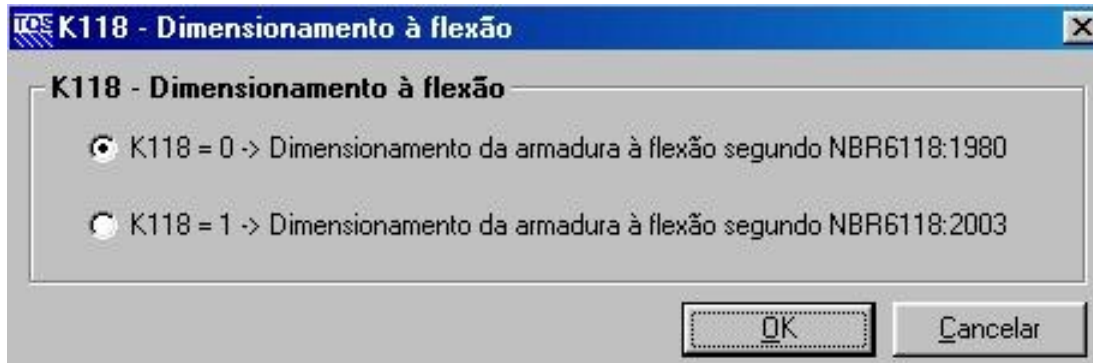


Sistema TQS-Vigas e a NBR-6118:2003 (Parte II)

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:

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

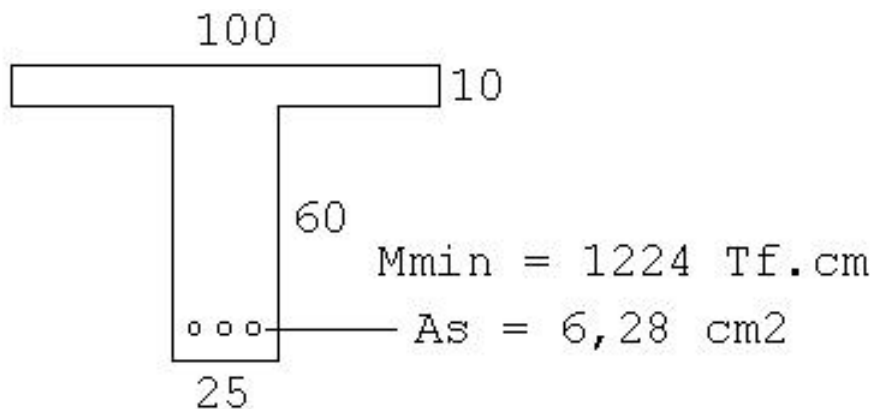
O W_0 é o módulo de resistência da seção bruta de concreto, incluindo a seção T se houver. Como a seção T ou L não é simétrica, temos, no caso geral, um valor para W_0 para momentos mínimos negativos e outro valor de W_0 para momentos mínimos positivos.

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

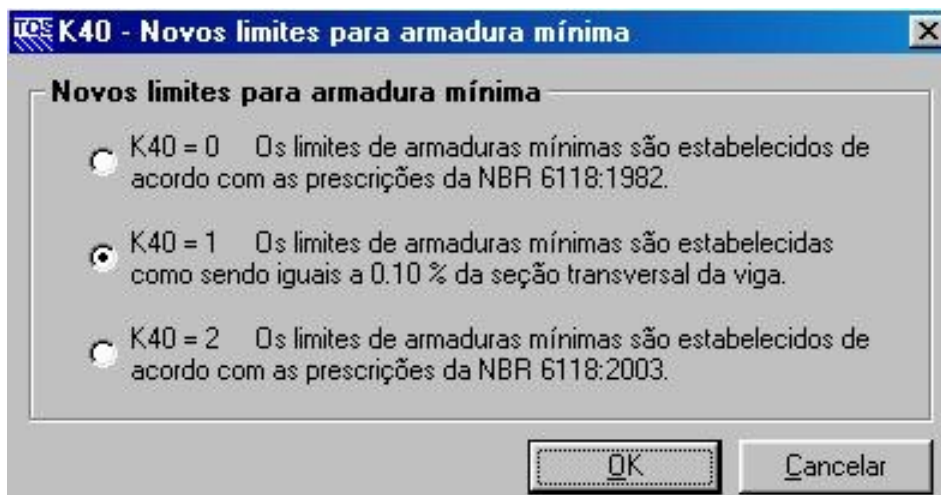
Vamos apresentar um exemplo:

----- 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.

