

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**VERIFICAÇÃO DO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO DE ABERTURA
DAS FISSURAS EM SEÇÕES DE CONCRETO ARMADO
SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES**

Maria Regina Costa Leggerini

**Porto Alegre
Setembro 2003**

MARIA REGINA COSTA LEGGERINI

**VERIFICAÇÃO DO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO DE
ABERTURA DAS FISSURAS EM SEÇÕES DE CONCRETO
ARMADO SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil de Universidade Federal do Rio Grande do Sul
como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em
Engenharia.

Porto Alegre
Setembro, 2003

LEGGERINI, Maria Regina Costa

Título: Verificação do Estado Limite de Serviço de Abertura das Fissuras em Seções de Concreto Armado submetidas à Flexão Simples / Maria Regina Costa Leggerini. – Local: PPGEC/UFRGS, 2003.

n p. 92

Dissertação de Mestrado Profissionalizante, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; Mestre em Engenharia. Orientador: Américo Campos Filho.

Verificação do Estado Limite de Serviço de Abertura das Fissuras em Seções de Concreto Armado submetidas à Flexão Simples.

CCAA2

MARIA REGINA COSTA LEGGERINI

**VERIFICAÇÃO DO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO DE
ABERTURA DAS FISSURAS EM SEÇÕES DE CONCRETO ARMADO
SUBMETIDAS À FLEXÃO SIMPLES**

Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA – Modalidade Profissionalizante e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pela Banca Examinadora do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia

Prof. Américo Campos Filho

Dr. pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Orientador

Profa. Helena Beatriz Bettela Cybis

Coordenadora do Mestrado Profissionalizante em Engenharia

BANCA EXAMINADORA

Prof. Francisco de Paula Simões Lopes Gastal

Ph.D. pela North Carolina State University

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

Ph.D. pela University of Leeds

Prof. Mauro de Vasconcellos Real

Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos a todo apoio que me foi dispensado no decorrer deste período de estudo, imprescindível para a realização desta dissertação.

Agradeço ao Professor Américo Campos Filho a sua orientação. Seus ensinamentos, dedicação, paciência, colaboração e amizade foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UFRGS pelos ensinamentos, e aos funcionários pelo auxílio e colaboração.

Agradeço à Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul pelo incentivo e apoio que me dispensou permitindo-me a realização de um sonho, há muito desejado e por muito tempo adiado.

Agradeço ao meu marido e filhos a paciência e a compreensão nas horas dedicadas aos estudos.

Aos Professores, amigos e colegas Almir Schäffer e Mauren Aurich agradecimentos não bastariam para expressar minha gratidão em relação ao incentivo que me deram. Além dos ensinamentos, apoio, companheirismo e amizade, a certeza de contar com eles muito me fortaleceu.

Agradeço aos meus colegas da Pontifícia Universidade Católica pelo incentivo.

Agradeço à meus colegas do curso de pelo companheirismo e amizade.

RESUMO

LEGGERINI, M.R.C. Verificação do Estado Limite de Serviço de Abertura das Fissuras em Seções de Concreto Armado submetidas à Flexão Simples. 2003. Trabalho de Conclusão (Mestrado Profissionalizante em Engenharia Civil, Estruturas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

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 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.

ABSTRACT

LEGGERINI, M.R.C. Cracking Serviceability Limit State Analysis of Rectangular and T Reinforced Concrete Sections under Normal Bending. 2003. Trabalho de Conclusão (Mestrado Profissionalizante em Engenharia Civil, Estruturas) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

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.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	p.10
LISTA DE SÍMBOLOS	p.13
LISTA DE TABELAS	p.16
1 INTRODUÇÃO	p.17
1.1 ASPECTOS GERAIS	p.17
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	p.18
1.3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS	p.19
2 ESTADO LIMITE DE FORMAÇÃO DE FISSURAS	p.21
2.1. ASPECTOS GERAIS	p.21
2.2 MOMENTO DE FISSURAÇÃO – M_f	p.22
2.3 CRITÉRIO ADOTADO	p.24
3 ESTADO LIMITE DE ABERTURA DE FISSURAS	p.25
3.1 ASPECTOS GERAIS	p.25
3.2 ESTADO LIMITE DE ABERTURA DE FISSURAS – ELS-W	p.25
3.3 CÁLCULO DA ABERTURA CARACTERÍSTICA DA FISSURA	p.27
3.4 COBRIMENTO DA ARMADURA	p.30
4 AÇÕES	p.31
4.1 CONCEITUAÇÃO	p.31
4.1.1 Ações permanentes	p.31
4.1.2 Ações variáveis	p.32
4.1.3 Ações excepcionais	p.32
4.2 VALORES DAS AÇÕES	p.32
4.2.1 Valores característicos	p.32

4.2.2 Valores representativos	p.33
4.2.3 Valores de cálculo	p.33
4.3 COEFICIENTE DE PONDERAÇÃO DAS AÇÕES	p.33
4.4 COMBINAÇÃO DAS AÇÕES	p.35
4.4.1 Combinações de serviço	p.35
5 ETAPAS DE CÁLCULO	p.38
5.1 RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS	p.38
5.1.1 Estado limite de formação de fissuras	p.38
5.1.2 Estado limite de abertura de fissuras	p.38
5.2 ENTRADA DE DADOS	p.40
5.2.1 Forma e dimensões da seção transversal de concreto	p.40
5.2.2 Valor característico da resistência à compressão do concreto – f_{ck}	p.41
5.2.3 Descrição da armadura da seção	p.42
5.2.4 Momento de serviço	p.42
5.2.5 Uso da edificação	p.43
5.2.6 Agressividade ambiental	p.43
5.2.7 Tipo de aço da armadura	p.43
5.2.8 Tipo de barra de aço	p.44
5.3 ETAPAS DE CÁLCULO	p.44
5.3.1 Propriedades geométricas da seção de concreto no estágio I	p.44
5.3.1.1 Seção transversal retangular	p.45
5.3.1.2 Seção transversal T	p.45
5.3.2 Momento de fissuração	p.45
5.3.3 Verificação da situação da viga em relação à fissuração	p.46
5.3.4 Cálculo da área da seção dos feixes de barras e posição de seus baricentros	p.46
5.3.5 Posição da linha neutra, momento de inércia da seção no estágio II e tensão de serviço na armadura tracionada	p.47
5.3.5.1 Seção transversal retangular	p.47
5.3.5.2 Seção transversal T	p.49

5.3.6 Cálculo da área de envolvimento da armadura – A_{cr}	p.51
5.3.6.1 Com consideração de toda a armadura tracionada	p.51
5.3.6.2 Com consideração apenas da camada de armadura mais tracionada	p.53
5.3.7 Cálculo da abertura característica da fissura	p.56
5.4 FLUXOGRAMA DE CÁLCULO	p.57
6 UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA	p.58
6.1 INTRODUÇÃO	p.58
6.2 ENTRADA DE DADOS	p.58
6.2.1 Tela principal	p.59
6.2.1.1 Materiais adotados	p.59
6.2.1.2 Utilização e meio ambiente	p.60
6.2.1.3 Forma da seção	p.61
6.2.1.4 Solicitação de serviço	p.63
6.2.2 Tela da armadura	p.65
6.3 CÁLCULO E LEITURA DOS RESULTADOS	p.66
7 EXEMPLOS NUMÉRICOS	p.69
7.1 SEÇÃO RETANGULAR	p.69
7.1.1 Exemplo 1	p.69
7.1.2 Exemplo 2	p.71
7.1.3 Exemplo 3	p.73
7.1.4 Exemplo 4	p.75
7.1.5 Exemplo 5	p.77
7.1.6 Exemplo 6	p.79
7.2. SEÇÃO T	p.82
7.2.1 Exemplo 7	p.82
7.2.2 Exemplo 8	p.84
7.2.3 Exemplo 9	p.87

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	p.90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	p.92

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1:	Concreto de envolvimento da armadura.....	p. 28
Figura 5.1:	Seções transversais disponíveis com a indicação de suas dimensões....	p. 41
Figura 5.2:	Identificação das barras de armadura na entrada de dados.....	p. 42
Figura 5.3:	Determinação de d e d'	p. 47
Figura 5.4:	Seção retangular submetida a momento fletor positivo.....	p. 48
Figura 5.5:	Seção T submetida a momento fletor positivo e linha neutra interceptando a alma da peça.....	p. 49
Figura 5.6:	Seção T submetida a momento fletor positivo e linha neutra interceptando a mesa da peça.....	p. 50
Figura 5.7:	Concreto de envolvimento de toda a armadura tracionada.....	p. 52
Figura 5.8:	Concreto de envolvimento da camada de armadura mais tracionada....	p. 53
Figura 5.9:	Fluxograma de cálculo	p.57
Figura 6.1:	Tela principal.....	p. 59
Figura 6.2:	Tela de auxílio com transcrição da tabela 6.1 da NBR 6118.....	p. 60
Figura 6.3:	Tela de auxílio com transcrição da tabela 11.2 da NBR 6118.....	p. 61
Figura 6.4:	Tela principal com abertura de dados para seção retangular.....	p. 62
Figura 6.5:	Tela principal com abertura de dados para seção T.....	p. 62
Figura 6.6:	Tela principal com abertura de dados para seção T invertida.....	p. 63
Figura 6.7:	Tela principal com destaque para o momento de serviço resultante calculado.....	p. 64
Figura 6.8:	Dados da armadura de uma seção retangular.....	p. 65
Figura 6.9:	Tela de entrada de dados da armadura de uma seção T.....	p. 66
Figura 6.10:	Tela principal com indicação do local de saída dos resultados.....	p. 67
Figura 6.11:	Tela com saída dos resultados característicos da seção.....	p. 68
Figura 7.1:	Seção transversal do exemplo 1.....	p. 69
Figura 7.2:	Tela principal do exemplo 1.....	p. 70

Figura 7.3:	Tela da armadura do exemplo 1.....	p. 70
Figura 7.4:	Tela com resultados de serviço do exemplo 1	p. 71
Figura 7.5:	Tela principal com dados do exemplo 2.....	p. 72
Figura 7.6:	Tela com resultados de serviço do exemplo 2	p. 72
Figura 7.7:	Tela principal do exemplo 3 com primeira mensagem	p. 73
Figura 7.8:	Tela principal do exemplo 3 com segunda mensagem	p. 74
Figura 7.9:	Tela com resultados de serviço do exemplo 3.....	p. 74
Figura 7.10:	(a) Seção transversal do exemplo 4 - (b) Seção transversal do exemplo 1.....	p. 75
Figura 7.11:	Tela principal do exemplo 4	p. 75
Figura 7.12:	Tela da armadura do exemplo 4	p. 76
Figura 7.13:	Tela com resultados de serviço do exemplo 4	p. 76
Figura 7.14:	Seção transversal do exemplo 5	p. 77
Figura 7.15:	Tela principal do exemplo 5	p. 78
Figura 7.16:	Tela da armadura do exemplo 5	p. 78
Figura 7.17:	Tela com resultados de serviço do exemplo 5	p. 79
Figura 7.18:	(a) Seção transversal do exemplo 5 - (b) Seção transversal do exemplo 6	p. 80
Figura 7.19:	Tela principal do exemplo 6	p. 80
Figura 7.20:	Tela da armadura do exemplo 6	p. 81
Figura 7.21:	Tela com resultados de serviço do exemplo 6	p. 81
Figura 7.22:	Seção transversal do exemplo 7	p. 82
Figura 7.23:	Tela principal do exemplo 7	p. 83
Figura 7.24:	Tela da armadura do exemplo 7	p. 83
Figura 7.25:	Tela com resultados de serviço do exemplo 7	p. 84
Figura 7.26:	Seção transversal do exemplo 8	p. 85
Figura 7.27:	Tela principal do exemplo 8	p. 85
Figura 7.28:	Tela da armadura do exemplo 8	p. 86

