

# The minimum steel consumption in beams according to the prescriptions of the NBR 6118-2003 code – case study

## Consumo mínimo de armadura em vigas segundo as prescrições da norma NBR 6118-2003 – estudo de caso



S. L. G. GARCIA <sup>a</sup>  
liluiser@uenf.br

G. SAVARIS <sup>b</sup>  
gsavaris@uenf.br

J. R. FERREIRA <sup>c</sup>  
jusciferreira@yahoo.com.br

### Abstract

The Brazilian code, NBR 6118:2003, recommends the usage of truss models with strut angle variation ( $\theta$ ) and tie angle ( $\alpha$ ) for the concrete beams design subjected to bending and shear force. This code allows the designer to choose between two design models of the shear steel: The model I, where the strut angle has the value of  $45^\circ$  and the portion of shear force resisted by the concrete  $V_c$  has a constant value, and the model II, where the strut angle varies from  $30^\circ$  to  $45^\circ$ , with  $V_c$  varying in function of the shear force calculation ( $V_{sd}$ ) and the shear force resisted by the strut ( $V_{Rd2}$ ). The stirrups angle varies from  $45^\circ$  to  $90^\circ$ . With the aim of helping the designers in the choice of optimum models and angles, the mentioned models were evaluated, in order to determine which of these models and ( $\theta$ ) and ( $\alpha$ ) angles lead to a minimum consumption of longitudinal and transverse steel in simply supported beams, subjected to bending combined with shear, with distributed loading.

**Keywords:** truss model, strut angle, shear strength, minimum steel consumption

### Resumo

A NBR 6118:2003 [1] recomenda o uso de modelos de treliça com variação do ângulo da escora ( $\theta$ ) e do tirante transversal ( $\alpha$ ) para o dimensionamento de vigas de concreto submetidas à flexão e força cortante. Esta norma permite ao projetista optar entre dois modelos de dimensionamento da armadura transversal: O modelo I, onde o ângulo da escora tem valor de  $45^\circ$  e a parcela de força cortante resistida pelo concreto  $V_c$  tem valor constante, e o modelo II, onde o ângulo da escora varia de  $30^\circ$  a  $45^\circ$ , com  $V_c$  variando em função da força cortante de cálculo ( $V_{sd}$ ) e da força cortante resistida pela escora ( $V_{Rd2}$ ). O ângulo  $\alpha$  dos tirantes transversais varia entre  $45^\circ$  e  $90^\circ$ . Com o objetivo de auxiliar os projetistas na escolha do modelo e ângulos ótimos, foram avaliados os modelos mencionados, determinando-se qual destes modelos e os ângulos ( $\theta$ ) e ( $\alpha$ ) levam ao consumo mínimo de armaduras longitudinal e transversal em vigas simplesmente apoiadas, submetidas à flexão combinada com cortante, com carregamento distribuído.

**Palavras-chave:** Modelo de treliça, ângulo da escora, resistência a cortante, consumo mínimo de armadura

<sup>a</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Laboratório de Engenharia Civil, liluiser@uenf.br, Av. Alberto Lamego, nº 2000, CEP 28013-602. Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil.

<sup>b</sup> Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Laboratório de Engenharia Civil, gsavaris@uenf.br, Av. Alberto Lamego, nº 2000, CEP 28013-602. Campos dos Goytacazes – RJ, Brasil.

<sup>c</sup>

### 1. Introdução

O dimensionamento das armaduras de vigas submetidas a esforços combinados de flexão e cisalhamento pode ser feito baseando-se apenas no modelo de treliça plana, tanto para a armadura transversal quanto para a armadura longitudinal.

A NBR 6118:2003 [1] estabelece as condições de cálculo para as vigas baseadas no modelo de treliça de banzos paralelos. São admitidos dois modelos de cálculo para o dimensionamento da armadura transversal, cabendo ao projetista optar por um deles.

Em geral, o projetista não tem critérios para escolher um ou outro modelo, optando normalmente pelo modelo de cálculo mais simplificado, sem levar em consideração qual é o modelo que conduz a menores quantidades de armaduras longitudinais e transversais e quais valores de ângulos da escora e do tirante levam a dimensionamentos mais econômicos.

Diferente de outros trabalhos realizados nesta temática [2, 3, 4, 5, 6], onde não foi considerado o “*termo corretivo*  $V_c$ ”, este o considera quando analisa os modelos descritos pela norma, avaliando a influência dos ângulos da escora “ $\theta$ ” e do tirante transversal “ $\alpha$ ”, no volume de armadura transversal e armadura total da viga, considerando a contribuição resistente do concreto ( $V_c$ ). São obtidos os ângulos  $\alpha$  e  $\theta$  que levam ao menor custo para um determinado valor de força cortante. Considera-se o caso de vigas bi-apoiadas, de altura e largura constantes com carregamento uniformemente distribuído. Os valores encontrados para cada modelo são comparados, buscando-se assim, auxiliar o projetista na escolha do modelo mais econômico.

