

## ESTADO LIMITE DE SERVIÇO DE ABERTURA DE FISSURAS EM SEÇÕES DE CONCRETO ARMADO SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES.

**Leggerini, Maria Regina Costa** - ([leggerini@portoweb.com.br](mailto:leggerini@portoweb.com.br))

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Departamento de Engenharia Civil  
Av. Ipiranga, 6681  
90619-190 - Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

**Campos Filho, Américo** - ([americo@ufrgs.br](mailto:americo@ufrgs.br))

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Brasil

**Resumo:** *Este trabalho apresenta um programa que tem por finalidade automatizar os procedimentos de verificação do estado limite de serviço de abertura das fissuras em seções retangulares e T de concreto armado, submetidas à flexão simples, conforme as recomendações da norma NBR 6118/2003 – Projeto de Estruturas de Concreto.*

*O programa foi implementado na linguagem de programação Microsoft Visual Basic, aproveitando os recursos fornecidos por esta linguagem, que propiciam o desenvolvimento de uma entrada de dados amigável, típica do ambiente Windows.*

*A fissuração, em elementos de concreto armado, ocorre quando as tensões de tração no concreto excedem a sua capacidade resistente. Nos elementos fissurados, as aberturas das fissuras devem ser controladas. Segundo as recomendações da norma, o valor característico da abertura das fissuras não deve ultrapassar determinados valores admissíveis.*

*No procedimento implementado, são determinadas as aberturas das fissuras considerando-se o conjunto de barras da armadura tracionada e a camada mais tracionada da armadura, com o propósito de estabelecer a situação mais desfavorável.*

*O programa além de agilizar a verificação do estado limite de serviço citado tem também a pretensão de auxiliar estudantes de engenharia na compreensão do fenômeno da fissuração, fornecendo valores de elementos que caracterizam o funcionamento da peça fletida.*

**Palavras chave:** *Concreto armado, Abertura de fissuras, Fissuração, Estado limite de serviço, Vigas.*

### 1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho é abordada a verificação do estado limite serviço de abertura de fissuras nas vigas de concreto armado, submetidas à flexão simples, de acordo com a NBR 6118.

Apresenta-se um programa, implementado na linguagem de programação Microsoft Visual Basic, que propicia a verificação automática deste estado limite de serviço, em seções retangulares e T de concreto armado.

Este programa também tem finalidade didática, pois pretende auxiliar o estudante de engenharia na compreensão e visualização do fenômeno físico estudado.

A fissuração em elementos estruturais de concreto armado é inevitável devido à baixa resistência do concreto à tração, e constitui-se em uma das maiores portas de entrada para agentes agressivos, capazes de desencadear a maioria de seus mecanismos de degradação.

## 2. MOMENTO DE FISSURAÇÃO, $M_r$

De acordo com item 17.3.4 da NBR 6118 a formação de fissuras pode ser verificada quando a máxima tensão de tração do concreto no Estádio I (comportamento elástico linear), atingir a resistência do concreto à tração na flexão ( $f_{ct,f}$ ), o que ocorre quando o momento de serviço atingir o momento de fissuração.

O momento de fissuração pode ser calculado usando-se a expressão do item 17.3.1 da NBR 6118:

$$M_r = \frac{\alpha \cdot f_{ct} \cdot J_0}{y_t} \quad (1)$$

onde:

$J_0$  - momento de inércia da seção bruta de concreto;

$y_t$  - distância da linha neutra à fibra mais tracionada da seção;

$f_{ct}$  - resistência direta do concreto à tração, que no caso do estado limite de formação de fissuras, e de acordo com o item 17.3.1 da NBR 6118, deve ser igualada à resistência característica inferior do concreto à tração  $f_{ctk,inf}$ .

$\alpha$  - é um parâmetro que transforma a resistência à tração direta em resistência à tração na flexão:

$$f_{ct,f} = \alpha f_{ctk,inf} \quad (2)$$

O valor da resistência característica inferior à tração  $f_{ctk,inf}$  é definido em função da resistência característica do concreto à compressão  $f_{ck}$  e de acordo com o item 8.2.5 da NBR 6118, e sendo  $f_{ctm}$  a resistência média à tração direta do concreto:

$$f_{ctm} = 0,3 f_{ck}^{2/3} \quad (3)$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7 f_{ctm} \quad (4)$$

$$f_{ctk,inf} = 0,21 f_{ck}^{2/3} \quad (5)$$

As expressões “3 e 4” devem ter como unidade o MPa e os valores de  $\alpha$  são definidos no item 17.3.1 da NBR 6118, de acordo com a tipologia da seção.

