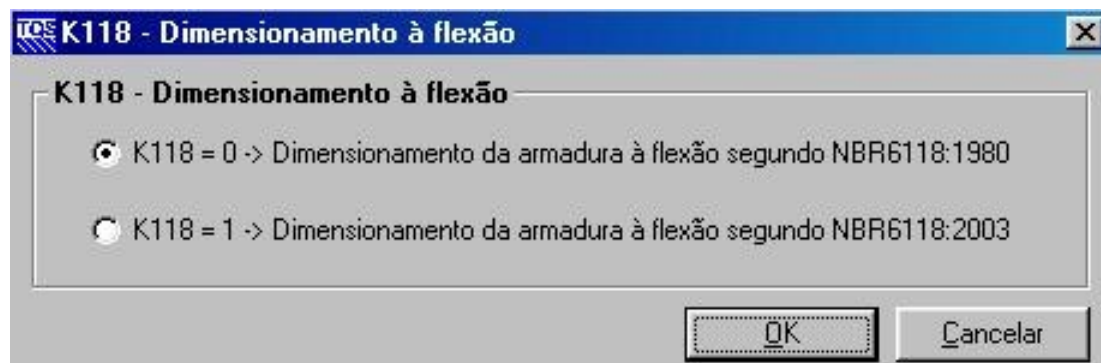


Sistema TQS-Vigas e a NBR-6118:2003 (Parte II)

6.) Dimensionamento no ELU - Flexão

Para optar pelo dimensionamento a flexão - ELU - pela NB1/03, fornecemos no arquivo de critérios:



Embora este item quase não tenha sofrido alteração de Norma, vamos destacar:

6.1) Limites de x/d em função de d

Assunto já abordado no item anterior.

6.2) Armadura mínima

A expressão da armadura mínima mudou e passou a ter um significado importante. Agora, a armadura mínima além de obedecer o limite de 0.15 % da seção bruta, tem também que atender ao momento mínimo dado pela expressão:

$$M_{d,min} = 0.8 W_0 f_{ctk,sup}$$

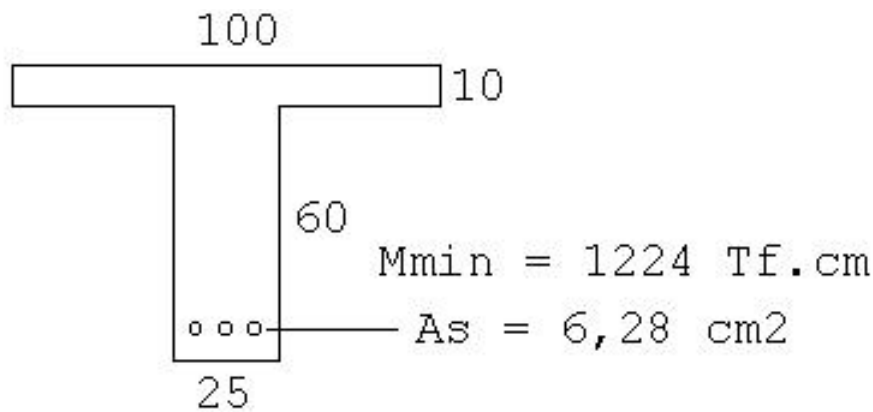
O W_0 é o módulo de resistência da seção bruta de concreto, incluindo a seção T se houver. Como a seção T ou L não é simétrica, temos, no caso geral, um valor para W_0 para momentos mínimos negativos e outro valor de W_0 para momentos mínimos positivos.

Para seções T, mesa superior, em balanço por exemplo, o valor da armadura mínima aumentou significativamente.