### 2. Procedimentos gerais para a determinação do volume de armadura longitudinal segundo o modelo de treliça generalizado

A resultante de tração na armadura longitudinal pode ser determinada através do modelo de treliça plana, permitindo assim expressar a área de armadura longitudinal em termos dos ângulos  $\alpha$  e  $\theta$ .

Observando a Figura 1, fazendo momento em relação ao ponto O tem-se:

$$R_{st} \cdot z + R_t \cdot \frac{z}{2} \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) \cdot \text{sen } \alpha = M + \Delta M \quad (1)$$

Onde:

$R_{cc}$  é a resultante de compressão no concreto;

$R_{st}$  é a resultante de tração na armadura longitudinal;

$R_t$  é a resultante de tração na armadura transversal;

$V_{sd}$  é o esforço cortante;

$s$  é o espaçamento entre os estribos;

$z$  é a braço de alavanca.

Reorganizando e substituindo os valores de  $\Delta M$  e  $R_t$  obtém-se a resultante de tração na armadura longitudinal.

$$R_{st} = \frac{M_{sd}}{z} + \frac{V_{sd}}{2} (\cot\theta - \cot\alpha) \quad (2)$$

A área de armadura longitudinal é dada pela Equação 3, onde  $f_{yld}$  é a resistência de cálculo à tração da armadura longitudinal [4, 5].

$$A_{sL} = \frac{1}{f_{yld}} \left( \frac{|M_{sd}|}{z} + \frac{|V_{sd}|}{2} (\cot\theta - \cot\alpha) \right) \quad (3)$$

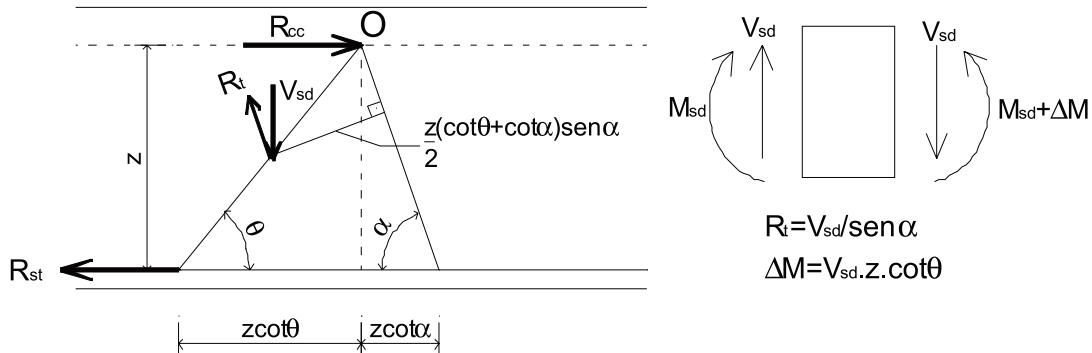
Deste modo, o volume de armadura longitudinal ( $V_{ol,L}$ ) entre as seções de momento máximo e mínimo (Figura 2) pode ser obtido pela integração da área ao longo do comprimento  $L_o$ , ou seja:

$$V_{ol,L} = \int_0^{L_o} \frac{1}{f_{yld}} \left( \frac{|M_{sd}|}{z} + \frac{|V_{sd}|}{2} (\cot\theta - \cot\alpha) \right) dx \quad (4)$$

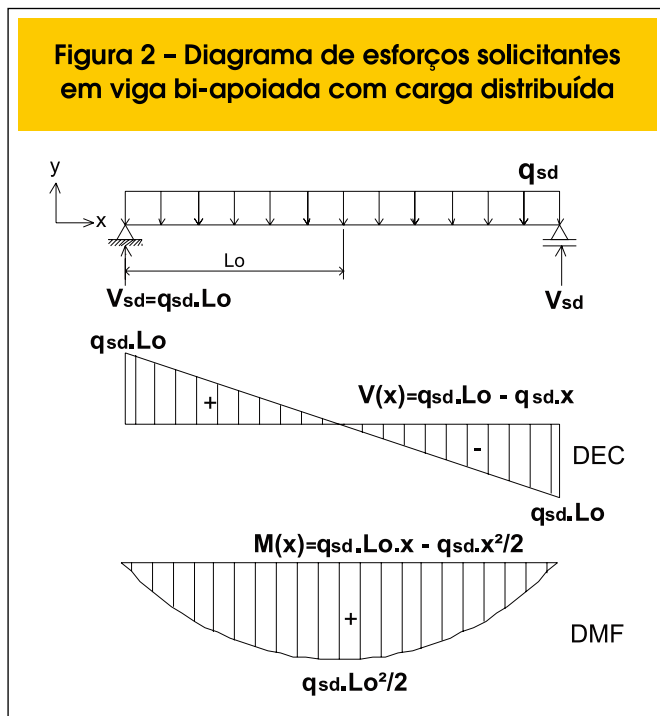
A Figura 2 mostra os diagramas de esforços solicitantes para carregamento uniformemente distribuído. Substituindo as equações de força cortante e momento fletor na Equação 4 e integrando, obtém-se a Equação (5):

$$V_{ol,L} = \frac{1}{f_{yld}} \left( \frac{V_{sd} \cdot L_o^2}{3 \cdot z} + \frac{1}{2} \frac{V_{sd} \cdot L_o}{2} (\cot\theta - \cot\alpha) \right) \quad (5)$$