Conhecido o momento de fissuração  $M_r$ , é feita a comparação com o momento de serviço  $M_{d,ser}$  e determinada a possibilidade de fissuração da viga. No caso de haver a fissuração, deve ser controlada a sua abertura para que seja inferior a especificada no estado limite de abertura das fissuras.

## 3. ESTADO LIMITE DE ABERTURA DAS FISSURAS - ELS-W

Quando o valor da abertura das fissuras ultrapassar os limites estabelecidos para a utilização normal desta estrutura, atinge-se o estado limite de abertura das fissuras. A utilização normal aqui citada se refere à edificação servir para o seu uso previsto.

A abertura limite de fissuras é indicada na tabela 13.3 do item 13.4.2 da NBR 6118 e depende da classe de agressividade ambiental do meio.

Pode-se estabelecer limites de fissuração mais severos do que os indicados em norma, a critério do proprietário da obra, porém deve-se considerar um possível aumento significativo no custo da estrutura.

O item 17.3.3 da NBR 6118 define os critérios para a verificação do estado limite de abertura das fissuras em elementos estruturais lineares, analisados isoladamente e submetidos à combinação de ações frequentes, definidas no item 11 da NBR 6118 e analisados no item 4 deste trabalho.

Para cada elemento ou grupo de elementos de armaduras, que controlam a fissuração do elemento estrutural, deve ser considerada uma área  $A_{cr}$  do concreto de envolvimento, constituída por um retângulo cujos lados não distam mais de  $7\phi$  do contorno do elemento da armadura, onde  $\phi$  é o diâmetro do elemento ou do grupo de elementos em consideração.

Também é citada a conveniência de que toda a armadura de pele da viga, na sua zona tracionada, limite a abertura de fissuras em sua área de envolvimento correspondente  $A_{cr}$ .

O item 17.3.3.2 da NBR 6118 permite que nas vigas usuais, com altura menor do que 1,2 m, seja considerada atendida a condição de abertura de fissura em toda a pele tracionada, se a abertura de fissuras calculada na região das barras mais tracionadas for verificada, e se existir uma armadura lateral que atenda ao item 17.3.5.2.3 da NBR 6118.

A interpretação deste item considera suficiente a verificação da camada mais tracionada para as vigas usuais, mas não descarta a possibilidade de obtenção de resultados mais próximos dos exatos se for considerada toda a armadura tracionada da viga, ainda que seja mais laborioso. O programa computacional desenvolvido verifica as duas situações expostas, não limitando a altura das vigas em 1,20m.

A NBR 6118 teve sua publicação recente, de modo que as diversas interpretações que suscita ainda podem ser analisadas, e comparados os seus resultados, possibilitando uma visão mais consistente deste fenômeno.

De acordo com o item 17.3.3.2 a grandeza da abertura característica da fissura  $w_k$  determinada para cada parte da região de envolvimento, é o menor valor dentre os obtidos pelas expressões:

$$w_1 = \frac{\varphi_i}{12,5\eta_i} \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \frac{3\sigma_{si}}{f_{ctm}}$$

(6)

$$w_2 = \frac{\varphi_i}{12,5\eta_i} \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \left( \frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right)$$

(7)

Onde:

$\phi_i$  - diâmetro do elemento ou do conjunto de elementos tracionados em verificação;

$\eta_i$  - coeficiente de conformação superficial do elemento considerado e definido em 9.3.2.1 da NBR 6118 que, no caso da fissuração, é adotado como  $\eta_1$  para armaduras passivas.

$\sigma_{si}$  - tensão de serviço nos elementos verificados;

$\rho_{ri} = \frac{A_s}{A_{cr}}$  - taxa de área dos elementos em relação à área de concreto envolvente.

$A_s$  - área dos elementos considerados na verificação;

$A_{cr}$  - área de envolvimento de concreto destes elementos;

$E_{si}$  - módulo de elasticidade do aço em serviço com valor definido em 8.3.5 da NBR 6118 como 210 GPa;

$f_{ctm}$ - resistência média do concreto à tração direta, definida no item 8.2.5 da NBR 6118.