Figura 7.29	Tela com resultados de serviço do exemplo 8	p. 86
Figura 7.30	Seção transversal do exemplo 9	p. 87
Figura 7.31	Tela principal do exemplo 9	p. 88
Figura 7.32	Tela da armadura do exemplo 9	p. 88
Figura 7.33	Tela com resultados de serviço do exemplo 9.....	p. 89

LISTA DE SÍMBOLOS

Letras minúsculas

- b - Largura da seção retangular
- b_f - Largura da mesa de uma seção T
- b_w - Largura da alma de uma seção T
- c - Cobrimento
- $c_{\text{mín}}$ - Cobrimento mínimo
- d - Altura útil da viga
- d' - Distancia do centro de gravidade da armadura superior à borda superior da seção
- f_{ct} - Resistência do concreto a tração direta
- f_{ck} - Resistência característica do concreto à compressão
- $f_{ct,f}$ - Resistência do concreto à tração na flexão
- f_{ctm} - Resistência do concreto à tração média
- $f_{ctk,inf}$ - Resistência característica inferior do concreto à tração
- $f_{ctk,sup}$ - Resistência característica superior do concreto à tração
- f_y - Tensão admitida para as barras de aço
- f_{yk} - Tensão característica de escoamento do aço
- h - Altura da seção transversal
- h_f - Altura da mesa de uma seção T
- y_G - Distancia do centro de gravidade da seção de concreto em relação a sua base
- y_t - Distancia da linha neutra a fibra mais tracionada
- i - Contador
- n - Relação entre os módulos de elasticidade longitudinal do aço e do concreto
- x - Distancia da linha neutra à borda superior da seção
- w - Abertura de fissura

w_k - Abertura característica da fissura

w_p - Abertura de fissura permitida

Letras maiúsculas:

A_{cr} - Área de envolvimento de concreto

A_s - Área da armadura de aço abaixo do centro de gravidade ou da linha neutra da seção

A_s' - Área da armadura de aço acima do centro de gravidade ou da linha neutra da seção

E_s - Módulo de elasticidade longitudinal do aço

F_d - Valor da ação de serviço

$F_{g,k,inf}$ - Valor da ação característica inferior devida a cargas permanentes

$F_{g,k,sup}$ - Valor da ação característica superior devida a cargas permanentes

F_k - Valor da ação característica

$F_{q,k}$ - Valor da ação característica devida a cargas acidentais

J - Momento de inércia da seção de concreto já fissurada em relação a linha neutra

J_o - Momento de inércia da seção de concreto em relação a seu eixo baricentrico horizontal

M - Momento fletor

$M_{d, ser}$ - Momento fletor de serviço

M_{gik} - Momento devido às cargas permanentes

M_{qik} - Momento devido à ação variável principal

M_r - Momento de fissuração

Letras gregas :

- ? - Fator que correlaciona aproximadamente a resistência à tração na flexão com a resistência à tração direta
- ?_c - Tolerância na variação de cobrimento
- ? - Diâmetro da barra de armadura
- ?_f - Coeficiente de ponderação das ações
- ?_{f1} - Coeficiente de ponderação que considera a variabilidade das ações
- ?_{f2} - Coeficiente de ponderação que considera simultaneidade da atuação das ações
- ?_{f3} - Coeficiente de ponderação que considera desvios de execução e aproximações de cálculos na consideração das ações
- ?_s - Coeficiente de ponderação da resistência do aço
- ?₁ - Coeficiente de ponderação das ações nos estados limites de serviço para combinação freqüentes de cargas
- ?₂ - Coeficiente de ponderação das ações nos estados limites de serviço para combinação quase permanentes de cargas
- ?₁ - Coeficiente de conformação superficial da barra de aço
- ?_r - Taxa que relaciona a área do aço com sua área de concreto envolvente
- ?_s - Tensão no aço

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1:	Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e a proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental.....	p. 26
Tabela 3.2:	Relação entre γ_1 e γ_b	p. 29
Tabela 4.1:	Valores do coeficiente γ_{f2}	p. 34
Tabela 4.2:	Combinações de serviço.....	p. 36
Tabela 5.1:	Classes de agressividade ambiental.....	p. 39
Tabela 5.2:	Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e a proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental.....	p. 39

1 INTRODUÇÃO

1.1 ASPECTOS GERAIS

Durante muito tempo, as estruturas foram projetadas e construídas apenas com base em critérios econômicos e de desempenho mecânico. Isto originou o desenvolvimento de uma série de problemas de uso, acarretando sérias implicações de ordem técnica e sócio-econômicas.

O estudo destes problemas tornou-se relevante a partir da década de 80, em função da constatação de que na Europa os custos que envolviam manutenções periódicas e reparos eventuais em uma estrutura, andavam em torno de 40% dos recursos investidos na área da construção.

A partir daí, foi dado um enfoque mais abrangente nos custos de uma construção, considerando-se não só o investimento inicial, mas também os decorrentes destas ações de recuperação e manutenção das estruturas, ao longo de sua vida útil.

Isto forçou os engenheiros a uma mudança de postura, desenvolvendo uma maior atenção com a questão da durabilidade.

Esta mudança foi impulsionada pelas filosofias de qualidade difundidas na década de 90, onde é avaliado o desempenho como fator de satisfação de clientes e a ausência de defeitos como fator de redução de custos.

É necessário que, ao se conceber e executar uma estrutura, seja garantido que será atingida a sua vida útil prevista.

Silva Filho (1999) define durabilidade como a capacidade de um produto de satisfazer, durante um período de tempo previsto na sua concepção, às exigências a ele impostas, sejam estas de origem técnica ou subjetiva (satisfação do usuário), quando exposto a um ambiente previamente determinado e submetido a uma certa intensidade de uso definida como normal.

Nas estruturas, percebe-se que durabilidade é uma característica dinâmica e que ações de recuperação e reparos devem ser previstas desde a concepção até o início físico de sua utilização.

Todos estes fatores combinados definem a vida útil de uma estrutura, que pode ser estendida com a restauração periódica de seu desempenho.

O concreto, como qualquer material, sofre processos de envelhecimento, mas nas últimas décadas, a deterioração do concreto, em muitos casos, tem sido muito rápida.

Historicamente, as normas que regulam e orientam as atividades de projeto e construção destas estruturas, têm enfoque voltado para critérios que garantem a sua estabilidade, baseados na resistência do concreto.

A partir da década de 70, algumas normas passaram a incorporar conceitos de durabilidade, como por exemplo, as normas da comunidade européia, que passaram a exigir testes de durabilidade com ensaios de penetração de água e testes de qualidade.

Alguns aspectos que contemplam estes novos e necessários critérios já começam a aparecer na norma brasileira para projeto de estruturas de concreto (NBR 6118/2003 – ABNT).

1.2 OBJETIVO DO TRABALHO

Este trabalho tem por objetivo a implementação de um programa para a verificação do estado limite de abertura de fissuras em seções retangulares e T, submetidas à flexão reta, em vigas de concreto armado.

Foi adotado que estas vigas estão submetidas a cargas peso, considerando-se que o traço do plano de solicitações coincide com o eixo baricêntrico vertical, que é principal central de inércia, já que as seções têm eixo de simetria.

Além de automatizar o cálculo do estado limite de abertura de fissuras, o programa fornece também alguns valores de cálculo que caracterizam o funcionamento da peça.

O conhecimento destes valores de forma expedita permite ao usuário do programa analisar e propor alterações possíveis de projeto, quantificando o efeito destas mudanças quando da verificação das fissuras.

Este programa também tem objetivo pedagógico, pretendendo auxiliar estudantes de engenharia na aprendizagem do fenômeno.

Adotou-se o Visual Basic como linguagem de programação pelos recursos disponíveis, que propiciam uma entrada de dados amigável, típica do ambiente Windows.

Todos os procedimentos de cálculo seguir9am rigorosamente a NBR 6118, norma que regulamenta os projetos de estrutura de concreto, publicada em março de 2003.

1.3 FUNDAMENTO TEÓRICO

De acordo com a NBR 6118, em uma análise estrutural devem ser consideradas todas as ações que provoquem efeitos significativos na segurança ou utilização da estrutura em questão, levando-se em conta os possíveis estados limites últimos e os estados limites de serviço.

Por estado limite último se entende o estudo do esgotamento da capacidade resistente da estrutura como um todo ou de suas partes, comprometendo sua estabilidade.

Estados limites de serviço estão relacionados à durabilidade, aparência, conforto e boa utilização funcional de usuários e equipamentos.

A segurança das estruturas de concreto armado exige a verificação dos seguintes estados limites de serviço:

- ? Estado limite de abertura das fissuras
- ? Estado limite de deformações excessivas
- ? Estado limite de vibrações excessivas

A fissuração em elementos de concreto armado ocorre quando as tensões de tração no concreto excedem a sua capacidade resistente.

As fissuras são a maior porta de entrada para agentes que provocam a degradação das estruturas de concreto.

Na realidade causas físicas e químicas de deterioração estão entrelaçadas e reforçam-se mutuamente, ficando quase impossível a sua separação e o estabelecimento de quem é causa ou efeito.

As causas da fissuração são diversas, e podem ser originadas por procedimentos inadequados na concepção e cálculo da estrutura, bem como em sua execução.

Neste trabalho abordaremos a fissuração como consequência das tensões desenvolvidas em uma viga de concreto armado, solicitada à flexão.

2 ESTADO LIMITE DE FORMAÇÃO DE FISSURAS – ELS-F

2.1 ASPECTOS GERAIS

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.

Mesmo sob as ações de serviço (utilização), valores críticos de tensões de tração são atingidos, provocando a fissuração.

A formação de fissuras transversais à armadura principal em elementos lineares é típica da flexão.

De acordo com a NBR 6118, item 3.2.2, admite-se que o estado limite de formação de fissuras é atingido quando a tensão de tração máxima na seção transversal for igual a resistência do concreto à tração na flexão $f_{ct,f}$.

Nos estados limites de serviço as estruturas trabalham parcialmente no Estádio I e parcialmente no Estádio II.