Figura 1 – Esforços solicitantes numa seção da viga



**Figura 2 - Diagrama de esforços solicitantes em viga bi-apoiada com carga distribuída**



### 3. Volume de armadura transversal

No capítulo 17, item 17.4 da NBR 6118:2003 [1], descreve-se como devem ser realizados os cálculos da armadura transversal e a verificação da escora de compressão para elementos lineares sujeitos a força cortante no Estado Limite Último.

As condições de cálculo fixadas para as vigas baseiam-se na analogia com o modelo da treliça, de banzos paralelos, associado à parcela de força cortante resistida pelo concreto,  $V_c$ , absorvida por mecanismos complementares ao de treliça: engrenamento do agregado na face da fissura inclinada e efeito de pino da armadura longitudinal.

A metodologia para o dimensionamento estabelece que a resistência à força cortante, numa determinada seção transversal, deve ser considerada satisfatória quando efetuadas simultaneamente as seguintes condições:

- Verificação das escoras comprimidas do concreto

$$V_{sd} \leq V_{Rd2} \quad (6)$$

- Verificação da ruína por tração diagonal

$$V_{sd} \leq V_{Rd3} = V_c + V_{sw} \quad (7)$$

Onde:

- $V_{sd}$  é a força cortante solicitante de cálculo;
- $V_{Rd2}$  é a força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína das diagonais comprimidas de concreto;

-  $V_{Rd3}$  é a força cortante resistente de cálculo, relativa à ruína por tração diagonal.

Para avaliar qual dos modelos alternativos previstos na NBR 6118:2003 [1] leva a uma solução mais econômica foi realizado um procedimento baseado nas equações obtidas do modelo de treliça com a inclusão do "termo corretivo  $V_c$ ".

O volume de armadura transversal ( $V_{ol,w}$ ) ao longo do comprimento  $L_o$ , entre as seções de força cortante máxima e mínima pode ser expresso pela seguinte equação:

$$V_{ol,w} = \int_0^{L_o} K \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot dx \quad (8)$$

O valor K desta equação está relacionado com as dimensões, forma e inclinação dos estribos. Se os estribos forem todos retangulares com dimensões iguais, onde  $b'$  e  $h'$  forem a largura e a altura, respectivamente, este valor será:

$$K = \frac{h'}{\text{sen } \alpha} + b' \quad (9)$$

Considerando o modelo de treliça plana mostrado na Figura 3, a resultante de tensões de tração na armadura transversal pode ser escrita por meio da Equação 10.

$$\underbrace{\frac{z(\cot\theta + \cot\alpha)}{s}}_{n^\circ \text{ de estribos}} A_{sw} \cdot f_{ywd} = R_t = \frac{V_{sd}}{\text{sen } \alpha} \quad (10)$$

A área de armadura transversal por unidade de comprimento ( $A_{sw}/s$ ) pode ser definida através do modelo de treliça, considerando o braço de alavanca "z" igual a  $0,9 \cdot d$ , como:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{|V|}{0,9 \cdot f_{ywd} \cdot d \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) \cdot \text{sen } \alpha} \quad (11)$$

A parcela de força cortante resistida pelo concreto  $V_c$  deve ser considerada no cálculo da armadura transversal e sabendo-se que “ $\theta$ ” e “ $\alpha$ ” são constantes e considerando os outros fatores constantes no comprimento  $L_o$ , o volume de armadura transversal pode ser definido de acordo com a Equação 12:

$$V_{ol,w} = \frac{K}{0,9 \cdot f_{ywd} \cdot d \cdot (\cot\theta + \cot\alpha) \cdot \text{sen } \alpha} \cdot \int_0^{L_o} (V_{sd} - V_c) dx \quad (12)$$

Para carregamento distribuído, a força cortante  $V_{sd}$  varia ao longo do comprimento  $L_o$  (Figura 2). Assim sendo, em um determinado comprimento ( $a$ ), a força cortante atuante  $V_{sd}$  atinge um determinado valor de  $V_{sd,min}$ , que conduz a armadura transversal mínima. Considera-se a partir deste comprimento que a viga terá armadura transversal mínima. Nota-se na Figura 4, que o valor de ( $a$ ) pode ser determinado por semelhança de triângulos, de acordo com a Equação 13.

$$a = \frac{(V_{sd} - V_{sd,min}) \cdot L_o}{V_{sd}} \quad (13)$$

Onde o  $V_{sd,min}$  pode ser calculado através da Equação 14, adotando-se o valor de  $V_c$  e os valores dos ângulos  $\alpha$  e  $\theta$  de acordo com cada modelo recomendado pela norma:

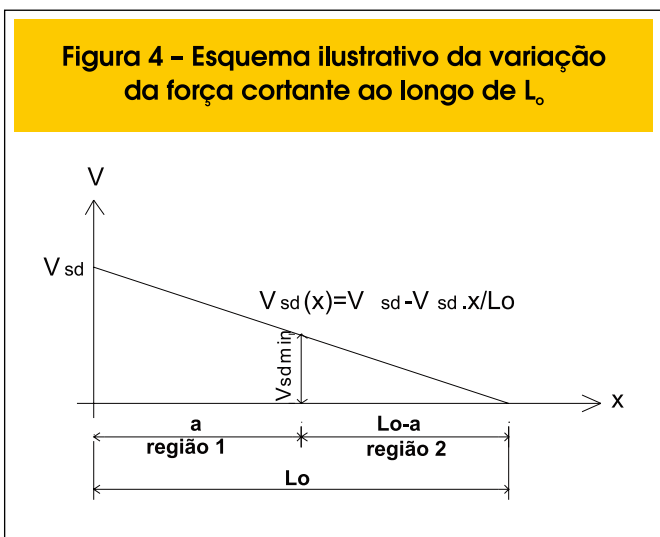
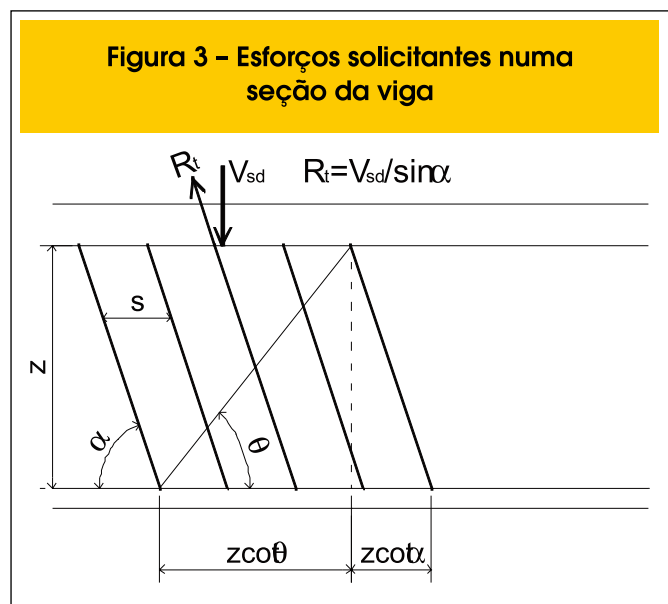
$$V_{sd,min} = \left( \frac{A_{sw,min}}{s} \right) 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot (\cot\alpha + \cot\theta) \cdot \text{sen } \alpha + V_c \quad (14)$$

$$V_{sd}(x) = V_{sd} - \frac{V_{sd} \cdot x}{L_o} \quad (15)$$

$$V_{ol,w} = \int_0^a K \cdot \frac{A_{sw}}{s} \cdot dx + \int_a^{L_o} K \cdot \frac{A_{sw,min}}{s} \cdot dx \quad (16)$$

A Equação 15 define a variação de  $V_{sd}$  ao longo do comprimento  $L_o$  (Figura 2).

O volume de armadura transversal é calculado como a soma do volume necessário para a região 1 e do volume mínimo de armadura transversal para a região 2, calculado conforme o item 17.4.1.1 da NBR 6118:2003 [1], resultando na Equação 16.



$$\frac{A_{sw,min}}{s} = \frac{0,06 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} \cdot b_w \cdot \sin \alpha}{f_{ywk}} \quad (17)$$

Sendo a armadura mínima por unidade de comprimento definida como mostrada na Equação 17.

O volume de armadura transversal, considerando-se o modelo de treliça generalizado, para vigas bi-apoiadas com carga uniformemente distribuída é obtido através da Equação 18.

$$V_{ol,w} = \frac{K}{0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha} \cdot \int_0^a V_{sd} - V_c \cdot dx + \frac{K \cdot 0,06 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} \cdot b_w \cdot \sin \alpha}{f_{ywd}} \cdot (L_o - a) \quad (18)$$

### 3.1 Cálculo do volume de armadura transversal considerando o Modelo I

$$V_{co} = \frac{0,126 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} \cdot b_w \cdot d}{\gamma_c} \quad (19)$$

O modelo I admite  $\theta = 45^\circ$  em relação ao eixo longitudinal do elemento estrutural e admite ainda que a parcela complementar  $V_c$  tenha valor constante igual a  $V_{co}$ , de acordo com a Equação 19, com  $f_{ck}$  em MPa.