Também se especificam valores mínimos para as armaduras, para que sejam asseguradas as condições de ductilidade e seja respeitado o campo de validade dos ensaios, utilizados na prescrição do funcionamento do conjunto aço-concreto. Esta armadura tem por finalidade evitar a ruptura frágil das seções transversais, quando da formação da primeira fissura.

O risco e a evolução da corrosão do aço na região das fissuras de flexão dependem essencialmente da qualidade e da espessura do concreto de cobrimento desta armadura. O cobrimento mínimo da armadura é o menor valor que deve ser respeitado ao longo de todo o comprimento do elemento e se constitui num critério de aceitação.

#### 4. AÇÕES

Na análise estrutural deve ser considerada a influência de todas as ações que possam produzir efeitos significativos para a segurança da estrutura considerada, levando-se em conta os possíveis estados limites últimos e os de serviço.

No caso geral, os valores de cálculo das ações devem ser majorados pelo coeficiente  $\gamma_f$ , que é determinado por:

$$\gamma_f = \gamma_{f1} \gamma_{f2} \gamma_{f3} \quad (8)$$

onde:

$\gamma_{f1}$  considera a variabilidade das ações

$\gamma_{f2}$  considera a simultaneidade de atuação das ações

$\gamma_{f3}$  considera desvios gerados nas construções, não explicitamente considerados, e aproximações feitas em projetos sob o ponto de vista das solicitações.

Nos Estados Limites de Serviço, em geral o coeficiente de ponderação das ações é dado pela expressão:

$$\gamma_f = \gamma_{f2} \quad (9)$$

onde  $\gamma_{f2}$  tem valor variável conforme a verificação que se deseja fazer, tendo o valor igual à  $\psi_1$  para combinações freqüentes e  $\psi_2$  para combinações quase permanentes. Estes valores são definidos na tabela 11.2 da NBR 6118/2003.

Conforme item 11.8.1 da NBR 6118, um carregamento é definido pela combinação das ações que tem probabilidades não desprezíveis de atuarem simultaneamente sobre a estrutura, durante um período pré-estabelecido. Esta combinação deve ser feita de forma que possam ser determinados os efeitos mais desfavoráveis para a estrutura e a verificação da segurança em relação aos Estados Limites Últimos e de Serviço.

As combinações de serviço são classificadas de acordo com a sua permanência na estrutura em quase-permanentes, freqüentes e raras.

No caso de fissuras deverão ser consideradas as combinações freqüentes e raras, combinadas segundo o item 11.8.3.2 da NBR 6118.

$$F_{d,ser} = \sum F_{gik} + \psi_1 F_{q1k} + \sum \psi_{2j} F_{qjk} \quad (10)$$

O programa, desenvolvido neste trabalho, foi concebido para vigas componentes da estrutura de edifícios, residenciais ou comerciais, e foram levadas em consideração apenas as ações variáveis principais.

$$F_{d,ser} = \sum F_{gik} + \psi_1 F_{qik} \quad (11)$$

Na escolha dos dados de entrada deste programa para a verificação de fissuras, foi considerado que o valor dos momentos é proporcional ao valor de cálculo das ações para as combinações de serviço e portanto:

$$M_{d,ser} = M_{gik} + \psi_1 M_{qik} \quad (12)$$

onde :

$M_{S,d}$  - momento fletor solicitante de cálculo ou de serviço.

$M_{gik}$  - momento devido às cargas permanentes

$M_{qik}$  – Momento devido à ação variável principal.

Também foi considerado que nem sempre a maior probabilidade de fissuração ocorre nas seções de momento máximo, o que podemos exemplificar nas vigas contínuas, onde normalmente a seção de armadura varia ao longo do seu comprimento.

Verificação da fissuração normalmente se faz apenas em algumas seções escolhidas, a critério e sensibilidade do calculista, podendo-se verificar tantas quantas forem necessárias.

O bom senso, a análise, a prática e a sensibilidade podem ser fundamentais para a simplificação do problema.

## 5. PROGRAMA

### 5.1 Recomendações normativas

Para a verificação do estado limite de formação de fissuras determina-se o valor do momento de fissuração e este é comparado com o momento de serviço. Caso haja a possibilidade de fissuras determinamos a abertura característica das fissuras  $w_k$ . Este valor é definido como o menor dentre os calculados pelas expressões apresentadas no item 17.3.3.2 da NBR 6118.