A separação entre esses dois estados, em uma peça fletida, é definida pelo momento de fissuração.

2.2 MOMENTO DE FISSURAÇÃO - M_r

De acordo com item 17.3.4 da NBR 6118 a formação de fissuras pode ser verificada calculando-se a máxima tensão de tração do concreto no Estádio I, onde o concreto ainda não é fissurado e os materiais apresentam comportamento elástico linear.

Para o cálculo deste momento, usamos conceitos de Resistência dos Materiais relativos à flexão reta:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M}{J_o} y_t \quad (2.1)$$

$$\sigma_{\text{máx}} = \sigma_{\text{adm}} \quad (2.2)$$

Onde:

J_o - momento de inércia da seção bruta de concreto;

y_t - distância do centro de gravidade à fibra mais tracionada da seção;

$\sigma_{\text{máx}}$ - tensão máxima de tração desenvolvida;

σ_{adm} - tensão resistente do concreto à tração na flexão ($f_{ct,f}$).

No caso limite, quando a tensão normal máxima desenvolvida atingir a tensão normal admitida para o concreto na flexão ($f_{ct,f}$), inicia-se a fissuração e o momento fletor correspondente é o chamado de momento de fissuração M_r .

O momento de fissuração pode ser calculado usando-se a expressão:

$$M_r = \frac{f_{ct,f} \cdot J_o}{y_t} \quad (2.3)$$

A expressão acima é a particularização da forma geral do item 17.3.1 da NBR 6118:

$$M_r = \frac{\sigma_{ct} \cdot J_o}{y_t} \quad (2.4)$$

onde

$$f_{ct,f} = \eta f_{ct} \quad (2.5)$$

sendo f_{ct} a 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 $f_{ctk,inf}$.

$$f_{ct,f} = \eta f_{ctk,inf} \quad (2.6)$$

O valor da resistência característica inferior à tração $f_{ctk,inf}$ é definido em função da resistência característica do concreto à compressão f_{ck} , sendo admitido como o valor que tem apenas 5% de probabilidade de não ser atingido pelos elementos de um dado lote de material.

De acordo com o item 8.2.5 da NBR 6118, e sendo f_{ctm} a resistência média à tração direta do concreto:

$$f_{ctm} = 0,3f_{ck}^{2/3} \quad (2.7)$$

$$f_{ctk,inf} = 0,7f_{ctm} \quad (2.8)$$

ficando então:

$$f_{ctk,inf} = 0,21f_{ck}^{2/3} \quad (2.9)$$

Os valores de η são definidos no item 17.3.1 da NBR 6118 de acordo com a tipologia da seção e quando substituídos nos levam a:

$$\eta = f_{ct,f} = 1,2 f_{ctk,inf} \quad \text{para elementos estruturais de seções T ou duplo T}$$

$$\eta = f_{ct,f} = 1,5 f_{ctk,inf} \quad \text{para elementos estruturais de seção retangular.}$$

Particularizando a expressão para uma seção retangular onde:

$$J_o = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (2.10)$$

e

$$y_t \leq \frac{h}{2} \quad (2.11)$$

a expressão (2.4) fica:

$$M_r \leq 0,25 \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{ctk,inf} \quad (2.12)$$

Para a seção transversal T a particularização não foi feita, pois não leva à simplificação significativa.

2.3 CRITÉRIO ADOTADO

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.

$M_{d,ser} \leq M_r$? Viga não fissura

$M_{d,ser} > M_r$? Viga fissura, e devemos controlar a abertura destas fissuras.

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

3.1. ASPECTOS GERAIS

No caso do momento de serviço da seção ser maior do que o momento de fissuração, a fissura se forma, e sua abertura deve ser controlada.

O valor da abertura das fissuras pode sofrer a influência de impedimento nas variações volumétricas, difíceis de serem avaliados de forma suficientemente precisa. A abertura de fissuras também sofre a influência de aspectos relacionados com a sua execução. Por essas razões os critérios adotados em norma devem ser encarados como avaliações aceitáveis do comportamento geral do elemento, não garantindo precisão do valor da abertura de uma fissura específica.

3.2. ESTADO LIMITE DE ABERTURA DE 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, o que será abordado a seguir, respeitando-se as indicações de norma.

A tabela 13.3 da NBR 6118 foi transcrita apenas no que diz respeito ao concreto armado, objeto deste trabalho (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e a proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA)	Exigências relativas à fissuração	Combinações de ações em serviço a utilizar
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação freqüente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	

Fonte: NBR 6118/2003 – transcrição parcial da tabela 13.3

O controle da fissuração visa obter um bom desempenho da estrutura, prevenindo a corrosão de armaduras e propiciando a aceitação sensorial dos usuários.

Por controle de fissuração quanto à aceitabilidade sensorial, entende-se a situação em que as fissuras possam causar desconforto psicológico aos usuários embora não representem perda de segurança da estrutura.

Cabe observar que este critério subjetivo, também foi quantificado para servir como referência.

De maneira geral a presença de fissuras com aberturas que respeitem os limites dados no item 13.4.2 da NBR 6118, em estruturas bem projetadas, construídas e submetidas às cargas previstas na normalização, não denotam perda de durabilidade ou perda de segurança quanto aos seus estados limites últimos.

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.

Em condições de exposição adversas podem ser tomadas medidas especiais de proteção e conservação do tipo:

- ? Aplicação de revestimentos hidrofugantes
- ? Pinturas impermeabilizantes
- ? Revestimentos de argamassas ou cerâmicas

- ? Galvanização de armaduras
- ? Proteção catódica
- ? Outros

Além disto devem ser criados e definidos procedimentos de revisão e manutenção periódicas da estrutura, para que se atinja a durabilidade esperada.

3.3 CÁLCULO DA ABERTURA CARACTERÍSTICA DA FISSURA

O item 17.3.3 da NBR 6118 define os critérios para a verificação dos valores definidos no item 13.4.2 da mesma norma, que delimita a abertura das fissuras em elementos estruturais lineares, analisados isoladamente e submetidos à combinação de ações freqüentes, conforme item 11 da NBR 6118 e analisados no capítulo 4 desta dissertação.

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 7ϕ do contorno do elemento da armadura, onde ϕ 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} , devendo, portanto, ser mantido um afastamento menor ou igual a 15ϕ entre suas barras.

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, que 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.

Para tornar este trabalho mais abrangente, o programa 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 seus resultados, possibilitando uma visão mais consistente deste fenômeno.

A figura 1 ilustra a área de envolvimento de um conjunto de elementos e de um elemento isolado.

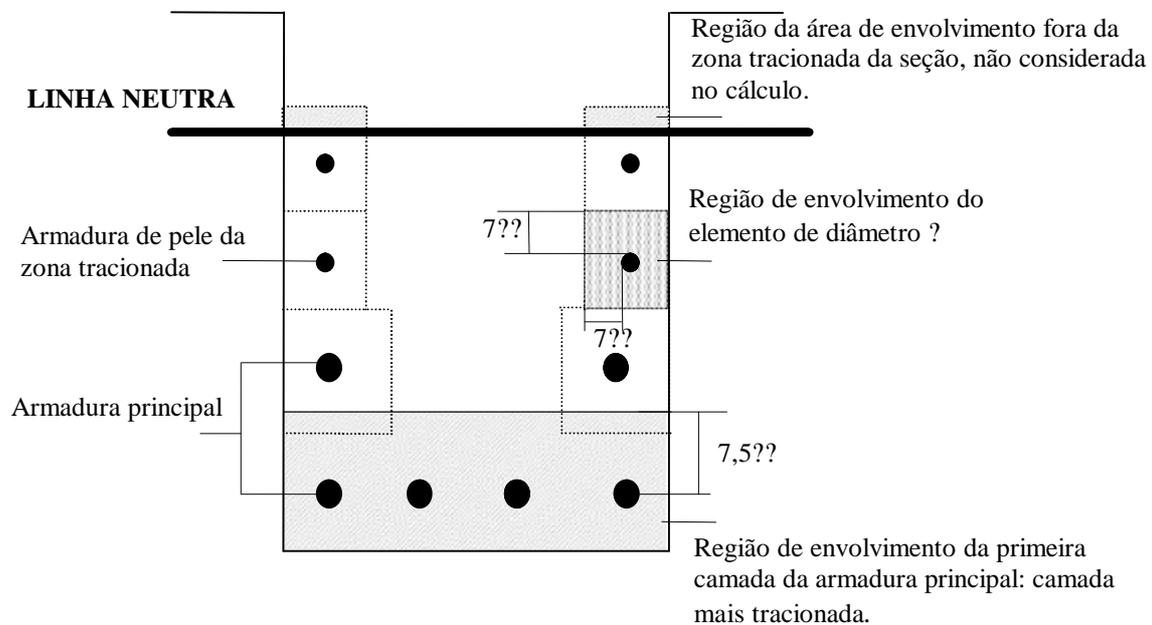


Figura 3.1 Concreto de envolvimento da armadura (baseada na figura 17.3 da NBR 6118)

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:

$$w_1 = \frac{\sigma_i}{12,5} \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \frac{3\sigma_{si}}{f_{ctm}} \quad (3.1)$$

$$w_2 = \frac{\sigma_i}{12,5} \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \frac{4}{\sigma_{ri}} \frac{1}{45} \quad (3.2)$$

Onde:

ϕ_i - diâmetro do elemento ou do conjunto de elementos tracionados em verificação;

ϕ_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 ϕ_1 para armaduras passivas;

Tabela 3.2 Relação entre ϕ_1 e ϕ_b

Tipo de barra	Coeficiente de conformação superficial	
	ϕ_b	ϕ_1
Lisa	1,0	1,0
Dentada	1,2	1,4
Alta aderência	$\geq 1,5$	2,25

Fonte : Tabela 8.2 da NBR 6118

σ_{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.

O item 17.3.5.1 da NBR 6118 estabelece, ainda, que estas armaduras devam atender a um momento mínimo, correspondente ao que produziria a ruptura de uma seção de concreto simples, supondo a resistência à tração do concreto dada por

$$f_{ctk,sup} \geq 1,3.f_{ctm} \quad (3.3)$$

Esta armadura tem por finalidade evitar a ruptura frágil das seções transversais, quando da formação da primeira fissura.

3.4 COBRIMENTO DA ARMADURA

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.

O projeto e a execução devem considerar o cobrimento nominal, que é o cobrimento mínimo ($c_{\text{mín}}$) acrescido da tolerância de execução ($? c$).

Neste trabalho a citação ao cobrimento se dá porque é um dado que deve ser fornecido.

A participação deste valor no procedimento de verificação da abertura das fissuras está no cálculo da área envolvente de concreto, quando da determinação de sua largura. Pelo fato das coordenadas horizontais da barra não serem fornecidas neste programa, ou mesmo especificadas em projeto, admite-se que as barras são distribuídas ao longo do espaço disponibilizado pelos estribos, de maneira uniforme, descontado o cobrimento e o diâmetro dos estribos.