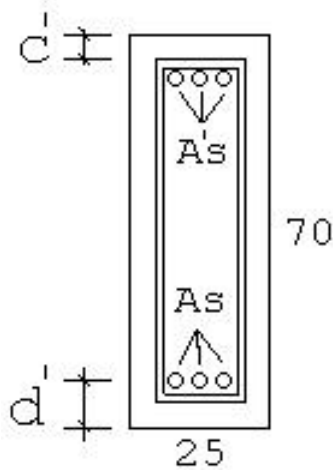
A R M A D U R A S (F L E X A O E C I S A L H A M E N T O) -	
FLEXÃO- E S Q U E R D A	D I R E I T A
M.NEGATIVO= 2855.9 TF*CM	M.NEGATIVO= 709.8 TF*CM
[CM] AS = 20.18 -SRAD- [7 B 20.0MM]	AS = 4.58 -SRAS- [4 B 12.5MM]
ASL= 21.97 -----	ASL= .00 -----/-
x/dLim = .21	x/dLim= .45
ASL COMPR.	
% BARIC.ARMAD.=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

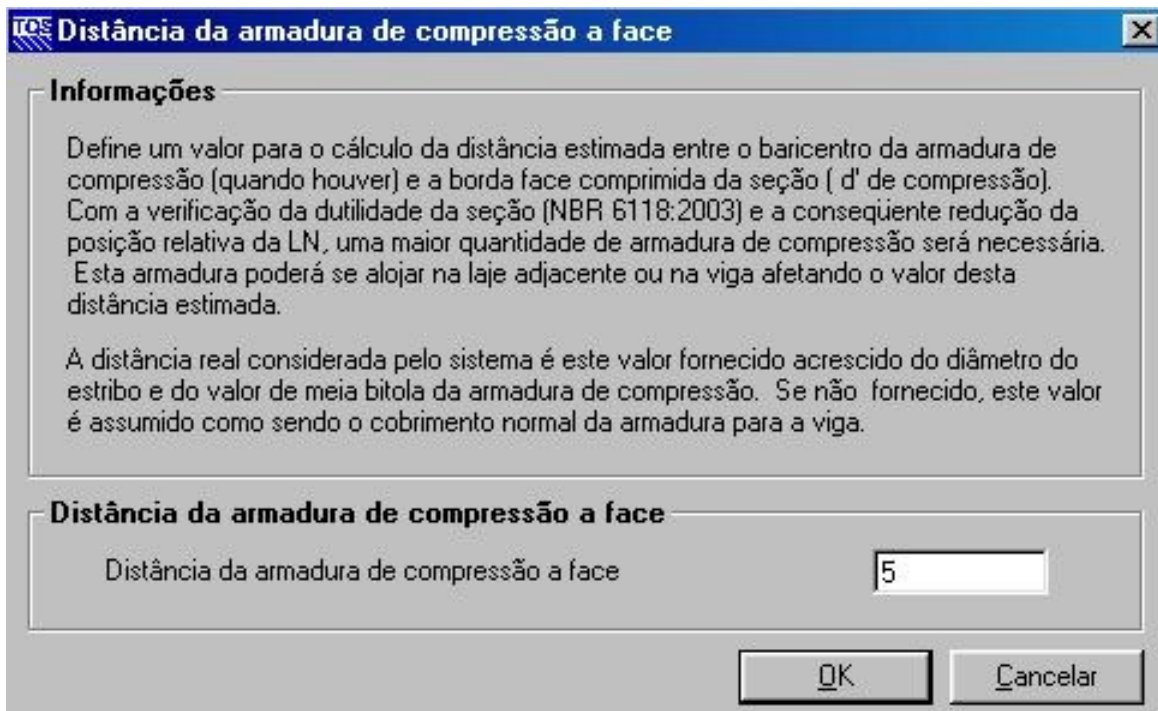
Por enquanto, o TQS-Vigas ainda não está dimensionando as vigas automaticamente a flexão composta normal. Embora estes esforços de compressão e/ou tração possam ser calculados com a presença da força normal devido a, por exemplo, temperatura axial e retração, este dimensionamento não é realizado automaticamente.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