O valor característico de abertura de fissuras deve ser menor do que a abertura admissível, estabelecido pela NBR 6118, em função da agressividade do meio ambiente.

É estabelecido que, para cada elemento ou grupo de elementos que controlam a fissuração da peça estrutural, a fissura deve ser verificada.

Também é estabelecido que nas vigas usuais, com altura menor do que 1,2 m, pode-se considerar atendida a condição de abertura de fissura em toda a pele tracionada, se a abertura na região das barras mais tracionadas for verificada e existir armadura de pele mínima.

Como não é indicado se este procedimento é uma aproximação ou se melhor representa o fenômeno físico estudado, o programa calcula levando em consideração as duas proposições.

- Utilização de toda a armadura tracionada.
- Utilização apenas da camada mais tracionada.

### 5.2. Entrada dos dados

A entrada de dados é feita já na tela principal do programa:



Figura 1 – Tela principal

A forma da seção transversal da viga, a ser verificada, deve ser selecionada dentre as que o programa disponibiliza e devem ser fornecidas as suas dimensões em centímetros.

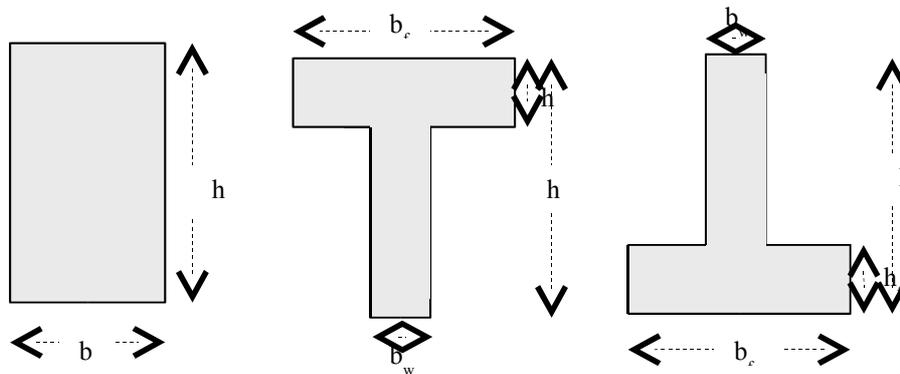


Figura 2 - Seções transversais disponíveis

Para realizar a verificação do estado limite de abertura de fissuras deve ser selecionado o valor característico da resistência do concreto à compressão  $f_{ck}$  pois na falta de ensaios específicos, a resistência à tração direta do concreto, com o seu valor médio ou característico, pode ser avaliada em função de sua resistência característica à compressão. Este é o procedimento do programa.

O uso da edificação deve ser selecionado, para que se adote um coeficiente de ponderação no cálculo da composição do momento de serviço. Este fator de ponderação é determinado em função do uso da edificação, e considera a possibilidade de ocorrência simultânea das cargas. Existe uma tecla de “AJUDA” com a transposição da tabela 11.2 da NBR 6118/2003 onde o coeficiente de ponderação a ser adotado está colocado em função do uso da edificação.

A agressividade ambiental deve ser conhecida, pois a partir desta indicação é feita a determinação da abertura de fissura permitida. Existe outra tecla de ‘AJUDA’ com a reprodução da tabela 6.1 da NBR 6118, que determina esta classificação.

O tipo de aço utilizado nos elementos verificados deve ser declarado pois determina a resistência de cálculo para as barras da armadura. Esta tensão é calculada minorando-se o valor característico da tensão de escoamento do aço adotado pelo coeficiente de ponderação da resistência do aço ( $\gamma_s$ ). O valor desta resistência é usado na comparação com a tensão de serviço desenvolvida no elemento verificado, e se for o caso, alertar ao usuário que esta tensão foi excedida.

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

(13)

Os valores característicos para a tensão de escoamento do aço são determinados segundo a NBR 7480 e o coeficiente de ponderação  $\gamma_s$ , determinado no item 12.4.1 da NBR 6118 é assumido como sendo 1,15.

A determinação do tipo de barra determina o coeficiente de conformação superficial  $\eta_i$  a ser utilizado. De acordo com o item 17.3.3.2 da NBR 6118, no caso da abertura de fissuras,  $\eta_i$  deve assumir o valor de  $\eta_1$  e é definido no item 9.3.2.1 desta norma.