4 AÇÕES

4.1 CONCEITUAÇÃO

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.

De acordo com a NBR 6118, item 11.2.2, as ações a serem consideradas no cálculo das estruturas de concreto armado são classificadas em permanentes, variáveis e excepcionais.

4.1.1 Ações permanentes

As ações permanentes são valores praticamente constantes durante a vida da construção ou ações que crescem até um valor limite constante. Estas cargas devem ser consideradas com seus valores representativos mais desfavoráveis.

As ações permanentes ainda são distinguidas em diretas ou indiretas.

De acordo com o item 11.3.2 da NBR 6118 são ações diretas e permanentes o peso próprio da estrutura (avaliado de acordo com as dimensões previstas), peso dos elementos construtivos (NBR 6120), empuxos e peso das instalações permanentes. No caso dos maquinários, este peso é obtido de catálogos de fornecedores.

São ações permanentes indiretas (item 11.3.3-NBR 6118) aquelas impostas pelas deformações de retração, fluência, deslocamentos de apoio, efeitos da protensão, imperfeições geométricas, etc.

4.1.2 Ações variáveis

As ações variáveis não são constantes ao longo da vida da estrutura, podendo ou não atuar. São classificadas em diretas e indiretas.

As ações variáveis diretas se constituem nas cargas acidentais previstas para o uso da construção, vento, chuva, e outras, sendo alguma delas objeto de normas específicas. Estas ações devem ser dispostas nas suas posições mais desfavoráveis.

As ações variáveis indiretas são impostas pela variação de temperatura considerada uniforme ou não (item 11.4.2 – NBR 6118) ou por ações dinâmicas, o que é o caso das construções sujeitas a choques ou vibrações. Neste caso, além da consideração de seu efeito, também deve ser verificada a fadiga.

4.1.3 Ações excepcionais

São consideradas situações excepcionais de carregamento, aquelas cujos efeitos não possam ser controlados. Nesta situação, a avaliação das ações deverá ser feita, em cada caso particular, por norma específica.

4.2 VALORES DAS AÇÕES

As ações são definidas, segundo item 11.6. da NBR 6118, e descritas a seguir:

4.2.1. Valores Característicos

Os valores característicos das ações (F_k) são estabelecidos em função da variabilidade de suas intensidades.

Para as ações permanentes que produzam efeitos desfavoráveis na estrutura ($F_{gk,sup}$), o valor característico corresponde a 95% da respectiva distribuição normal de probabilidade, enquanto que para as cargas permanentes com efeito favorável ($F_{gk,inf}$), 5% da respectiva distribuição normal.

Para as ações com baixa variabilidade, diferindo muito pouco entre si os valores característicos inferior e superior, adotam-se como característicos, os valores médios das respectivas distribuições de probabilidade.

As ações variáveis têm valor característico (F_{qk}) estabelecido por consenso. A probabilidade de serem ultrapassadas desfavoravelmente em 50 anos assumida como sendo de 25 a 35%. Estes valores são definidos, em geral, em normas específicas, como a NBR 6120.

4.2.2. Valores representativos

De acordo com item 11.6.2 da NBR 6118, nas verificações de estados limites de serviço adotam-se valores reduzidos. Estes valores são determinados a partir dos valores característicos pelas expressões $\gamma_1 \cdot F_1$ e $\gamma_2 \cdot F_2$, que estimam valores freqüentes e quase permanentes, respectivamente, de uma ação que acompanha a ação principal.

4.2.3. Valores de Cálculo

Os valores de cálculo das ações F_d são obtidos a partir dos valores representativos, multiplicando-os pelos respectivos coeficientes de ponderação γ_f definidos em 4.3.

4.3. COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO DAS AÇÕES

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

$$\gamma_f = \gamma_{f1} \gamma_{f2} \gamma_{f3} \quad (4.1)$$

onde:

γ_{f1} considera a variabilidade das ações

γ_{f2} considera a simultaneidade de atuação das ações

γ_{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:

$$\gamma_f \gamma_{f2} \quad (4.2)$$

onde γ_{f2} tem valor variável conforme a verificação que se deseja fazer.

- $\gamma_{f2} = 1$ para combinações raras;
- $\gamma_{f2} = \gamma_1$ para combinações freqüentes;
- $\gamma_{f2} = \gamma_2$ para combinações quase permanentes.

Os valores de γ_1 e γ_2 são definidos na tabela 4.1:

Tabela 4.1 Valores do coeficiente γ_{f2}

Ações		γ_{f2}		
		γ_0	γ_1 (1)	γ_2
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo ou de elevada concentração de pessoas (2).	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo ou de elevada concentração de pessoas (3).	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
(1) Para os valores de γ_1 relativos às pontes e principalmente aos problemas de fadiga, ver seção 23. (2) Edifícios residenciais. (3) Edifícios comerciais e de escritórios.				

Fonte: Tabela 11.2 da NBR 6118/2003

4.4. COMBINAÇÃO DAS AÇÕES

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.

4.4.1. Combinações de serviço

As combinações de serviço são classificadas de acordo com a sua permanência na estrutura como a seguir:

- ? Quase- permanentes: podem atuar durante grande parte do período de vida da estrutura e sua consideração pode ser necessária na verificação do estado limite de deformação excessiva.
- ? Frequentes: se repetem muitas vezes durante o período de vida da estrutura e sua consideração pode ser necessária na verificação dos estados limites de formação de fissuras, de abertura de fissuras e de vibrações excessivas. Podem também ser consideradas para verificação de estados limites de deformações decorrentes de vento ou temperatura que podem comprometer as vedações.
- ? Raras: ocorrem algumas vezes durante o período de vida da estrutura e sua consideração pode ser necessária no Estado Limite de Formação de Fissuras.

No caso de fissuras deverão ser consideradas as combinações frequentes e raras.

O item 11.8.3.2 da NBR 6118 estabelece as combinações de serviço usuais dispostas na tabela 4.2.

Tabela 4.2 Combinações de serviço

Combinações de serviço (ELS)	Descrição	Cálculo das solicitações
Combinações quase permanentes de serviço (CQP)	Nas combinações quase permanentes de serviço, todas as ações variáveis são consideradas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{q,k}$	$F_{d,ser} = \psi_2 F_{gik} + \psi_2 \sum_j F_{qj,k}$
Combinações frequentes de serviço (CF)	Nas combinações frequentes de serviço, a ação variável principal F_{q1} é tomada com seu valor frequente $\psi_1 F_{q1,k}$ e todas as demais ações variáveis são tomadas com seus valores quase permanentes $\psi_2 F_{qk}$	$F_{d,ser} = \psi_1 F_{gik} + \psi_1 F_{q1k} + \psi_2 \sum_j F_{qj,k}$
Combinações raras de serviço (CR)	Nas combinações raras de serviço, a ação variável principal F_{q1} é tomada com seu valor característico F_{q1k} e todas as demais ações são tomadas com seus valores frequentes $\psi_1 F_{qk}$	$F_{d,ser} = F_{gik} + F_{q1k} + \psi_1 \sum_j F_{qj,k}$
$F_{d,ser}$ é o valor de cálculo das ações para combinações de serviço F_{q1k} é o valor característico das ações variáveis principais diretas ψ_1 é o fator de redução de combinação frequente para ELS ψ_2 é o fator de redução de combinação quase permanente para ELS		

Fonte: Tabela 11.4 da NBR 6118

Para combinação frequente de cargas:

$$F_{d,ser} = \psi_1 F_{gik} + \psi_1 F_{q1k} + \psi_2 \sum_j F_{qjk} \quad (4.3)$$

Para combinações raras:

$$F_{d,ser} = F_{gik} + F_{q1k} + \psi_1 \sum_j F_{qjk} \quad (4.4)$$

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.

$$F_{d,ser} = \psi_1 F_{gik} + \psi_1 F_{q1k} \quad (4.5)$$

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.

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.

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

Devido à complexidade da escolha da seção ou seções a serem verificadas, escolheu-se fornecer ao programa o valor do momento calculado com as cargas permanentes e com as cargas variáveis principais da seção. Os coeficientes de ponderação indicados em norma são aplicados diretamente nestes momentos:

$$M_{d,ser} = M_{gik} + \gamma_1 M_{qik} \quad (4.6)$$

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.

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

5 ETAPAS DE CÁLCULO

5.1 RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS

5.1.1 Estado limite de formação de fissuras

O estado limite de formação de fissuras fica definido pelo valor do momento de fissuração da seção de concreto, que é calculado no Estádio I.

A expressão para a determinação do momento de fissuração é indicada no item 17.3.1 da NBR6118 (2003) e já foi referenciada no capítulo 2 (expressão 2.6).

5.1.2 Estado limite de abertura de fissuras

Para a verificação do estado limite de abertura de fissuras determina-se a abertura característica das fissuras w_k . Este valor é definido como o menor dentre os calculados pelas expressões 3.1 e 3.2, apresentadas no item 17.3.3.2 da NBR 6118. Considerações sobre estas expressões já foram feitas no capítulo 3.

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.

A agressividade do meio ambiente, no qual a peça analisada está inserida, deve ser classificada de acordo com a tabela 5.1. Em função da classe de agressividade ambiental é fixado o valor limite de abertura das fissuras (tabela 5.2).

Tabela 5.1 Classes de agressividade ambiental

Classe de agressividade ambiental (CAA)	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana ^{1),2)}	Pequeno
III	Forte	Marinha ¹⁾	Grande
		Industrial ^{1),2)}	
IV	Muito forte	Industrial ^{1),3)}	Elevado
		Respingos de maré	

¹⁾ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinhas e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura.

²⁾ Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em: obras em região de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 65%, partes da estrutura protegidas da chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

³⁾ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose ou papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

Fonte: Tabela 6.1 da NBR 6118 / 2003

Tabela 5.2 – Exigências de durabilidade relacionadas à fissuração e a proteção da armadura, em função das classes de agressividade ambiental.

Tipo de concreto estrutural	Classe de agressividade ambiental (CAA)	Exigências relativas à fissuração	Combinações de ações em serviço a utilizar
Concreto armado	CAA I	ELS-W $w_k \leq 0,4$ mm	Combinação freqüente
	CAA II e CAA III	ELS-W $w_k \leq 0,3$ mm	
	CAA IV	ELS-W $w_k \leq 0,2$ mm	

Fonte: NBR 6118/2003 – transcrição parcial da tabela 13.3

No item 17.3.3.2 da NBR 6118 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 lateral que atenda ao item 17.3.5.2.3 da NBR 6118.

É deixado em aberto, desta forma, qual conjunto de barras considerar na verificação da abertura das fissuras: todas as barras tracionadas da armadura ou apenas as barras mais tracionadas.

Para que se tenha maior abrangência e parâmetro de comparação entre as interpretações cabíveis, são adotadas as duas possibilidades de cálculo:

- ? Utilização de toda a armadura tracionada, conforme hipótese determinada em 17.2.4 da NBR 6118
- ? Utilização apenas da camada mais tracionada.