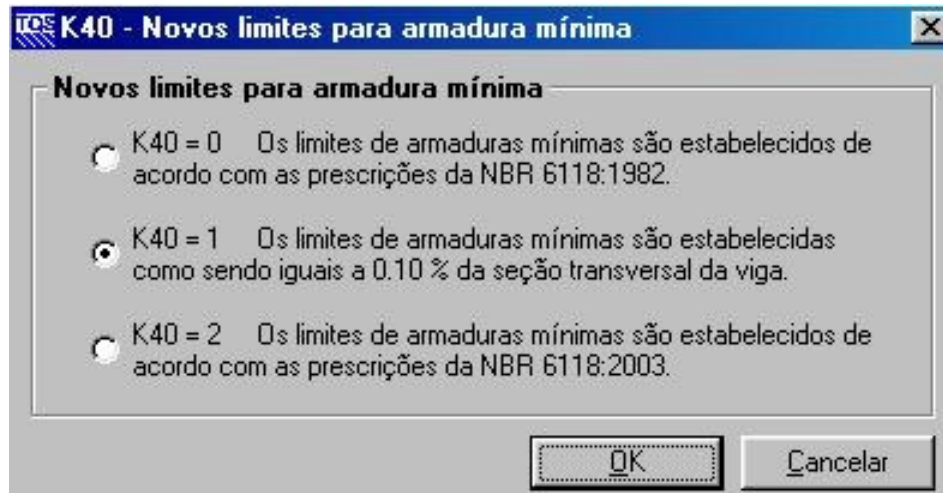
Vamos apresentar um exemplo:

| | | | | | | | | | |
|---|------------|--------|--------|--------------|----------------------|----------------|--------|--------------|-----|
| ----- G E O M E T R I A ----- | | | | | | | | | |
| VAO= | 1 | /L=4.0 | /B=.25 | /H=.70 | /BCS=1.0 | /BCI=.00 | /TPS=2 | /ESP.LS=.10/ | [M] |
| ----- A R M A D U R A S (F L E X A O) ----- | | | | | | | | | |
| FLEXAO-BALANCO- | M.NEG.DIR= | 1224.3 | TF*CM | AS = | 6.28 | -SRAS- | [| 3B20.0MM |] |
| [CM] | | | | ASL= | .0 | -ARM.LAT= | [| 2X4B8.0MM |] |
| | MOM. MIN = | 1224.3 | - | x/dMx= | .50 | -BIT.DE FISS.= | .8 | CM | |
| fck = 25 MPa | | | | | | | | | |
| Área da Seção= | 2500. | cm2 | | % Armadura = | 6.28 / 2500. * 100 = | 0.25 | | | |

Esquemáticamente temos:



A seleção da armadura mínima conforme a NB1/03 é feita pelo critério K40=2:



No relatório geral do TQS-Vigas, estes valores de momentos mínimos são agora apresentados como abaixo.

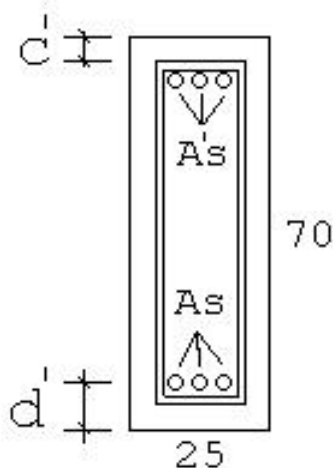
| A R M A D U R A S (F L E X A O E C I S A L H A M E N T O) - | | | |
|---|--|-------------------------------|--|
| FLEXÃO- E S Q U E R D A | | D I R E I T A | |
| M.NEGATIVO= 2855.9 TF*CM | | M.NEGATIVO= 709.8 TF*CM | |
| [CM] AS = 20.18 -SRAD- [7 B 20.0MM] | | AS = 4.58 -SRAS- [4 B 12.5MM] | |
| ASL= 21.97 ----- | | ASL= .00 ----/- | |
| x/dLim = .21 | | x/dLim= .45 | |
| ***ASL COMPR.*** | | | |
| % BARIC.ARMAD.= 10 | | % BARIC.ARMAD.= 3 | |
| [TF,CM] BIT.FISS.= 5.7 MOM.MIN= 709.8 | | BIT.FISS.=1.0 MOM.MIN= 709.8 | |

6.3) Flexão Composta

Por enquanto, o TQS-Vigas ainda não está dimensionando as vigas automaticamente a flexão composta normal. Embora estes esforços de compressão e/ou tração possam ser calculados com a presença da força normal devido a, por exemplo, temperatura axial e retração, este dimensionamento não é realizado automaticamente. Mensagem de aviso e advertência para este fato é emitida.

