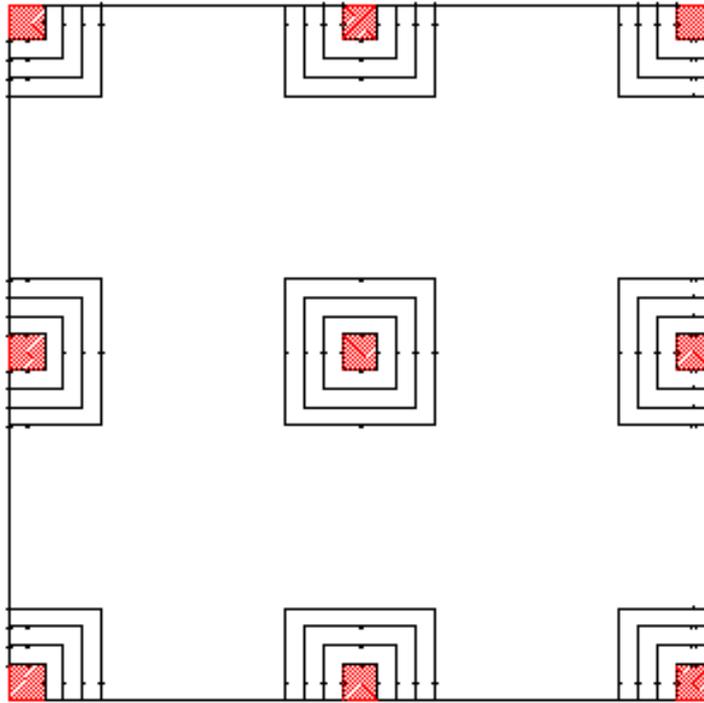
## Um exemplo simples

Na figura abaixo temos uma estrutura hipotética em laje plana com 10x10m, pilares 50x50cm, espessura de 16 cm e altura útil de 13.5cm:

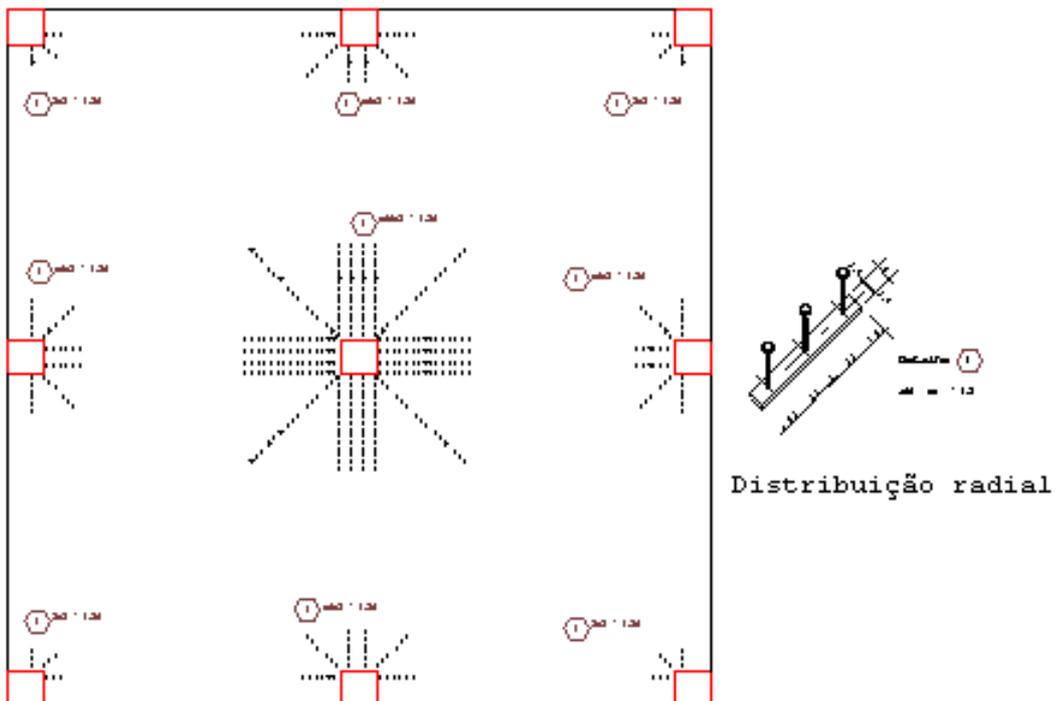


Considerando-se uma carga total distribuída de 1.4tf/m<sup>2</sup>, o programa nos mostrará os perímetros para a medição de força cortante, com as taxas de armadura de flexão (depois de homogeneizadas as respectivas faixas) e as tensões

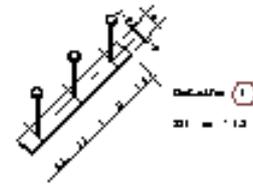
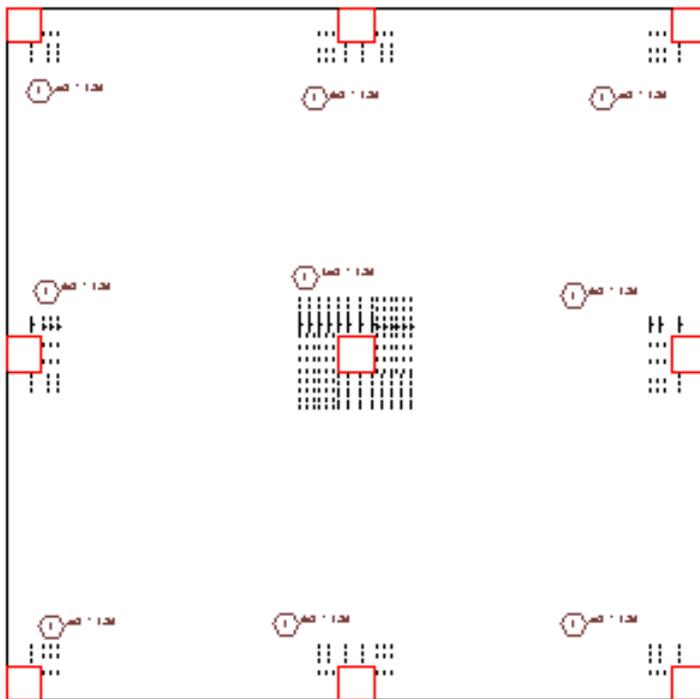
de cisalhamento obtidas:



Dispondo-se as armaduras de punção ortogonalmente aos contornos dos pilares e com uma linha radial saindo de cada vértice, teremos uma distribuição como esta:



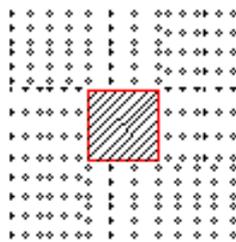
A limitação imposta pela distância entre as armaduras extremas faz com que os perímetros tenham comprimento constante, sendo necessários vários perímetros com armadura de punção. Alternativamente, armando-se uniformemente a partir dos vértices, teremos perímetros com comprimento crescente, e uma menor quantidade de armadura necessária:



Distribuição uniforme

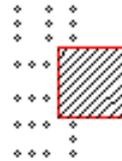
Detalhe dos pilares P5, P6 e P3:

1 64x3 \* 6.30



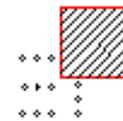
P5

1 8x3 \* 6.30



P6

1 4x3 \* 6.30



P3

Naturalmente a disposição automática de armaduras gerada pelo programa pode precisar de ajustes para facilitar a montagem. Estes ajustes podem ser feitos pelo engenheiro através do Editor de Esforços.