5.2. ENTRADA DOS DADOS

5.2.1 Forma e dimensões da seção transversal de concreto

A forma da seção transversal da viga, a ser verificada, deve ser selecionada e devem ser fornecidas as suas dimensões em centímetros. O programa permite a verificação de seções transversais com as formas indicadas na figura 5.1.

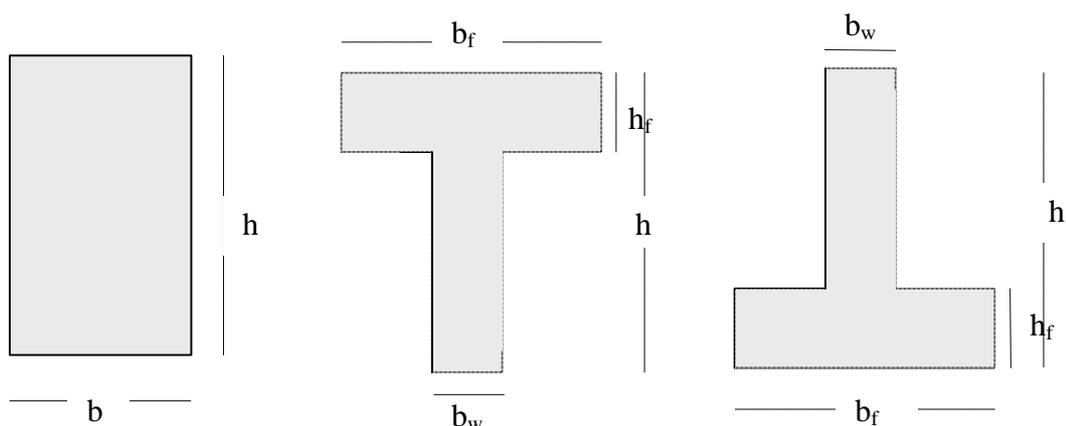


Figura 5.1 - Seções transversais disponíveis com a indicação de suas dimensões.

5.2.2 Valor característico da resistência à compressão do concreto - f_{ck}

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} . A resistência à tração do concreto é calculada em função deste valor.

De acordo com o item 8.2.5 da NBR 6118, a resistência à tração indireta $f_{ct,sp}$ e a resistência à tração na flexão $f_{ct,f}$ devem ser obtidas de ensaios realizados segundo a NBR 7222 e NBR 12142, respectivamente.

Em função dos valores citados determina-se a resistência à tração direta f_{ct} , que pode ser considerada igual a $0,9 f_{ct,sp}$ ou $0,7 f_{ct,f}$.

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, por meio das equações:

$$f_{ct,m} \geq 0,3.f_{ck}^{2/3} \quad (5.1)$$

$$f_{ctk,inf} \geq 0,7.f_{ctm} \quad (5.2)$$

Os valores das expressões (5.1) e (5.2) devem ter como unidade o MPa.

5.2.3 Descrição da armadura da seção

Deve ser indicado o número de camadas de barras de armadura, incluindo a armadura de pele. Para cada camada devem ser fornecidos o número de barras, o diâmetro adotado em mm e a ordenada do centro de gravidade das barras em cm. As ordenadas y do centro das barras são tomadas a partir da base da seção transversal.

Foi adotado o critério de cada camada de armadura ter apenas um valor de diâmetro, e ainda, que as barras de armadura em uma mesma camada estejam distribuídas de maneira uniforme no espaço disponível entre os estribos.

Camadas diferentes podem ter barras com diâmetros diferentes.

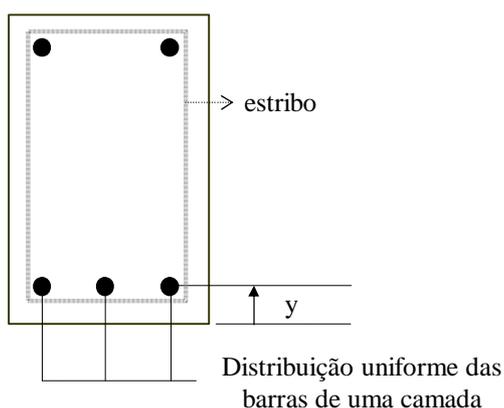


Figura 5.2 Identificação das barras de armadura na entrada de dados.

O diâmetro do estribo e o cobrimento da armadura devem ser fornecidos para que se possa calcular o espaçamento entre as barras na determinação da área de envolvimento de concreto.

5.2.4 Momento de serviço

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

A composição se dá de acordo com os coeficientes de ponderação indicados em norma e dependem do uso da edificação. Esta composição já foi discutida no capítulo 4.

5.2.5 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.

5.2.6 Agressividade ambiental

Deve ser conhecida a classificação de agressividade do meio ambiente, de acordo com tabela 6.1 da NBR 6118.

A partir da indicação da agressividade ambiental, é feita a determinação da abertura de fissura limite.

5.2.7 Tipo de aço da armadura

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 (γ_s) de acordo com item 17.2.4.1 da NBR 6118.

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.

$$f_{yd} \leq \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (5.4)$$

Os valores característicos para a tensão de escoamento do aço são determinados segundo a NBR 7480.

O módulo de elasticidade longitudinal do aço é admitido como 210 GPa, de acordo com item 8.3.5 da NBR 6118.

O coeficiente de ponderação γ_s , determinado no item 12.4.1 da NBR 6118 é assumido como sendo 1,15.

5.2.8 Tipo de barra de aço.

O tipo de barra determina o coeficiente de conformação superficial γ_i a ser utilizado nas expressões (3.1) e (3.2).

De acordo com o item 17.3.3.2 da NBR 6118, no caso da abertura de fissuras, γ_i deve assumir o valor de γ_i e é definido no item 9.3.2.1 desta norma:

? $\gamma_i = 1,0$ para barras lisas

? $\gamma_i = 1,4$ para barras dentadas

? $\gamma_i = 2,25$ para barras nervuradas

5.3 ETAPAS DE CÁLCULO

Para quantificar a abertura das fissuras de acordo com as expressões indicadas, e depois de fornecidos os dados especificados anteriormente, basta ativar o comando “VERIFICAR” da tela principal.

Foi adotada a seguinte ordem de cálculo:

5.3.1. Propriedades geométricas da seção de concreto no estágio I

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

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.

A homogeneização é feita pela majoração da área do aço que absorve esforço igual à uma área de concreto n vezes maior.

Com a descrição da armadura já fornecida, é determinada a distância do centro de gravidade da seção à sua borda superior (x) e o seu momento de inércia em relação a um eixo horizontal que passe por este centro (J_B), de acordo com formulário abaixo indicado.

Este eixo é um dos eixos principais centrais de inércia da seção homogeneizada.

5.3.1.1 Seção transversal retangular

$$x = \frac{\frac{bh^2}{2} + (n-1)(A'_s \cdot d' + A_s \cdot d)}{bh + (n-1)(A'_s + A_s)} \quad (5.5)$$

$$J_B = \frac{b \cdot h^3}{12} + bh \left(\frac{h}{2} - x \right)^2 + (n-1)A_s (d - x)^2 + (n-1)A'_s (x - d')^2 \quad (5.6)$$

5.3.1.2. Seção transversal T

$$x = \frac{b_w \cdot (h - h_f) \frac{(h - h_f)}{2} + h_f \frac{b_f \cdot h_f^2}{2} + (n-1)(A_s \cdot d + A'_s \cdot d')}{b_w (h - h_f) + b_f \cdot h_f + (n-1)(A_s + A'_s)} \quad (5.7)$$

$$J_B = \frac{b_w (h - h_f)^3}{12} + b_w (h - h_f) \frac{(h - h_f)}{2} \cdot h_f + h_f \cdot x^2 + \frac{b_f h_f^3}{12} + b_f h_f \frac{h_f}{2} \cdot x^2 + (n-1)A_s (d - x)^2 + A'_s (d' - x)^2 \quad (5.8)$$

5.3.2 Momento de fissuração

De acordo com o item 3.2.2 da NBR 6118, admite-se que o estado limite de formação de fissuras é atingido quando a tensão de tração máxima na seção transversal de concreto for igual a $f_{ct,f}$ (resistência do concreto à tração na flexão).

Nos estados limites de serviço as estruturas trabalham parcialmente no Estádio I e parcialmente no Estádio II.

O momento de fissuração, que delimita a separação entre estas duas fases, é então calculado.

5.3.3 Verificação da situação da viga em relação à fissuração

Conhecido o momento de fissuração da viga, é feita a comparação do momento de serviço, já conhecido, com este valor calculado e então é verificada a possibilidade da seção fissurar.

Se o momento de serviço for menor que o momento de fissuração, então a viga trabalha no estádio I, ou seja, não fissura. O programa manda mensagem indicativa desta situação.

Neste caso as fissuras não se formam e a linha neutra é indicada coincidente com eixo central e o momento de inércia da seção não varia.

O programa ainda calcula a tensão de serviço do aço tracionado, 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 subrotinas adequadas.

5.3.4 Cálculo da área das seções dos feixes de barras e posição de seus baricentros

Em cada subrotina indicada a seqüência de cálculos é a mesma. A partir do conhecimento do centro de gravidade 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.

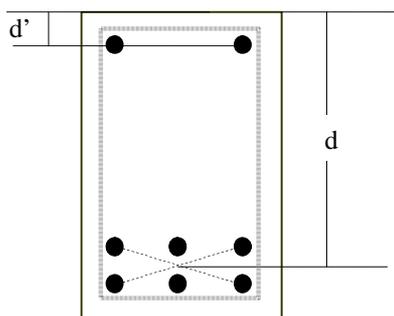


Figura 5.3 Determinação de d e d'

Na verificação apenas da camada mais tracionada a distância do centro de gravidade desta camada à borda superior é determinada apenas pela subtração da sua ordenada do valor da altura total.

5.3.5 Posição da linha neutra, momento de inércia da seção no estágio II e tensão de serviço na armadura tracionada.

A posição da linha neutra e o momento de inércia da seção no estágio II são calculados, sendo desprezada a zona de concreto tracionada. Admite-se que apenas as barras de aço e a zona comprimida do concreto absorvem solicitação.

A posição da linha neutra é calculada da condição que o momento estático da seção homogeneizada de concreto em relação a este eixo é nulo. Desta condição é determinada a distância da linha neutra à borda superior da viga, denominada de x .

O procedimento é diferenciado pela forma da seção, conforme exemplificado abaixo.

5.3.5.1. Seção transversal retangular

A exemplificação do cálculo vai ser feita para o caso da seção ser retangular e solicitada a um momento fletor positivo, com seção ilustrada pela figura 5.4.