6.4) Baricentro da Armadura de Compressão

Nesta nova modalidade de dimensionamento limitando o valor do x/d na seção, as armaduras de compressão assumem valores maiores e significativos. Como elas são alojadas de forma mais favorável e tem valores menores do que as armaduras tracionadas, foi criado um critério específico para o posicionamento do baricentro destas armaduras na seção transversal. Com a definição de um valor especial de cobrimento da armadura de compressão, podemos controlar o braço de alavanca entre os baricentros das armaduras de tração e compressão. A figura abaixo ilustra o significado desta grandeza:



No arquivo de critérios a informação é fornecida como abaixo:

Distância da armadura de compressão a face

Informações

Define um valor para o cálculo da distância estimada entre o baricentro da armadura de compressão (quando houver) e a borda face comprimida da seção (d' de compressão). Com a verificação da ductilidade da seção (NBR 6118:2003) e a conseqüente redução da posição relativa da LN, uma maior quantidade de armadura de compressão será necessária. Esta armadura poderá se alojar na laje adjacente ou na viga afetando o valor desta distância estimada.

A distância real considerada pelo sistema é este valor fornecido acrescido do diâmetro do estribo e do valor de meia bitola da armadura de compressão. Se não fornecido, este valor é assumido como sendo o cobrimento normal da armadura para a viga.

Distância da armadura de compressão a face

Distância da armadura de compressão a face

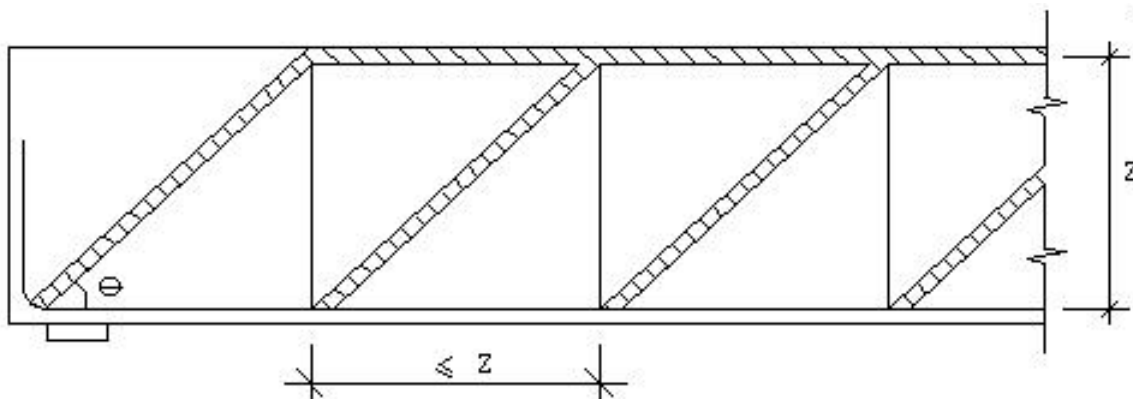
Exemplo de relatório com armadura de compressão elevada:

| | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|--|--|--|-------------------------------|--|--|--|--|--|
| ----- G E O M E T R I A ----- | | | | | | | | | | | |
| VAO= 2 /L= 6.00 /B= .30 /H= .70 /BCS= .00 /BCI= .00 /TPS= 2 | | | | | | | | | | | |
| /ESP.LS= .00 /ESP.LI= .00 FSP.EX= .35 /FLT.EX= .15 [M] | | | | | | | | | | | |
| - - - A R M A D U R A S D E F L E X A O - - - | | | | | | | | | | | |
| FLEXAO- E S Q U E R D A | | | | | | D I R E I T A | | | | | |
| M.NEGATIVO= 901.3 TF*CM | | | | | | M.NEGATIVO= 1297.6 TF*CM | | | | | |
| [CM] AS = 5.58 -SRAS- [4 B 16.0MM] | | | | | | AS = 6.45 -SRAD- [4 B 20.0MM] | | | | | |
| ASL= .00 ----- | | | | | | ASL=13.35 ----- | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| x/dMx= .50 | | | | | | x/dMx= .05 | | | | | |
| | | | | | | **ASL COMPR.** | | | | | |
| [TF,CM] BIT.FISS.= .9 MOM.MIN= 563.2 | | | | | | BIT.FISS.= 1.3 MOM.MIN= 563.2 | | | | | |

7.) Dimensionamento a Força Cortante - ELU

Este item sofreu alterações substanciais nesta nova Norma. Em primeiro lugar assumimos que o TQS-Vigas trabalha apenas com barras longitudinais e estribos para combater o cisalhamento. Não são detalhadas barras horizontais inclinadas a 45° (cavaletes). Os estribos estão sempre posicionados a 90°.

Esquemáticamente, temos a treliça abaixo representando as diagonais comprimidas, inclinadas de θ . O banzo superior é comprimido e o banzo inferior é tracionado. As armaduras verticais tracionadas representam os estribos.