O momento desenvolvido, devido às ações permanentes e variáveis principais devem ser declarados separadamente, para que possa ser composto o momento de serviço resultante, a ser verificado.

Todos os dados que não são fornecidos nesta tela assumem um valor padrão determinado pelo programa.

Os dados da armadura têm tela de entrada própria, que se disponibiliza ao acionarmos o comando “ARMADURA”.

O programa aceita seções com um máximo de 10 camadas de armadura.

Em cada linha devem ser indicadas as características de cada camada de armadura: número de barras da camada, diâmetro das barras e distância do centro de gravidade da camada a base da seção.

Uma camada deve ter apenas um valor para o diâmetro das barras, e este deve ser fornecido em milímetros. A distância do centro de gravidade da barra à base da seção deve ser fornecida em centímetros e é medida a partir da borda inferior da seção como indicado graficamente no programa.

A armadura é declarada e fica registrada em tela própria, passível de conferência. O programa não roda sem que a armadura seja declarada.

**Dados da armadura**

**ATENÇÃO:**  
 1. A entrada de dados deve seguir a ordem indicada pelo desenho  
 2. As armaduras de pele, caso estejam previstas, devem ser declaradas

**ARMADURA LONGITUDINAL**

	Nº de barras da camada	Diâmetro das barras (mm)	Ordenada da camada (cm)
Camada 1	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Camada 2	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Camada 3	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Camada 4	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Camada 5	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Camada 6	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Camada 7	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Camada 8	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Camada 9	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Camada 10	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

**DADOS GERAIS**

Número de camadas de armadura:

Diâmetro do estribo (mm):

Cobrimento da armadura (cm):

- Preenchimento de dados -

Diagrama de uma seção T com camadas de armadura. Uma seta laranja aponta para a 'Ordenada y(i)' de uma camada, com o rótulo 'Ordenada da camada de armadura'.

CONFIRMAR DADOS

Figura 3 Tela de entrada de dados da armadura

### 5.3 Etapas de cálculo

As propriedades geométricas da seção de concreto no estágio I, antes da fissuração, são calculadas considerando-se a seção transversal homogeneizada, composta por concreto e aço.

A homogeneização desta seção transversal é feita partindo do princípio que a deformação dos dois materiais é a mesma antes da fissuração. Neste caso, a relação entre as tensões desenvolvidas pelo aço e pelo concreto deve ser igual à relação entre o módulo de elasticidade do aço e do concreto. Esta relação foi simbolizada pela letra  $n$  e deve ser tomado igual a 15 para a verificação da abertura das fissuras de acordo com 17.3.3.2 da NBR 6118.

Com a descrição da armadura já fornecida, é determinada a distância do centro de gravidade da seção homogeneizada à sua borda superior ( $x$ ) e o seu momento de inércia em relação a um eixo horizontal que passe por este centro ( $J_B$ ). Este eixo é um dos eixos principais centrais de inércia da seção homogeneizada.

- Seção transversal retangular

$$x = \frac{\frac{bh^2}{2} + (n-1)(A'_s \cdot d' + A_s \cdot d)}{bh + (n-1)(A'_s + A_s)} \quad (14)$$

$$J_B = \frac{b \cdot h^3}{12} + bh \left(\frac{h}{2} - x\right)^2 + (n-1)A_s(d - x)^2 + (n-1)A'_s(x - d')^2 \quad (15)$$

- Seção transversal T

$$x = \frac{b_w \cdot (h - h_f) \left[ \frac{(h - h_f)}{2} + h_f \right] + \frac{b_f \cdot h_f^2}{2} + (n-1)(A_s \cdot d + A'_s \cdot d')}{b_w(h - h_f) + b_f \cdot h_f + (n-1)(A_s + A'_s)} \quad (16)$$

$$J_B = \frac{b_w(h - h_f)^3}{12} + b_w(h - h_f) \left( \frac{h - h_f}{2} + h_f - x \right)^2 + \frac{b_f h_f^3}{12} + b_f h_f \left( \frac{h_f}{2} - x \right)^2 + \quad (17)$$

O momento de fissuração, que delimita a separação entre estas duas fases, é calculado e é feita a comparação com o momento de serviço, já conhecido. É então verificada a possibilidade da seção fissurar. Se o momento de serviço for menor que o momento de fissuração, então a viga trabalha no estágio I, ou seja, não fissura. O programa manda mensagem indicativa desta situação. Neste caso as fissuras não se formam e são zeradas, a LN é indicada coincidente com eixo central e o momento de inércia da seção não varia.