A zona comprimida da seção está hachurada para uma melhor visualização:

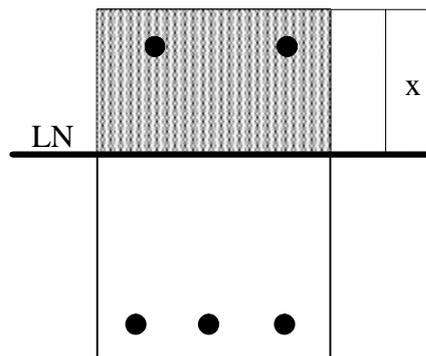


Figura 5.4 Seção retangular submetida a momento fletor positivo.

O momento estático da seção homogeneizada de concreto em relação à linha neutra deve ser nulo:

$$\frac{b \cdot x^2}{2} + (n - 1) \cdot A'_s (x - d') - n \cdot A_s (d - x) = 0 \quad (5.9)$$

Desta equação obtém-se o valor de x .

No procedimento que considera toda a armadura tracionada, com a posição da linha neutra calculada 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' .

No procedimento que considera apenas a camada mais tracionada, nenhum cálculo adicional é necessário.

A partir da posição da linha neutra, o momento de inércia da seção, desprezando-se a área de concreto tracionada, é calculado por:

$$J = \frac{bx^3}{3} + (n - 1)A'_s (x - d')^2 + n \cdot A_s (d - x)^2 \quad (5.10)$$

A tensão de serviço nas barras da armadura tracionada é calculada, em ambas as opções, por:

$$\sigma_s = n \cdot \frac{M_{d,ser}}{J} (d - x) \quad (5.11)$$

sendo n a relação entre o módulo de elasticidade longitudinal do aço e do concreto. Este valor é tomado como sendo 15 de acordo com o item 17.3.3.2 da NBR 6118.

A tensão de serviço também é calculada para a camada mais tracionada.

Calculada a tensão de serviço do aço, nas duas situações, 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, uma caixa de mensagem, com o aviso de tensão excessiva no aço, é ativada.

5.3.5.2 Seção transversal T

Na seção T as equações para o cálculo diferem no caso do momento positivo e negativo.

O cálculo será apresentado apenas para momento fletor positivo, com seção representada conforme a figura 5.5 e onde está hachurada a zona comprimida do concreto.

O procedimento adotado foi o de assumir, primeiramente, a linha neutra interceptando a alma da seção:

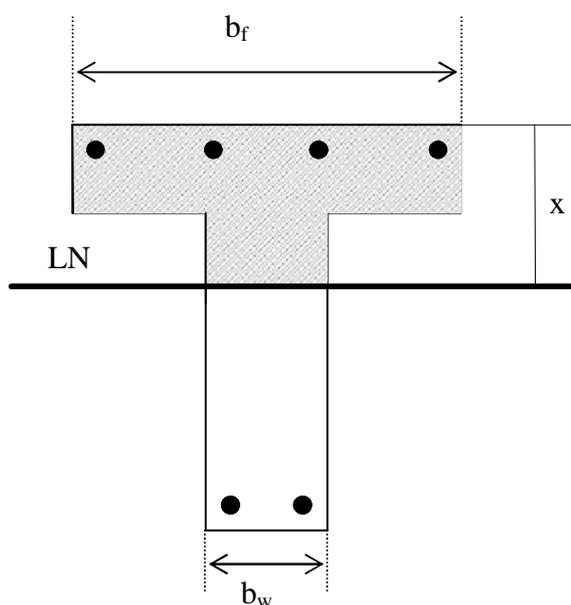


Figura 5.5 Seção T submetida a momento fletor positivo e linha neutra interceptando a alma da peça.

Determina-se a distância x , da linha neutra à borda superior da seção, pelo equilíbrio dos momentos estáticos:

$$(b_f \cdot h_f) \left(x - \frac{h_f}{2}\right) + \frac{b_w (x - h_f)^2}{2} + (n - 1)A'_s (x - d') - nA_s (d - x) = 0 \quad (5.12)$$

Se confirmar a hipótese adotada na posição da linha neutra, o encaminhamento do cálculo segue a mesma ordem da seção retangular.

Considerando-se a área total da armadura tracionada, há o recálculo das áreas A_s e A'_s , determinação do maior diâmetro de cada feixe de barras, cálculo das ordenadas dos centros destas áreas e novas distâncias d e d' .

A consideração apenas da camada mais tracionada, dispensa estes cálculos.

O momento de inércia da seção fissurada é determinado pela expressão:

$$J = \frac{b_f x^3}{3} + \frac{(b_f - b_w)(x - h_f)^3}{3} + nA_a (d - x)^2 + (n - 1)A'_s (x - d')^2 \quad (5.13)$$

Caso não se confirme a hipótese adotada para a posição da linha neutra, recalcula-se o valor de x , a partir de uma nova premissa, com a linha neutra interceptando a mesa.

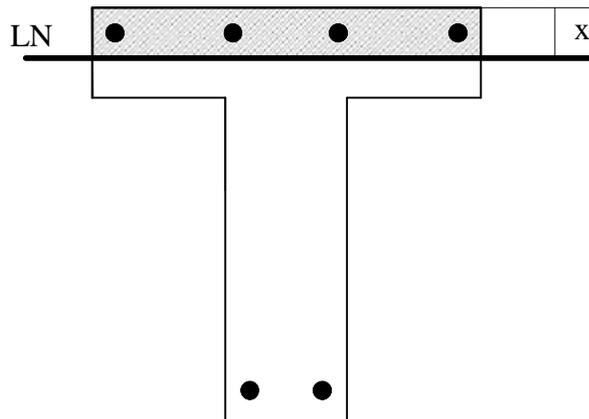


Figura 5.6 – Seção T submetida a momento fletor positivo e linha neutra interceptando a mesa da peça.

As equações 5.12 e 5.13 são substituídas por:

$$\frac{b_f x^2}{2} + (n - 1)A_s'(x - d') - nA_s(d - x) = 0 \quad (5.14)$$

$$J + \frac{b_f x^3}{3} + (n - 1)A_s'(x - d')^2 - nA_s(d - x)^2 = 0 \quad (5.15)$$

A partir destes cálculos a tensão de serviço na armadura e na camada mais tracionada segue os mesmos critérios.

Considerando-se apenas a camada de armadura mais tracionada, utilizam-se a altura da linha neutra e o momento de inércia da seção fissurada, já determinados quando foram considerados todos os elementos de armadura tracionada da seção.

A mensagem de tensão excessiva na armadura também é ativada se for o caso.

5.3.6. Cálculo da área de envolvimento da armadura - A_{cr}

5.3.6.1 Com consideração de toda a armadura tracionada

No método que se considera toda a armadura tracionada, a área de envolvimento da armadura é determinada para o conjunto de barras tracionadas.

A altura da área de envolvimento de cada camada é calculada a partir da sua ordenada. 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.

O valor do envolvimento externo das barras de extremidade só considera o diâmetro do estribo e o cobrimento de armadura. 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} da armadura.

O valor do maior diâmetro de barra também é determinado neste procedimento.

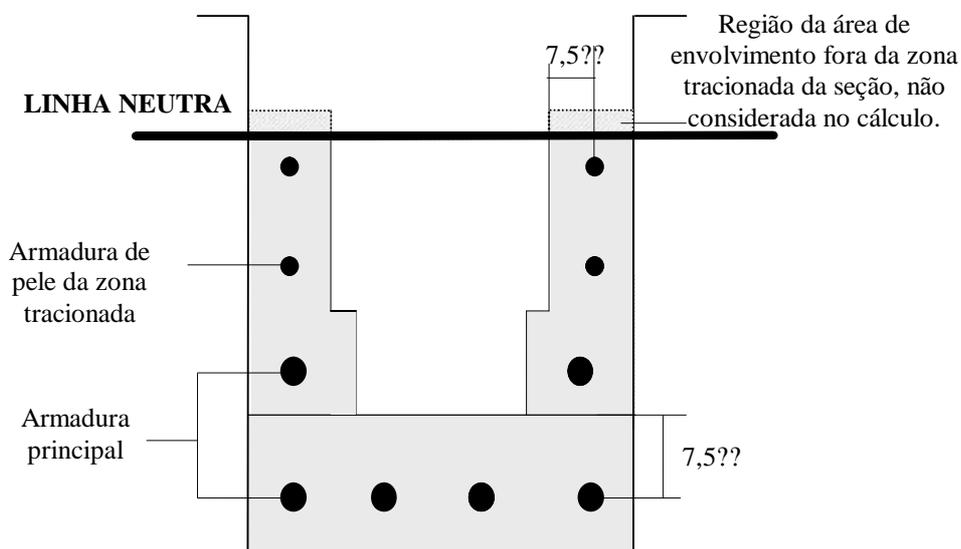


Figura 5.7 Concreto de envolvimento de toda a armadura tracionada

5.3.6.2 Com consideração apenas da camada de armadura mais tracionada

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 a partir 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 5.8 ilustra a área de envolvimento descrita.

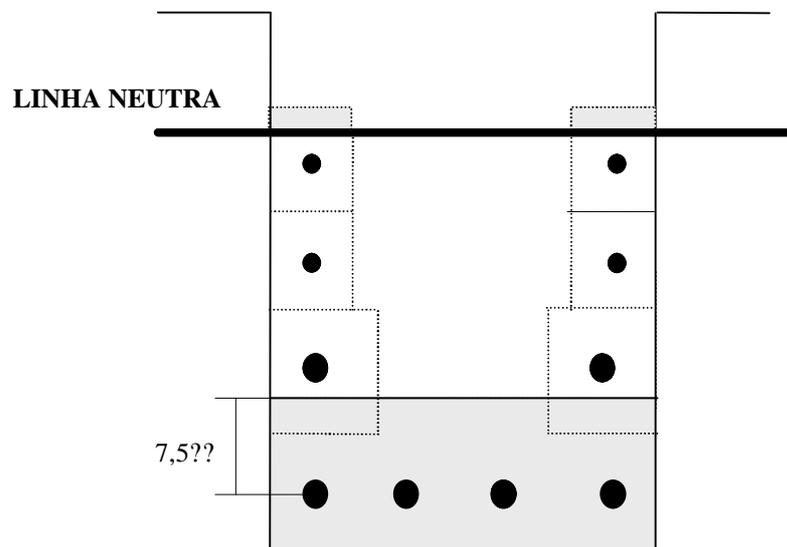


Figura 5.8 Concreto de envolvimento da camada de armadura mais tracionada

Para facilitar a construção do programa, esta segunda interpretação de cálculo foi feita em subrotinas separadas. Para a seção retangular (SUB RET1) e para a seção tê (SUB TE1).

É calculado o valor de ρ_{ri} pela relação entre a área de armadura tracionada e a área de envolvimento, nos dois casos.