A opção de detalhamento a nova NB1/03 é feita pelo K117 como abaixo:

Dimensionamento à torção e força cortante

K117 - Dimensionamento à torção e força cortante

☐ K117 = 0 -> Dimensionamento a Torção e Força Cortante segundo NBR 6118:1980

☒ K117 = 1 -> Dimensionamento a Torção e Força Cortante segundo NBR 6118:2003

Modelo de cálculo para força cortante

Modelo de Cálculo empregado para o dimensionamento da seção transversal da viga à Força Cortante conforme a NBR 6118:2003. É válido para todos os vãos e todas as vigas do projeto.

Modelo de cálculo ☒ Modelo I ☐ Modelo II

Ângulo da biela de compressão

Valor do ângulo da biela de compressão para o dimensionamento à Torção e à Força Cortante conforme a NBR 6118:2003. É válido para todos os vãos e todas as vigas do projeto. Para o modelo I o ângulo é sempre 45°.

Ângulo da biela de compressão °

Vamos destacar as principais modificações:

7.1) Armadura mínima

Obedece a expressão:

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s \cdot \sin \alpha} \geq 0,2 \frac{f_{ctm}}{f_{ywk}}$$

7.2) Cálculo da Resistência

$$V_{sd} \leq V_{Rd2} \text{ (valor da ruína das diagonais comprimidas de concreto)}$$

$$V_{sd} \leq V_{Rd3} = V_c + V_{sw}$$

V_{Rd3} é a força cortante resistente de cálculo relativa a ruína por tração diagonal

V_c é a parcela de força cortante absorvida por mecanismos complementares ao da treliça.

V_{sw} é a parcela resistida pela armadura transversal.

7.3) Modelo de Cálculo I

Assume o ângulo das diagonais de compressão? inclinadas de 45°.

$$V_{Rd2} = 0,27 \alpha_{v2} f_{cd} b_w d$$

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

$$V_c = 0,6 f_{ctd} b_w d ; V_c \text{ tem valor constante independente de } V_{sd}$$

$$V_{sw} = (A_{sw} / s) 0,9 d f_{ywd}$$

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

Temos então que verificar se o valor V_{sd} ultrapassa o V_{Rd2} e calcular a armadura através da expressão acima.

7.4) Modelo de Cálculo II

Assume o ângulo q das diagonais de compressão inclinadas entre os valores 30° e 45°.

$$V_{Rd2} = 0,54 \alpha_{v2} f_{cd} b_w d \sin^2 \theta (\cotg \theta)$$

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

$$V_c = 0,6 f_{ctd} b_w d ; \text{ quando } V_{sd} \leq V_c$$

$$V_c = 0 \quad \text{quando } V_{sd} = V_{Rd2}, \text{ interpolando-se linearmente para valores intermediários.}$$

$$V_{sw} = (A_{sw} / s) 0,9 d f_{ywd} (\cotg \theta)$$

Temos então que verificar se o valor V_{sd} ultrapassa o V_{Rd2} e calcular a armadura através da expressão acima.

7.5) Seleção de Modelo de Cálculo I ou II

Em função do ângulo selecionado para as diagonais de compressão do concreto para o modelo II (inclinação entre 30° e 45°), teremos diferentes valores de armaduras. A redução da quantidade das armaduras é sempre desejada, mas o valor da decalagem dos diagramas de momentos fletores e o valor da força nas diagonais comprimidas também aumenta conforme o ângulo varia.

A aparente incoerência existente nestes dois modelos é que o valor da armadura calculada pelo Método I (ângulo de 45°) não é igual ao do Método II, também com o ângulo de 45°. O ideal, já sugerido por alguns engenheiros, seria que o programa calculasse cada seção pelos dois Métodos e adotasse o que resultasse em menor valor de armadura. Entretanto isto não é uma decisão correta do ponto de vista técnico. Não podemos ter uma seção calculada com o ângulo de inclinação das bielas de 30° e, na seção seguinte, este ângulo passa a ser 45°. Portanto, feita a seleção, ela ficará válida para todas as vigas do projeto e todas as seções da viga.