O programa ainda calcula a tensão de serviço das barras de aço tracionadas, considerando toda a armadura e a camada mais tracionada. A verificação desta situação é então encerrada.

Apenas quando o momento de serviço ultrapassa o momento de fissuração é verificada a abertura da fissura característica da seção. Neste caso o programa dá continuidade ao procedimento de cálculo, com a chamada das sub-rotinas adequadas. Em cada sub-rotina indicada a seqüência de cálculos é a mesma. A partir do conhecimento do centro de gravidade da seção homogeneizada são separados os elementos que estão acima e abaixo do mesmo.

Para cada grupo de barras são determinados a área total e o centro de gravidade. Também são calculadas as grandezas  $d$  e  $d'$  que representam a distância do centro de gravidade das

áreas  $A_s$  (armadura abaixo do centro) e  $A_s'$  (armadura acima do centro) à borda superior da seção.

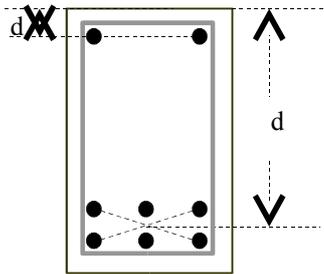


Figura 4 Determinação de  $d$  e  $d'$

A posição da linha neutra e o momento de inércia da seção no estágio II são calculados, sendo desprezada a zona de concreto tracionada, e partindo da condição de que o momento estático da seção homogeneizada de concreto em relação a este eixo é nulo. É determinada a distância da linha neutra à borda superior da viga, denominada de  $x$ .

O procedimento é diferenciado pela forma da seção, e exemplificado para o caso da seção ser retangular e solicitada a um momento fletor positivo, com seção ilustrada pela figura abaixo. A zona comprimida da seção está hachurada para uma melhor visualização:

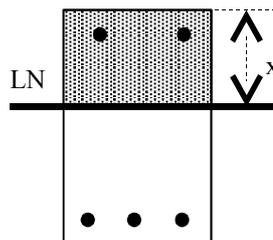


Figura 5 Seção retangular submetida a momento fletor positivo.

O momento estático da seção homogeneizada de concreto em relação à linha neutra deve ser nulo e desta equação, abaixo representada, se obtém o valor de  $x$ :

$$\frac{b \cdot x^2}{2} + (n - 1) \cdot A'_s (x - d') - n \cdot A_s (d - x) = 0 \quad (18)$$

Com a posição da linha neutra definida, são novamente determinadas as áreas de armadura  $A_s$  e  $A_s'$ , abaixo e acima da linha neutra, respectivamente, o diâmetro máximo de cada feixe de barras, a ordenada do centro de gravidade destas áreas e novos valores para  $d$  e  $d'$ . Também é determinado o momento de inércia da seção enfraquecida, desprezando-se a área de concreto tracionada. Este momento de inércia é calculado por:

$$J = \frac{bx^3}{3} + (n - 1) A'_s (x - d')^2 + n \cdot A_s (d - x)^2 \quad (19)$$

A tensão de serviço nas barras da armadura tracionada é também calculada:

$$\sigma_s = n \cdot \frac{M_{d,ser}}{J} (d - x) \quad (20)$$

Calculada a tensão de serviço das barras de aço o programa compara estes valores com o valor de cálculo da resistência do aço, determinado conforme o item 12.4.1 da NBR 6118.

Se for excedido este valor, em ambos os cálculos uma caixa de mensagem, com o aviso de tensão excessiva no aço, é ativada.

A área de envolvimento ou crítica, no método que considera toda a armadura tracionada, é calculada a partir das ordenadas das barras. São definidas as ordenadas limite superior e inferior da área de envolvimento, adicionando ou subtraindo 7,5 vezes o diâmetro, de acordo com item 17.3.3.2 da NBR 6118.