Sabendo-se que:

Fazendo as devidas substituições na Equação 18, o volume de armadura transversal para o modelo I pode ser obtido através da equação 21.

$$\int_0^a V_{sd} \cdot dx = a \left( V_{sd} - \frac{V_{sd} \cdot a}{2 \cdot L_o} \right) \quad (20)$$

$$V_{ol,w} = \frac{K \cdot a}{0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha)} \left( V_{sd} - V_{co} - \frac{V_{sd} \cdot a}{2 \cdot L_o} \right) + \frac{0,06 \cdot K \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} \cdot b_w \cdot \sin \alpha}{f_{ywk}} \cdot (L_o - a) \quad (21)$$

### 3.2 Cálculo do volume de armadura transversal considerando o Modelo II

$$V_c = \frac{(V_{Rd2} - V_{sd}) \cdot V_{co}}{(V_{Rd2} - V_{co})} \quad (22)$$

Neste modelo admite-se que a parcela complementar  $V_c$  sofra redução com o aumento de  $V_{sd}$  (Figura 5), conforme Equação 22, mostrada ao lado.

Substituindo a Equação 22 na Equação 18 e reorganizando os termos tem-se a Equação 23.

$$V_{ol,w} = \frac{K}{0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha} \left[ \left( 1 + \frac{V_{co}}{(V_{Rd2} - V_{co})} \right) \int_0^a V_{sd} \cdot dx - \frac{V_{Rd2} \cdot V_{co} \cdot a}{(V_{Rd2} - V_{co})} \right] + K \frac{A_{sw,min}}{s} \sin \alpha (L_o - a) \quad (23)$$

Integrando e substituindo o valor de  $\frac{A_{sw,min}}{s}$  após transformações matemáticas:

$$V_{ol,w} = \frac{K}{0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) \sin \alpha} \left( \frac{V_{Rd2} \cdot a}{(V_{Rd2} - V_{co})} \left( V_{sd} - V_{co} - \frac{V_{sd} \cdot a}{2 \cdot L_o} \right) \right) + \frac{0,06 \cdot K \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2} \cdot b_w \cdot \sin \alpha}{f_{ywk}} \cdot (L_o - a) \quad (24)$$

$$V_{Rd2} = 0,54 \left( 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \cdot b_w \cdot d \cdot \sin^2 \theta \cdot (\cot \alpha + \cot \theta) \quad (25)$$

O valor de  $V_{co}$  é obtido pela Equação 20 e o valor de  $V_{Rd2}$ , relativo à verificação da compressão diagonal do concreto é obtido através da Equação 25, com  $f_{ck}$  em MPa.

#### 4. Estudo de caso parametrizado

O volume de armadura total necessário é dado pela soma das equações de armadura transversal e longitudinal, para ambos os modelos. Considerando-se que o custo de volume unitário de armadura transversal é  $K_{ce}$  vezes o custo do volume unitário de armadura longitudinal, o modelo mais econômico será determinado através da diferença de custo entre o Modelo II e Modelo I, considerando para isto o mesmo valor de ângulo de tirante para os dois modelos e variando o ângulo da escora do Modelo II.

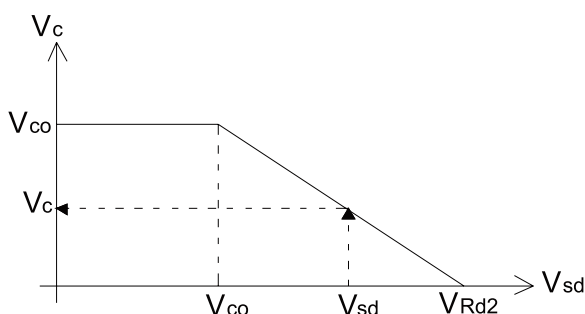
$$\Delta C = C_{MII} - C_{MI} \quad (26)$$

Observa-se a partir das equações apresentadas que ao contrário do trabalho realizado por [3, 4], torna-se impossível generalizar o processo de forma adimensional, fazendo-se necessário realizar um estudo de caso.

Neste estudo foi considerado o custo médio do aço no Brasil igual a R\$4,00/kg, sendo o custo da armadura transversal considerado maior que o da armadura longitudinal. Para avaliar a influência desta diferença de custo entre ambas as armaduras, compararam-se os resultados utilizando o fator  $K_{ce}$  igual a 1,1 conforme já avaliado por [2, 3], e 1,3.

Com o intuito de não considerar a carga distribuída ( $q_{sd}$ ) no processo de desenvolvimento das equações, considerou-se estas cargas em função do  $V_{sd}$ . Limitou-se o valor da força cortante de cálculo ( $V_{sd}$ ) objetivando a seção a ter mínima ductilidade à flexão com armadura simples. Este valor foi obtido de acordo com a norma

Figura 5 – Gráfico da variação de  $V_c$  com relação a  $V_{sd}$



NBR 6118:2003, resultando em  $V_{sd}=103,5$  kN para o carregamento uniformemente distribuído, para o exemplo realizado.

Com as equações apresentadas anteriormente elaborou-se um algoritmo e utilizando programação computacional em MATLAB® versão 7.0, calculou-se o volume de armadura longitudinal, transversal e o custo total, para todas as combinações de ângulos de escoras e tirantes definidos pela norma. De posse destas informações foram calculadas as diferenças de custo entre os dois modelos.