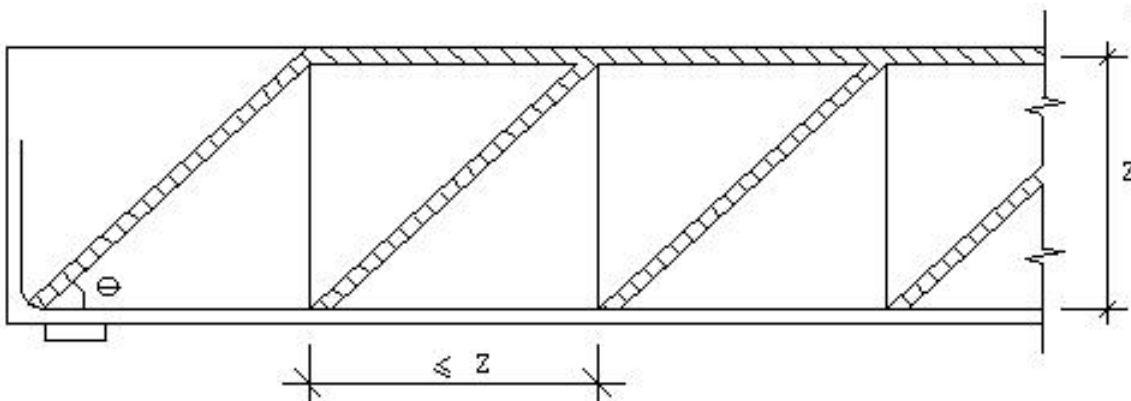
Exemplo de relatório com armadura de compressão elevada:

G E O M E T R I A			
VAO= 2	/L= 6.00	/B= .30	/H= .70
/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
[CM]	M.NEGATIVO= 901.3 TF*CM		M.NEGATIVO= 1297.6 TF*CM
	AS = 5.58 -SRAS- [4 B 16.0MM]		AS = 6.45 -SRAD- [4 B 20.0MM]
	ASL= .00		ASL=13.35
			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:

$$\rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b_w \cdot s \cdot \text{sen } \alpha} \geq 0,2 \frac{f_{ctm}}{f_{yw,k}}$$

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 θ das diagonais de compressão inclinadas entre os valores 30° e 45°.

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

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

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

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

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

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. SISTEMA: CAD/Vigas CLASSIFICAÇÃO: 2 - Grave, IMPORTANTE!!! ELEMENTO: Viga 4 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 b) Aumente a seção da viga (reprocessse o modelo) 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:

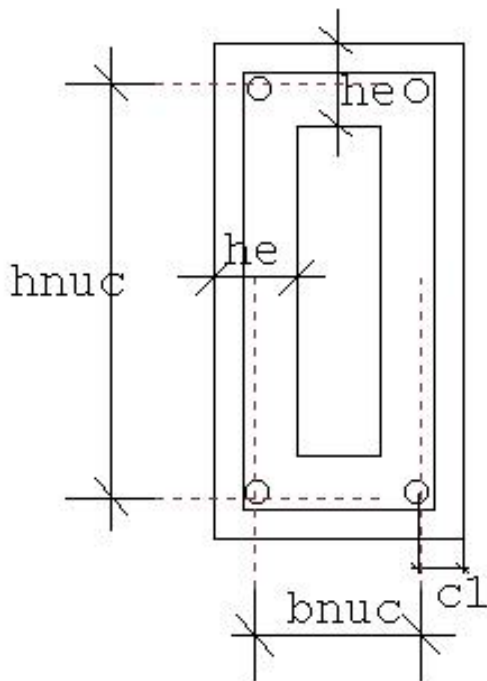
$$\rho_{sl} = \rho_{sw} = \frac{A_{sw}}{b_w s} \geq 0,2 \frac{f_{ctm}}{f_{yw k}}$$