A transcrição da parte do programa que executa o cálculo da área de envolvimento é feita a seguir, para uma seção retangular, submetida a momento positivo e adotando-se a hipótese de consideração de toda a armadura.

```

Private Sub ACRITICA()

sst = 0
ybk = 0
ack = 0
fmax = 0

'Determinação da área da armadura tracionada e de sua área
envolvente, camada a camada.

For i = 1 To nc
If yb(i) < hLN Then
    st = nb(i) * 3.14159265358979 * fb(i) ^ 2 / 400
    If fb(i) > fmax Then fmax = fb(i)

    hi = yb(i) - 7.5 * fb(i) / 10
    hs = yb(i) + 7.5 * fb(i) / 10

    If hi < ybk Then hi = ybk
    If hs > ybk Then ybk = hs
    If hs > hLN Then hs = hLN

    hc = hs - hi

    If hc < 0 Then hc = 0

Else
    hc = 0
    st = 0
End If

If (b - 2 * r - 2 * fe / 10) / (nb(i) - 1) < 15 * fb(i) / 10
Then
    bc = b
Else
    bc = (nb(i) - 1) * 15 * fb(i) / 10 + 2 * r + 2 * fe / 10
End If

    ac = bc * hc
    sst = sst + st
    ack = ack + ac

Next i

End Sub

```

5.3.7. Cálculo da abertura característica da fissura

Com os valores intermediários calculados, determinam-se os valores para a abertura característica das fissuras pelas expressões (3.1) e (3.2). A abertura das fissuras é calculada pelas duas interpretações já citadas, usando como referência toda a armadura de tração ou apenas a camada mais tracionada.

O menor destes valores calculados, em cada uma das expressões, se constitui na abertura característica da fissura. Existe um menor valor para cada uma das interpretações.

Estes menores valores serão transportados para a tela principal como resultados das verificações.

O comando “SEÇÃO EM SERVIÇO” dá acesso a uma tela onde resultados que caracterizam o funcionamento da peça estão disponíveis:

- ? Altura da linha neutra
- ? Momento de inércia da seção de concreto íntegra em relação a eixo baricentrico horizontal
- ? Momento de inércia da seção fissurada em relação a linha neutra
- ? Área de envolvimento para toda a armadura tracionada
- ? Área de envolvimento para a camada mais tracionada
- ? Tensão de serviço do aço considerando toda a armadura
- ? Tensão de serviço do aço para a camada mais tracionada
- ? Momento de fissuração
- ? Aberturas características das fissuras calculadas pelas duas expressões da norma, nas duas hipóteses de cálculo.

A leitura destes resultados tem a pretensão de auxiliar na compreensão do fenômeno e ajudar na escolha do método a ser adotado.

5.4 FLUXOGRAMA DE CÁLCULO

Na página seguinte é indicado um fluxograma dos cálculos anteriormente descritos.

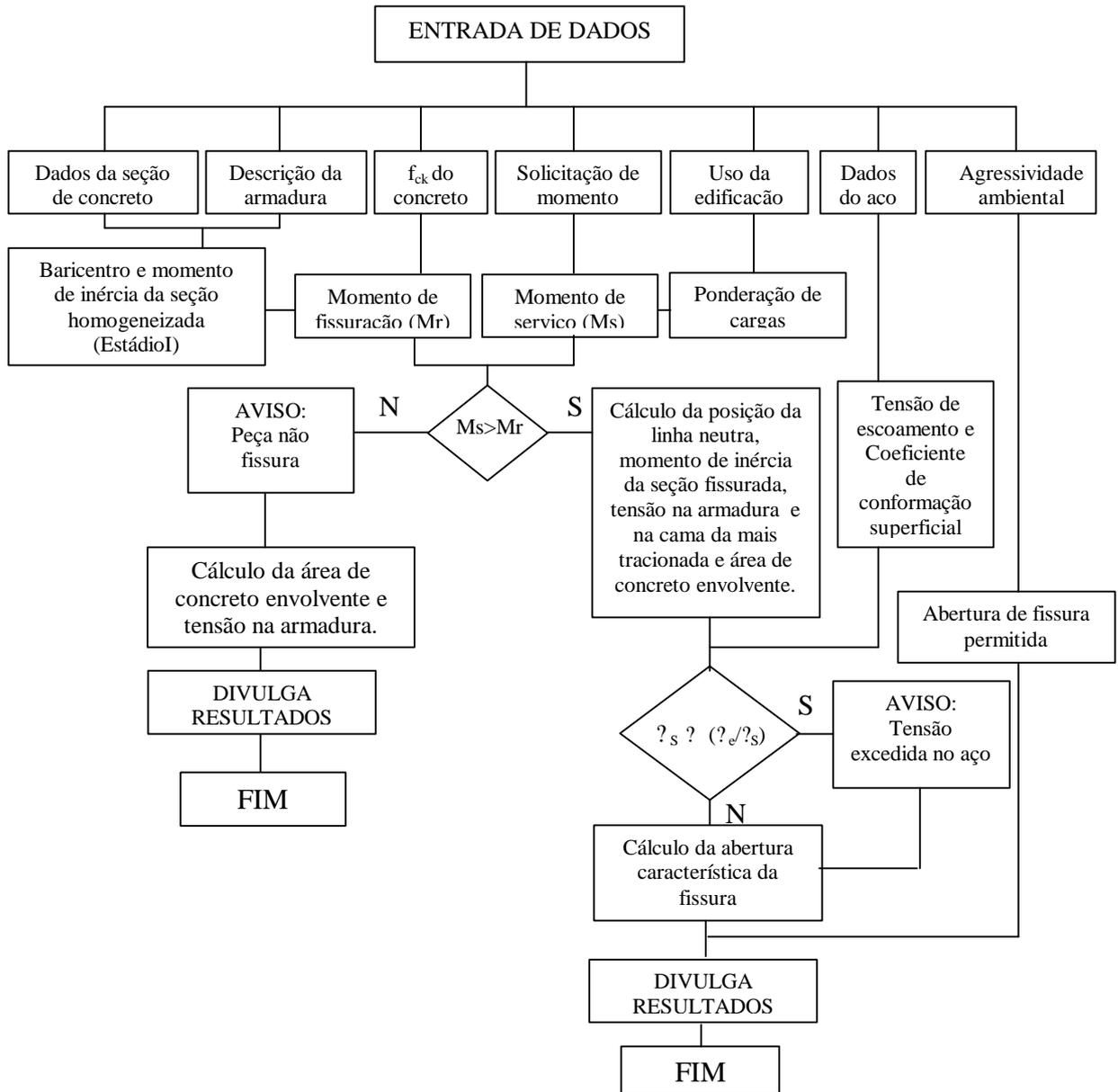


Figura 5.9 Fluxograma de cálculo

6 UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA

6.1. INTRODUÇÃO

O programa foi elaborado a partir das recomendações da NBR 6118 - Projeto de estruturas de concreto, publicada em março de 2003, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT.

Permite que se verifique a situação de seções retangulares ou T, de concreto armado, submetidas à flexão simples normal, em relação aos estados limites de formação e de abertura de fissuras.

Além dos cálculos necessários ao processo de verificação, o programa tem finalidade acadêmica e, em função disto, alguns dados que caracterizam o funcionamento da peça também são apresentados.

Foram transcritas resoluções e tabelas de norma com o intuito de facilitar a utilização do programa.

6.2 ENTRADA DE DADOS

A entrada de dados é feita através de duas telas:

6.2.1 Tela principal



Figura 6.1 – Tela principal

Os dados da tela principal devem ser adequados ao projeto e se referem a seção transversal a ser verificada. A escolha desta seção é critério do usuário.

A indicação destes dados é feita por seleção em botões à esquerda da tela.

Todos os dados de seleção têm uma opção padrão inicialmente selecionada. Caso não seja modificada, esta opção é adotada para os cálculos.

6.2.1.1 Materiais adotados

As propriedades dos materiais devem ser fornecidas. Deve-se informar o valor da resistência característica do concreto à compressão f_{ck} , a categoria de aço utilizada e a conformação superficial das barras de armadura.

Para os dados do concreto, o padrão é f_{ck} de 25 MPa e o programa admite valores entre 20 e 50 MPa.

Fora deste limites o programa manda mensagem para correção.

Para o aço o padrão adotado é CA-50 e barra de alta aderência.

6.2.1.2 Utilização e meio ambiente

A utilização da edificação deve ser declarada para que se determine o coeficiente de ponderação das cargas ou solicitações atuantes. O padrão é uso residencial.

A agressividade do meio ambiente define a abertura de fissura permitida aos elementos da estrutura. A agressividade padrão é moderada.

Nos itens “Uso da edificação” e “Agressividade ambiental” existe uma tecla de ajuda onde são transcritas as disposições da norma.

Tabela 6.1 - NBR 6118

CLASSES DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL
Tabela 6.1 – NBR 6118

Classe de agressividade ambiental (CAA)	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submerso	
II	Moderada	Urbana ^{1,2}	Pequeno
		Marinha ³	
III	Forte	Industrial ^{1,2}	Grande
		Industrial ^{3*}	
IV	Muito forte	Respingos de maré	Elevado

¹ Pode-se admitir um microclima com uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) para ambientes internos secos (salas, dormitórios, banheiros, cozinha e áreas de serviço de apartamentos residenciais e conjuntos comerciais ou ambientes com concreto revestido com argamassa e pintura).

² Pode-se admitir uma classe de agressividade mais branda (um nível acima) em obras em região de clima seco, com umidade relativa do ar menor ou igual a 55%, partes da estrutura protegidas da chuva em ambientes predominantemente secos, ou regiões onde chove raramente.

³ Ambientes quimicamente agressivos, tanques industriais, galvanoplastia, branqueamento em indústrias de celulose ou papel, armazéns de fertilizantes, indústrias químicas.

VOLTAR

Figura 6.2 Tela de auxílio com transcrição da tabela 6.1 da NBR 6118.

- USO DA EDIFICAÇÃO -

De acordo com 11.7.2 da NBR 6118, adota-se como fator de ponderação para cargas acidentais nos estados limites de serviço, os valores dados pela tabela 11.2 para combinações frequentes, onde $\gamma_F \gamma_Q = \psi_1$:

$$M_{d,ser} = \sum M_{gik} + \psi_1 M_{qik} \Rightarrow \text{Combinação adotada}$$

Tabela 11.2 – NBR 6118/2003

Ações		γ_Q		
		ψ_0	ψ_1 (1)	ψ_2
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo ou de elevada concentração de pessoas (2).	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo ou de elevada concentração de pessoas (3).	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3

(1) Para os valores de ψ_1 relativos às pontes e principalmente aos problemas de fadiga, ver seção 23.
(2) Edifícios residenciais.
(3) Edifícios comerciais e de escritórios.

Os valores desta tabela podem ser modificados em casos especiais aqui não contemplados, de acordo com NBR 8681.

VOLTAR

Figura 6.3 Tela de auxílio com transcrição da tabela 11.2 da NBR 6118.

6.2.1.3 Forma da seção

Deve ser selecionada a forma da seção adotada. A seção escolhida fica indicada em figura ilustrativa, e na tela criam-se os espaços com as opções de preenchimento das dimensões desta seção transversal. O padrão é a seção retangular.

O preenchimento das dimensões é obrigatório e a unidade adotada é o centímetro.