Descrição da viga considerada:

- Seção transversal = 15x45 cm
- $f_{ck} = 25$  MPa,  $f_{yk} = 500$  MPa,  $f_{ywk} = 600$  MPa,  $d = 0,94 \cdot h$ ,  $z = 0,9 \cdot d$ ,  $L = 14 \cdot d$
- Cobrimento de armadura: 3,0cm

#### 5. Resultados e discussões

A Figura 6 mostra a variação de volume de armadura longitudinal com relação ao ângulo do tirante transversal ( $\alpha$ ), para valores de  $\theta$  iguais 30°, 35°, 40° e 45°. Observa-se que o aumento do ângulo da escora resulta na diminuição do volume de armadura longitudinal. Neste caso os modelos I e II com  $\alpha=45^\circ$  apresentaram volumes iguais e correspondem aos menores volumes de armadura longitudinal entre os modelos.

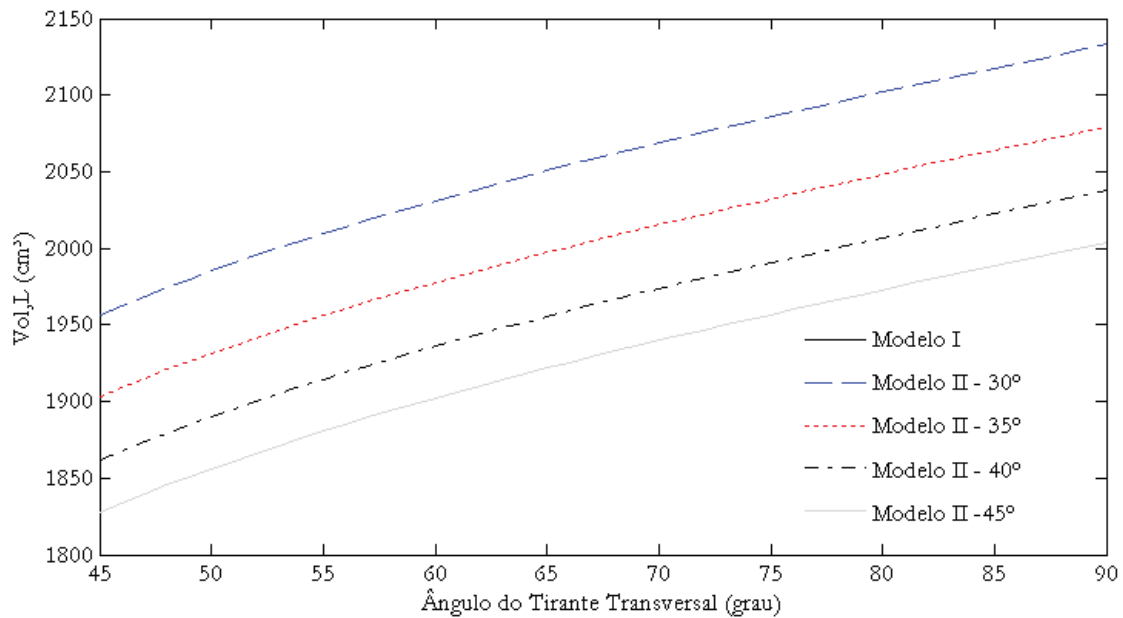
A Figura 7 mostra a variação de volume de armadura transversal com relação ao ângulo do tirante transversal ( $\alpha$ ), para valores de  $\theta$  iguais 30°, 35°, 40° e 45° e também o volume de armadura transversal mínimo recomendado pela norma. Observa-se que o aumento do ângulo da escora resulta no aumento do volume de armadura transversal. O menor volume foi obtido para o modelo II com  $\theta=30^\circ$  e  $\alpha=60^\circ$ . A variação de volume para o caso de estribos verticais, quando comparado no modelo II os ângulos de  $\theta=45^\circ$  com  $\theta=30^\circ$  pode chegar até 19%. Verifica-se também que o modelo II devido à adoção de menores valores de  $V_c$ , mesmo para o valor de  $\theta=45^\circ$ , fornece um volume de armadura transversal maior que o modelo I cujo valor é aproximadamente igual ao modelo II, com  $\theta=40^\circ$ .

As Figuras 8 e 9 mostram a variação do custo da armadura total com relação ao ângulo do tirante transversal ( $\alpha$ ) e a diferença de custo entre os modelos II e I, para  $K_{ce}=1,1$  e  $K_{ce}=1,3$ , respectivamente. Observa-se que o modelo I fornece o menor custo quando comparado com o modelo II, podendo chegar a aproximadamente 14% de economia quando comparados os modelos I com  $\alpha=45^\circ$  e o modelo II com  $\theta=30^\circ$  e  $\alpha=90^\circ$ . Para o modelo II o menor custo foi obtido quando  $\alpha=45^\circ$  e  $\theta=45^\circ$ . Para o caso de estribos verticais tem-se uma diferença de custo de 4,8%, 2,8% e 1,5% para  $K_{ce}=1,1$  e 4,5%, 2,6% e 1,5% para  $K_{ce}=1,3$  para  $\theta$  de 30°, 35° e 40°, respectivamente.