O limite superior é sempre comparado com a posição da linha neutra, para que não a ultrapasse. O limite inferior é zerado caso seja negativo, o que coincide com a ordenada da base da seção. Este valor também é limitado pela ordenada superior da camada imediatamente abaixo, para que a região não seja novamente computada. A diferença entre estes limites determina a altura da área de envolvimento para a camada considerada.

A largura desta área é feita a partir da comparação com a largura da base da viga onde está inserida a linha de barras da armadura. Considera-se uniforme a distribuição das barras ao longo do espaço limitado pelos estribos.

Se cada barra, acrescida de seu envolvimento lateral, exceder a largura da viga, considera-se que a área de envolvimento tem a mesma largura da viga. Caso contrário, o diâmetro das barras, acrescido de seu comprimento de envolvimento lateral, constitui-se na largura da área de envolvimento da camada de barras.

A área de envolvimento da cada camada é obtida pelo produto da altura obtida pela base respectiva. Ao percorrer as diversas camadas de armadura da zona tracionada, o valor acumulado se constitui na área de envolvimento  $A_{cr}$  das barras consideradas. O valor do maior diâmetro de barra também é determinado neste procedimento.

No método que considera apenas a camada de barras mais solicitadas, procedimento semelhante é adotado, mas com a consideração apenas desta camada de barras. Desconsideram-se as outras barras da armadura e a altura da área de envolvimento é obtida da base da seção da viga até a ordenada da primeira camada mais 7,5 vezes o diâmetro das barras. O cálculo da largura da base segue o modelo anterior. A figura 6 ilustra as áreas de envolvimento descritas.

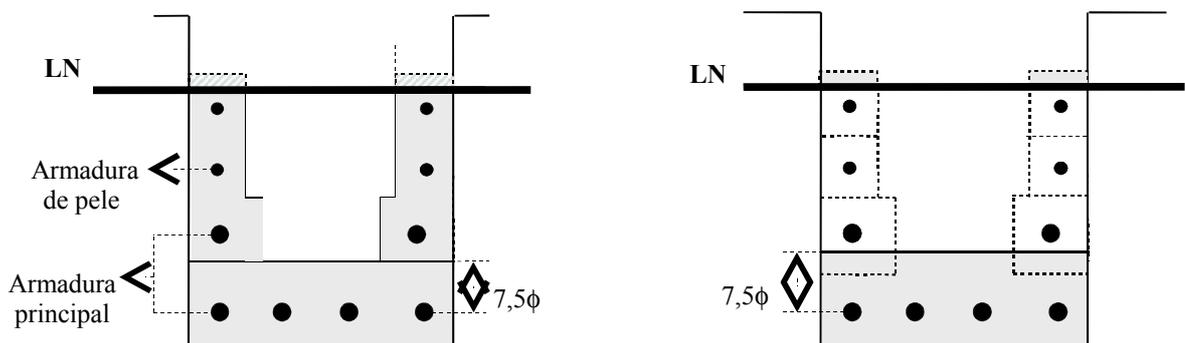


Figura 6 Concreto de envolvimento dos dois calculos citados

Para facilitar a construção do programa, as interpretações de cálculo foram feitas em sub rotinas separadas, e é calculado o valor de  $\rho_{fi}$  pela relação entre a área de armadura tracionada considerada e a área de envolvimento.

Os cálculos devem ser feitos apenas quando todos os dados estão declarados, bastando acionar o comando "VERIFICAR".

O valor da abertura característica das fissuras, calculada pelos dois métodos aparece no espaço inferior à direita da tela principal, e a comparação dos resultados obtidos com o permitido fica por conta do usuário.

Na tela principal ainda existe um botão de comando “SEÇÃO EM SERVIÇO” que, quando pressionado, disponibiliza uma tela com dados de cálculo intermediários que caracterizam o funcionamento da seção verificada.