O que é recomendado e possível de ser feito é a seleção de um Método ou outro e o ângulo de inclinação (caso do Método II) através do arquivo de critérios de projeto. Faz-se o processamento completo para todas as vigas e verifica-se a quantidade de armadura. Altera-se o critério e verifica-se novamente a quantidade de armadura. Com

estas informações e conforme as condições particulares do projeto (solicitações, dimensões etc), cria-se a sensibilidade para a melhor seleção do ângulo das bielas e a realização de um projeto conforme a boa técnica e adequado sob o ponto de vista econômico.

Importante lembrar também que a alteração no ângulo de inclinação das bielas afeta o cálculo da viga a torção e altera também o comprimento das armaduras longitudinais.

7.6) Apresentação de Resultados

O seguinte relatório é apresentado por ocasião do dimensionamento a força cortante:

| CISALHAMENTO- | Xi | Xf | Vsd | VRd2 | MdC | Ang. | Asw [C] | Asw [C+T] | [Tf, cm] |
|---------------|-------|------|-------|-------|-----|------|---------|-----------|----------|
| | 0.- | 215. | 13.69 | 34.63 | 1 | 45. | 1.8 | 37.4 | |
| | 215.- | 430. | 4.11 | 34.63 | 1 | 45. | 1.4 | 7.2 | |
| | 430.- | 645. | 6.82 | 34.63 | 1 | 45. | 1.4 | 44.5 | |

Quando a força cortante solicitante de cálculo ultrapassa a força cortante resistente de cálculo (VRd2) a seguinte mensagem é apresentada. Além da identificação alfanumérica, é feita também uma identificação gráfica do elemento na planta de formas.

| |
|--|
| <p>AVISO/ERRO: Ruína da biela comprimida. F_Cortante atuante > Limite.</p> <p>SISTEMA: CAD/Vigas</p> <p>CLASSIFICAÇÃO: 2 - Grave, IMPORTANTE!!!</p> <p>ELEMENTO: Viga 4</p> <p>TRECHO: Vão 2</p> <p>A força cortante atuante de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto = 63,23 Tf, ultrapassou o valor limite resistente = 34,63 Tf. O programa detalhará o estribo com um diâmetro = 50 mm apenas para não interromper o processamento. A tabela de ferros não será gerada.</p> <p>Possíveis soluções:</p> <p>a) Aumente o Fck</p> <p>b) Aumente a seção da viga (reprocessse o modelo)</p> <p>c) Altere o modelo estrutural para que a viga suporte as cargas aplicadas.</p> |
|--|

8.) Dimensionamento a Torção - ELU

Assumimos que o TQS-Vigas trabalha apenas com barras longitudinais nas faces da seção e estribos verticais para combater os esforços de torção.

8.1) Armadura mínima

Obedece a expressão:

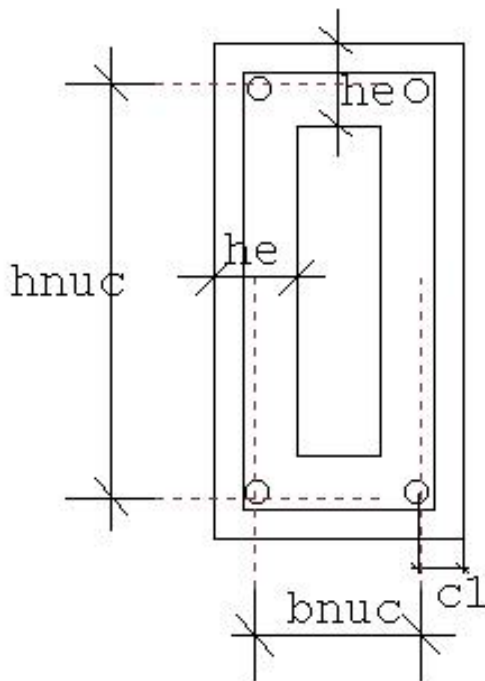
$$\rho_{sl} = \rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b_w s} \geq 0,2 \frac{f_{ctm}}{f_{ywk}}$$

8.2) Ângulo de inclinação da treliça

As diagonais de compressão da treliça espacial resistente tem inclinação que podem variar entre 30º e 45º. Esta seleção é feita no mesmo item empregado para o dimensionamento da força cortante, Método II.

8.3) Seção transversal resistente

A seção vazada equivalente é definida como:



$$h_e \leq A / \mu_e$$

$$h_e \geq 2 c_1$$

onde:

A é a área da seção cheia;

μ_e é o perímetro da seção cheia;

c_1 é a distância entre o eixo da armadura longitudinal do canto e a face lateral do elemento estrutural.