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:



$$h_e < A / \mu_e$$

$$h_e > 2 c_1$$

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)

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

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

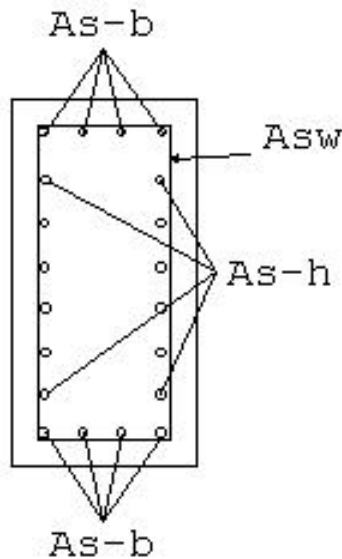
$$T_{Rd4} = (A_{se} / u_e) 2 A_e f_{ywd} \operatorname{tg} \theta$$

Com as expressões de TRd3 e TRd4 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:

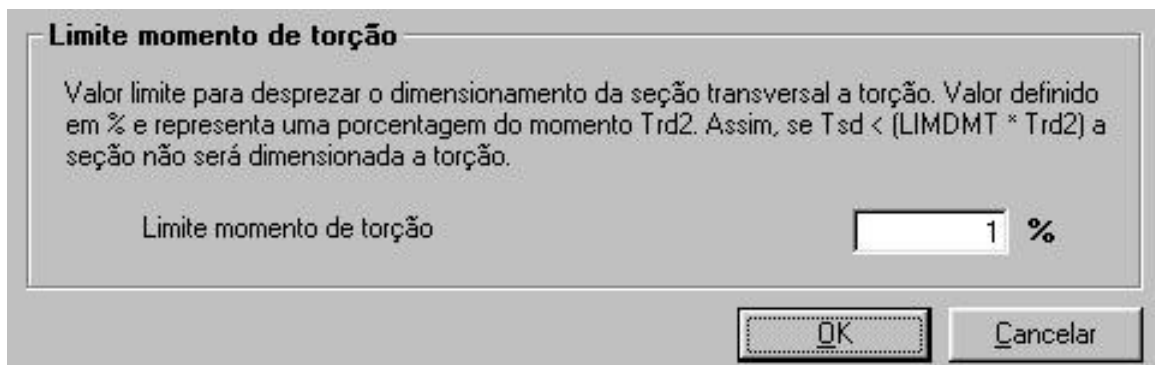
VAO= 2 /L=6.76 /B=.14 /H=.60 /BCS=.46 /BCI=.00 /TPS=5 /ESP.LS=.04 [M]											
TORCAO-	Xi	Xf	Tsd	TRd2	he	b-nuc	h-nuc	Asw-lR	Asl-b	Asl-h	ComDia
[Tf, cm]	0.-	215.	2.94	2.09	6.9	7.1	53.1	8.9	.6	4.7	1.80
	215.-	430.	.14	2.09	6.9	7.1	53.1	1.4	.1	.4	.18
	430.-	645.	3.55	2.09	6.9	7.1	53.1	10.8	.8	5.7	1.90

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.

<p>AVISO/ERRO: Ruína da diagonal comprimida. M_Torção atuante > Limite.</p> <p>SISTEMA: CAD/Vigas</p> <p>CLASSIFICAÇÃO: 2 - Grave, IMPORTANTE!!!</p> <p>ELEMENTO: Viga 1</p> <p>TRECHO: Vão 2</p> <p>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.</p> <p>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>

8.6) 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.



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.

Exemplos

- Inércia à Torção em Vigas

Vista Espacial

V201

Viga SEM Rigidez à Torção
Viga com divisor de inércia à torção

Viga COM Rigidez à Torção
Verificação no cisalhamento não atendida
 $(\tau_{mp}/\tau_{mu} + \tau_{td}/\tau_{tu}) > 1$

Continua...

Nelson Covas - TQS