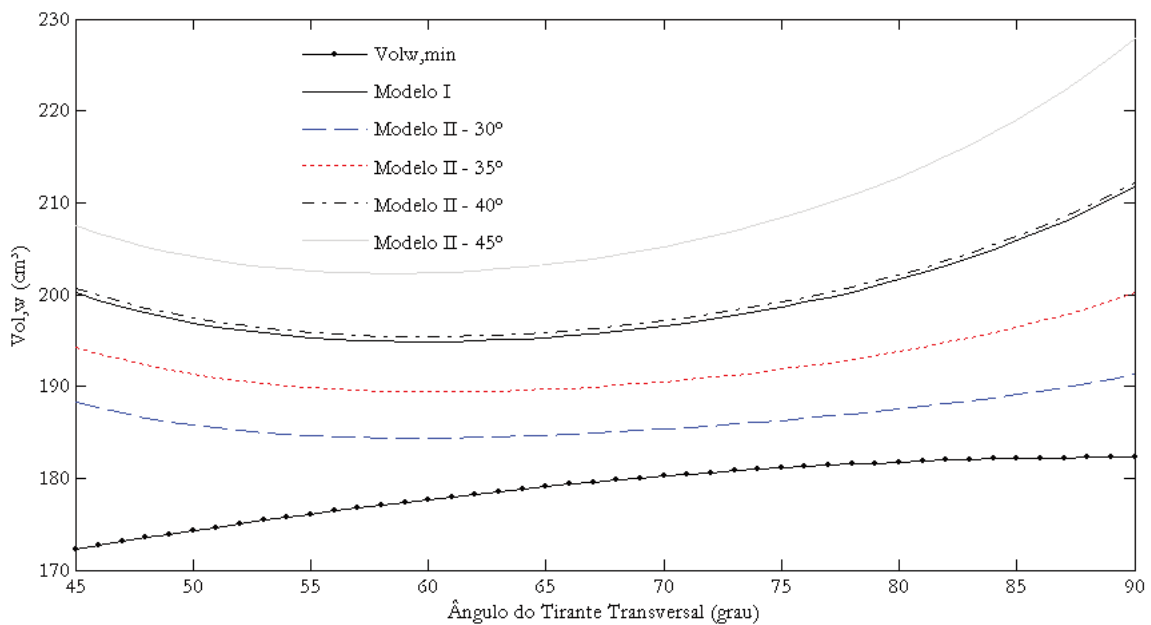
#### 6. Conclusões

Do estudo realizado neste trabalho, podem ser tiradas algumas conclusões com relação a qual seria o modelo, ângulo da escora

**Figura 6 - Variação de volume de armadura longitudinal, com relação ao ângulo do tirante transversal ( $\alpha$ ), para valores de  $\theta$  iguais 30°, 35°, 40° e 45°**



**Figura 7 - Variação de volume de armadura transversal, com relação ao ângulo do tirante transversal ( $\alpha$ ), para valores de  $\theta$  iguais 30°, 35°, 40° e 45°**





inclinada ( $\theta$ ) e ângulo do tirante transversal ( $\alpha$ ) ótimo que leva ao menor consumo de armadura longitudinal e transversal, segundo as prescrições da NBR 6118:2003, elas são:

Para a armadura transversal quanto menor o ângulo da escora inclinada ( $\theta$ ) menor o consumo de armadura, sendo o modelo II com  $\theta=30^\circ$  e  $\alpha=60^\circ$  que conduz ao menor consumo de armadura.

Quando um projetista pretende obter economia no consumo de armadura total (transversal e longitudinal) no dimensionamento de vigas usando o modelo de escoras e tirantes, com estribos verticais ( $\alpha=90^\circ$ ), deve usar o modelo I, onde o ângulo da escora é sempre  $45^\circ$ . Para se ter economia na armadura transversal, com estribos verticais, deve-se usar o modelo II, com  $\theta=30^\circ$ , usando para o dimensionamento da armadura longitudinal o método seccional tradicional.