8.4) Resistência do elemento estrutural

$$T_{sd} \leq T_{Rd2}$$

$$T_{sd} \leq T_{Rd3}$$

$$T_{sd} \leq T_{Rd4}$$

onde:

T_{Rd2} (limite da resistência das diagonais comprimidas do concreto)

T_{Rd3} (limite da parcela resistida pelos estribos normais ao eixo da viga)

T_{Rd4} (limite da parcela resistida pelas barras longitudinais paralelas ao eixo da viga)

$$T_{Rd2} = 0,50 \alpha_{v2} f_{cd} A_e h_e \sin 2\theta$$

$$T_{Rd3} = (A_{90} / s) f_{ywd} 2 A_e \cotg \theta$$

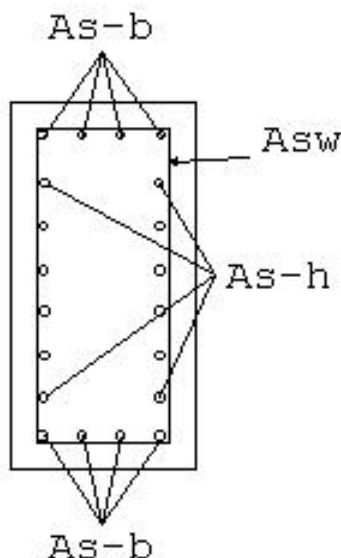
$$T_{Rd4} = (A_{sl} / u_e) 2 A_e f_{ywd} \tg \theta$$

Com as expressões de T_{Rd3} e T_{Rd4} acima, calculamos as armaduras transversais e longitudinais para resistir à torção. Essas armaduras são tratadas como abaixo:

As armaduras transversais são adicionadas às armaduras calculadas para a força cortante.

As armaduras longitudinais (face superior e face inferior) são adicionadas às armaduras longitudinais para flexão.

As armaduras longitudinais nas faces laterais são comparadas com a armadura lateral já calculada adotando-se o valor máximo. Se a viga não possui armadura lateral mas torção, está é a armadura adotada.



8.5) Apresentação de resultados

O seguinte relatório é apresentado por ocasião do dimensionamento a torção:

| | | | | | | | | | | | |
|---|-------|------|------|------|-----|-------|-------|--------|-------|-------|--------|
| VAO= 2 /L=6.76 /B=.14 /H=.60 /BCS=.46 /BCI=.00 /TPS=5 /ESP.LS=.04 [M] | | | | | | | | | | | |
| TORCAO- | Xi | Xf | Tsd | TRd2 | he | b-nuc | h-nuc | Asw-lR | Asl-b | Asl-h | ComDia |
| [Tf,cm] | 0.- | 215. | 2.94 | 2.09 | 6.9 | 7.1 | 53.1 | 8.9 | .6 | 4.7 | 1.80 |
| | 215.- | 430. | .14 | 2.09 | 6.9 | 7.1 | 53.1 | 1.4 | .1 | .4 | .18 |
| | 430.- | 645. | 3.55 | 2.09 | 6.9 | 7.1 | 53.1 | 10.8 | .8 | 5.7 | 1.90 |

Quando o momento torçor solicitante de cálculo (Tsd) ultrapassa o momento torçor resistente de cálculo (TRd2) a seguinte mensagem é apresentada. Além da identificação alfanumérica, é feita também uma identificação gráfica.

| | |
|--|--|
| AVISO/ERRO: Ruína da diagonal comprimida. M_Torção atuante > Limite. | |
| SISTEMA: CAD/Vigas | |
| CLASSIFICAÇÃO: 2 - Grave, IMPORTANTE!!! | |
| ELEMENTO: Viga 1 | |
| TRECHO: Vão 2 | |
| O momento de torção atuante de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto = 2,94 | |
| Tf*m, ultrapassou o valor limite resistente = 2,09 Tf*m. | |
| O programa detalhará o estribo com um diâmetro = 50 | |
| mm apenas para não interromper o processamento. A tabela de ferros não será gerada. | |
| Possíveis soluções: | |
| a) Aumente o Fck | |
| b) Aumente a seção da viga (reprocessse o modelo) | |
| c) Altere o modelo estrutural para que a viga suporte as cargas aplicadas. | |

8.6) Limite para desprezar Tsd

Geralmente, o cálculo de solicitações considerando um valor da inércia a torção baixa, resulta em valores reduzidos de Tsd. Para valores muito pequenos de Tsd, pode-se desprezar o cálculo da viga a torção. Este valor é fornecido no arquivo de critérios em função de uma porcentagem do valor de TRd2 como abaixo.