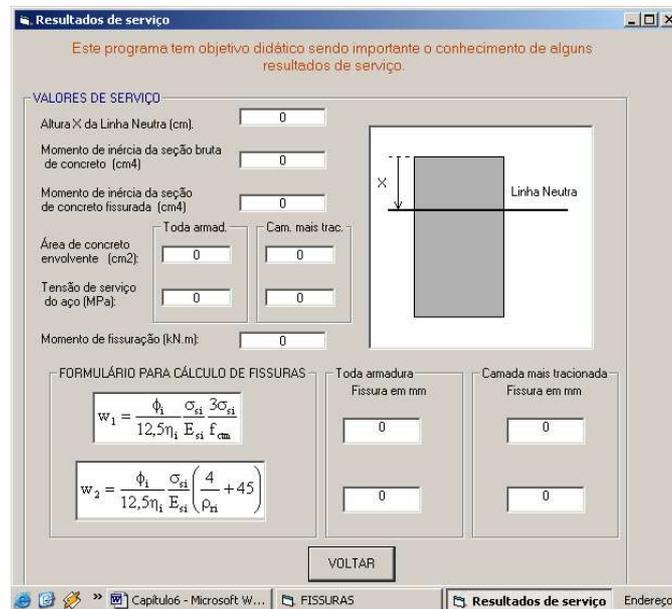


Figura 7. Tela com saída de resultados característicos da fissuração.

Os dados aqui fornecidos permitem ao usuário do programa avaliar mudanças e propor soluções, analisando integralmente o funcionamento do elemento verificado e criando sensibilidade em relação ao fenômeno físico estudado.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foi abordada a verificação do estado limite de serviço de abertura das fissuras em seções retangulares e T de concreto armado submetidas à flexão normal simples, adotando as prescrições da NBR 6118/2003.

Cabe salientar que o programa desenvolveu o procedimento para duas interpretações cabíveis do texto da NBR 6118, no que diz respeito à armadura a ser considerada na verificação. Numa primeira interpretação toda a armadura tracionada foi considerada e em seguida apenas a camada mais tracionada.

Ao ser considerada a camada de armadura mais tracionada foram obtidos, em todos os casos, valores para a abertura das fissuras maiores do que quando adotada toda a armadura. Em alguns exemplos valores consideravelmente maiores foram observados. Se por um lado esta consideração estaria a favor da segurança, por outro lado pode expressar uma exigência exagerada para a verificação das peças, o que seria contra toda a tendência atual de racionalização de custos.

No critério da camada mais tracionada, a área de envolvimento corresponde apenas a esta camada. Como as barras longitudinais de uma viga estão sempre muito próximas, muitas vezes são desconsideradas barras que estão dentro desta área de envolvimento, e deveriam, portanto, colaborar com a limitação da abertura das fissuras nesta região. Além disto a tensão desenvolvida por esta camada é a maior de toda a armadura. Estes fatores conjugados contribuem para a obtenção de valores maiores para a abertura de fissura calculada.

No critério que considera toda a armadura, o centro de gravidade da armadura tracionada está mais próximo da linha neutra e, portanto, desenvolve uma tensão de tração menor, o que diminui o valor da abertura da fissura calculado.

Deste trabalho e por meio de suas aplicações numéricas, pode-se concluir que os dois critérios de cálculo adotados não são equivalentes e nem aproximados.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

ARAÚJO, J.M. **Curso de concreto armado, 2.** Dunas, Rio Grande, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Barras e fios destinados a armaduras para concreto armado. **NBR 7480.** Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. **NBR 6120.** Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Projeto de Estruturas de concreto. **NBR 6118** Rio de Janeiro, 2003.

HALVORSON, M. **Microsoft Visual Basic 6.0 Professional.** Makron Books do Brasil. São Paulo, 1999.

PETROUTSOS, E. **Dominando o Visual Basic 5.** Makron Books do Brasil, São Paulo, 1998.

LEGGERINI, M.R.C. **Verificação do Estado Limite de Serviço de Abertura das Fissuras em Seções de Concreto Armado submetidas à Flexão Simples.** 2004. Dissertação de Mestrado Profissional em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Argamassa e concreto. Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral de Corpos de Prova Cilíndricos. **NBR 7222.** Rio de Janeiro, 1994.

***Abstract:** This work presents a computer program for cracking serviceability limit state analysis of rectangular and T reinforced concrete sections under normal bending, according to Brazilian Code NBR 6118/2003 provisions. This program was developed in Microsoft Visual Basic, using these language resources for a typical Windows application. In reinforced concrete elements cracks occur when concrete tension strength is exceeded. In this situation a cracking limit state analysis must be performed. According to these code specifications, crack width cannot exceed an admissible value. Crack widths are computed for the whole tension reinforcement and for the most tensioned layer, with the aim to establish the worst situation. Engineering students in learning cracking phenomenon can also use the program.*

***Key words:** reinforced concrete, crack width, cracking, serviceability limit, beams.*