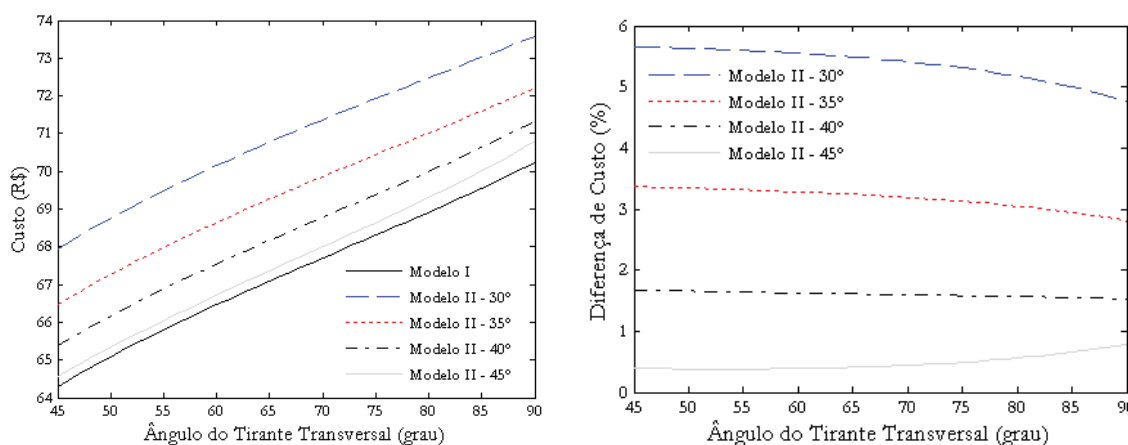
O volume de armadura longitudinal foi o fator determinante do menor custo, deste modo o Modelo I é o que conduz a menores

custos da armadura prevalecendo o ângulo ótimo do tirante transversal igual a  $45^\circ$ . No caso de estribos verticais, a economia pode ser de aproximadamente 5%, quando comparados os modelos I e o modelo II com  $\theta=30^\circ$ , para os valores de  $K_{ce}$  analisados.

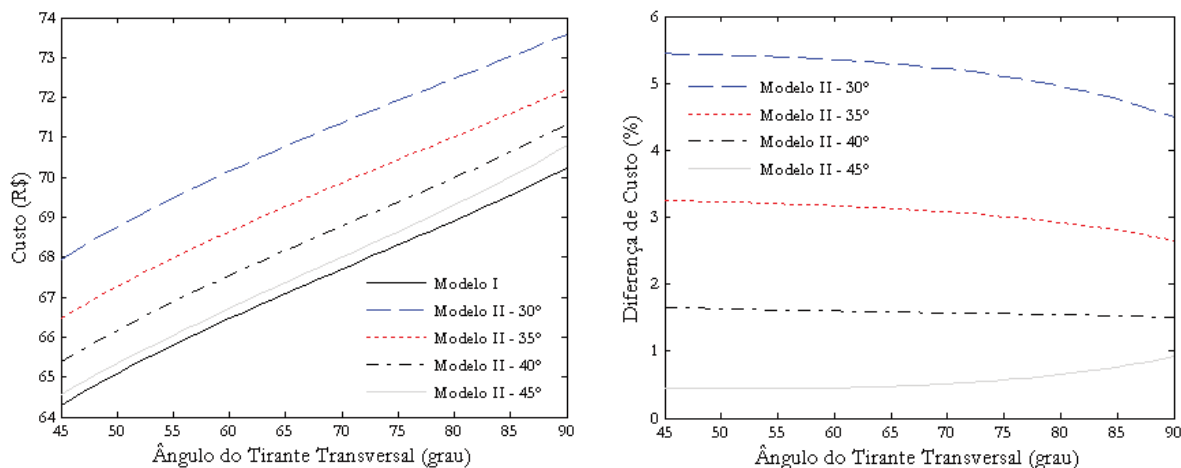
## 7. Referências

- [01] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- [02] GARCIA, S. L. G. Modelos para análise da resistência ao esforço cortante de vigas de concreto armado. Rio de Janeiro. 106p. Dissertação (Mestrado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1998.

**Figura 8 - Custos totais de armadura obtidos usando os modelos I e II e diferença de custos totais de armadura entre os modelos II e I, para,  $K_{ce} = 1,1$**



**Figura 9 - Custos totais de armadura obtidos usando os modelos I e II e diferença de custos totais de armadura entre os modelos II e I, para,  $K_{ce} = 1,3$**





- [03] GARCIA, S. L. G., SHEHATA, I. A. E. M., SHEHATA, L. C. D. Volume de armaduras longitudinal e transversal em função dos ângulos da escora e do tirante transversal do modelo de treliça. Engenharia Estudo e Pesquisa, v 2, n 2, Juiz de Fora, EDUFJF, Jul/Dez, 1999.
- [04] SHEHATA, I. A. E. M., GARCIA, S. L. G., SHEHATA, L. C. D. Analysis of the Minimum Steel Consumption in Beams Subjected to Shear and Flexure Using the Truss Model. Proceedings of the Seventh East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction, Vol. 2, 1999, p.1115-1119.
- [05] SAVARIS, G., GARCIA, S. L. G. Determinação do Ângulo Ótimo da Escora e do Tirante para o Dimensionamento de Vigas Submetidas à Flexão Simples Usando as Prescrições da Norma NBR 6118:2003. Anais do 49º Congresso Brasileiro de Concreto, CD-ROM, 2007.
- [06] SCHLAICH, J., SCHÄTER, K, The Design of Structural Concrete. New Delhi, IABSE Workshop, 1993.