Limite momento de torção

Valor limite para desprezar o dimensionamento da seção transversal a torção. Valor definido em % e representa uma porcentagem do momento T_{rd2} . Assim, se $T_{sd} < (LIMDMT * T_{rd2})$ a seção não será dimensionada a torção.

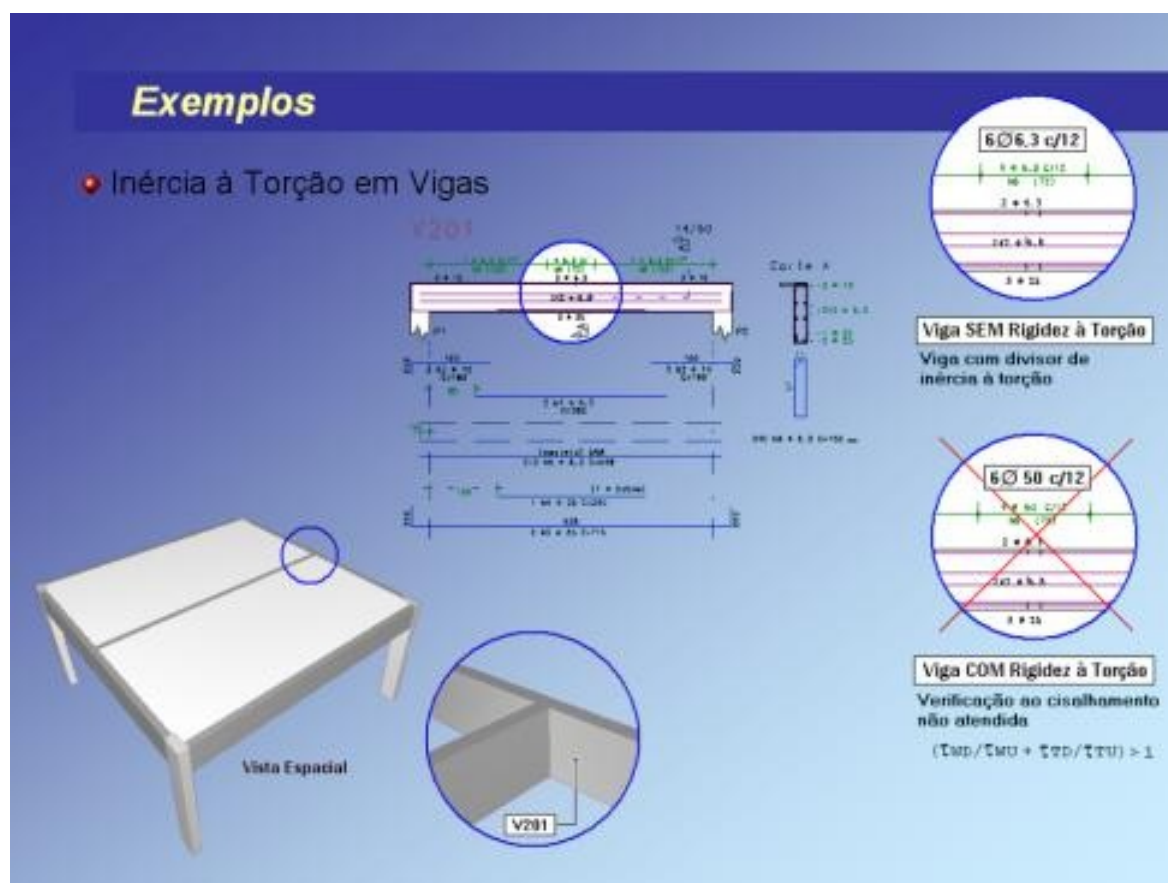
Limite momento de torção

%

OK

Cancelar

A inércia a torção em vigas usuais de edifícios implica no aparecimento do momento de torção. Se a viga não tiver uma dimensão (largura) suficiente, as tensões de cisalhamento, fatalmente, ultrapassarão os limites permitidos. Para não interromper o processamento, o TQS-Vigas realiza os cálculos, emite os avisos de erros graves e detalha a armadura de cisalhamento com bitola de diâmetro = 50 mm.



Continua...

Nelson Covas - TQS