FISSURAS
Arquivo Ajuda

VERIFICAÇÃO DE FISSURAS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO
NBR 6118 (Março/ 2003)

CONCRETO (fck em MPa)

20 40
 25 45
 30 50
 35 Outro

AÇO **BARRA**

CA-25 Lixa
 CA-50 Dentada
 CA-60 Alta aderência

AGRESSIVIDADE AMBIENTAL

Fraca Forte
 Moderada Muito Forte

USO DA EDIFICAÇÃO

Residencial
 Comercial
 Biblioteca, arquivo, oficina ou garagem

SEÇÃO TRANSVERSAL

Seção Retangular
 Seção T
 Seção T invertida

DIMENSÕES (cm)

b =
h =

ARMADURA

SOLICITAÇÕES

Momento fletor devido a cargas permanentes: (kN.m)
Momento devido a cargas acidentais: (kN.m)
MOMENTO DE SERVIÇO: 0 (kN.m)

VERIFICAR **SEÇÃO EM SERVIÇO**

FISSURAS

Fissura calculada - Toda armadura: (mm)
Fissura calculada - 1ª camada: (mm)
Fissura permitida: (mm)

AJUDA **AJUDA** **SAIR**

Figura 6.4 Tela principal com abertura de dados para seção retangular.

FISSURAS
Arquivo Ajuda

VERIFICAÇÃO DE FISSURAS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO
NBR 6118 (Março/ 2003)

CONCRETO (fck em MPa)

20 40
 25 45
 30 50
 35 Outro

AÇO **BARRA**

CA-25 Lixa
 CA-50 Dentada
 CA-60 Alta aderência

AGRESSIVIDADE AMBIENTAL

Fraca Forte
 Moderada Muito Forte

USO DA EDIFICAÇÃO

Residencial
 Comercial
 Biblioteca, arquivo, oficina ou garagem

SEÇÃO TRANSVERSAL

Seção Retangular
 Seção T
 Seção T invertida

DIMENSÕES (cm)

bw =
bf =
hf =
h =

ARMADURA

SOLICITAÇÕES

Momento fletor devido a cargas permanentes: (kN.m)
Momento devido a cargas acidentais: (kN.m)
MOMENTO DE SERVIÇO: 0 (kN.m)

VERIFICAR **SEÇÃO EM SERVIÇO**

FISSURAS

Fissura calculada - Toda armadura: (mm)
Fissura calculada - 1ª camada: (mm)
Fissura permitida: (mm)

AJUDA **AJUDA** **SAIR**

Figura 6.5 Tela principal com abertura de dados para a seção T

Figura 6.6 Tela principal com entrada de dados para seção T invertida.

6.2.1.4 Solicitação de serviço

O momento de serviço é calculado por dados, que devem ser fornecidos, na parte central inferior da tela, em duas partes:

- ? Momento devido às cargas permanentes;
- ? Momento devido à carga acidental principal.

Ao serem preenchidos estes campos a composição do momento de serviço resultante, já aplicado o coeficiente de ponderação, é indicada em espaço próprio.

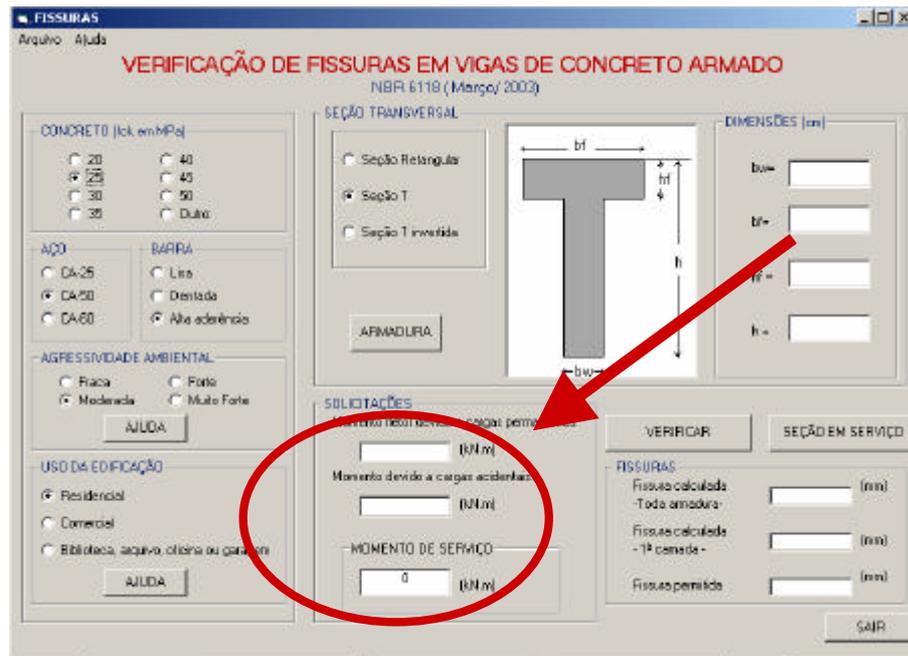


Figura 6.7 Tela de entrada com destaque para o momento de serviço resultante calculado.

Caso o momento de serviço não ultrapasse o momento de fissuração, o programa manda uma mensagem de aviso. Neste caso a abertura da fissura é indicada como zero, a linha neutra passa pelo baricentro da seção e o momento de inércia da seção permanece constante.

O cálculo da tensão de serviço da armadura e do momento de fissuração se mantém.

Em caso contrário, o programa calcula a abertura de fissuras e todos os valores intermediários (posição da linha neutra, momento de inércia da seção fissurada, tensão de serviço na armadura, momento de fissuração, área de envolvimento da armadura de tração e da camada mais tracionada e, ainda, os valores da abertura das fissuras).

O menor valor, calculado pelas duas expressões apresentadas pela norma, representa a abertura característica das fissuras e é transportado para a tela principal.

Se a tensão na armadura ultrapassar a correspondente resistência de cálculo, surge uma mensagem de alerta na tela, antes de serem efetuados os cálculos.

O menu principal da tela de entrada possibilita a abertura de casos já rodados e a criação de novos arquivos relativos a casos que se deseje armazenar.

6.2.2 Tela da armadura

Além dos dados citados, também devem ser fornecidos elementos que descrevam a armadura de aço da seção que esta sendo verificada.

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.

O fornecimento deste dado disponibiliza as caixas de texto necessárias ao fornecimento dos demais valores.

Em cada linha devem ser indicadas as características de cada camada de armadura:

- ? Número de barras da camada;
- ? Diâmetro destas barras;
- ? 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 da forma indicada na figura:

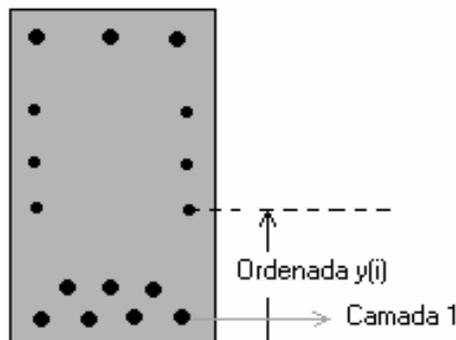


Figura 6.8 Dados da armadura de uma seção retangular.

A armadura fica registrada em tela própria, passível de conferência.

Dados da armadura

ATENÇÃO:

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

ARMADURA LONGITUDINAL

	Nº de barras de 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"/>

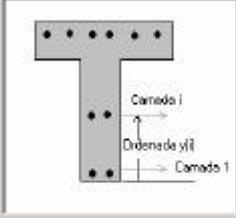
DADOS GERAIS

Número de camadas de armadura

Diâmetro do estribo (mm)

Cobertura da armadura (cm)

- Preenchimento de dados -



CONFIRMAR DADOS

Figura 6.9 Tela de entrada de dados da armadura de uma seção T.

6.3 CÁLCULO E LEITURA DOS RESULTADOS.

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

O objetivo deste trabalho, que é obter o valor da abertura característica das fissuras, aparece no espaço inferior à direita da tela principal, conforme figura 6.10, e a comparação dos resultados obtidos com o permitido fica por conta do usuário.

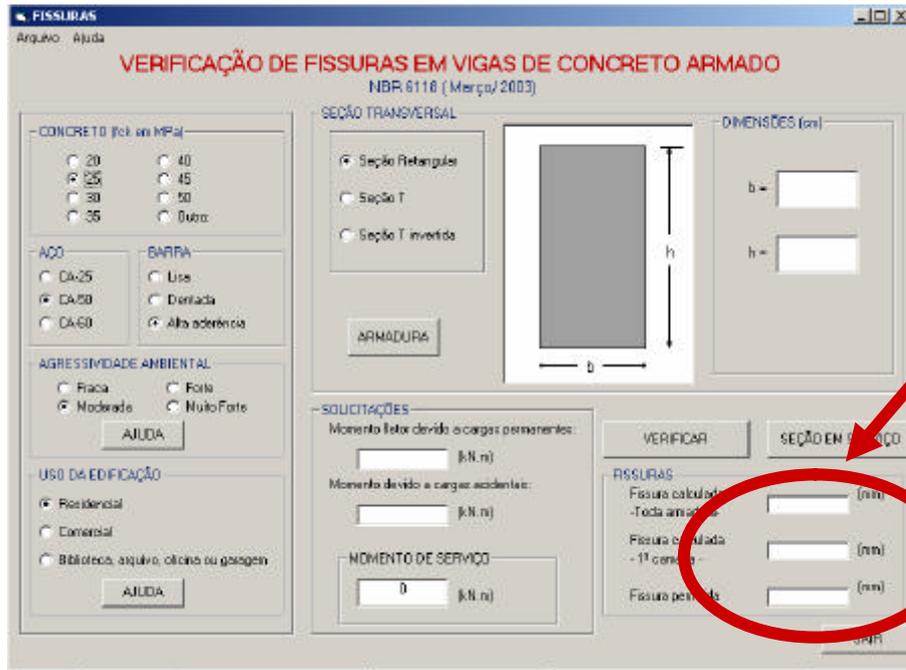


Figura 6.10 Tela principal com a indicação do local de saída dos resultados.

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.

Resultados de serviço

Este programa tem objetivo didático sendo importante o conhecimento de alguns resultados de serviço.

VALORES DE SERVIÇO

Altura X da Linha Neutra (cm):

Momento de inércia da seção bruta de concreto (cm⁴):

Momento de inércia da seção de concreto fissurada (cm⁴):

Área de concreto envolvente (cm²):

Toda armad.: Cam. mais trac.:

Tensão de serviço do aço (MPa):

Momento de fissuração (kN.m):

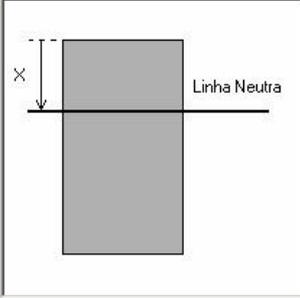
FORMULÁRIO PARA CÁLCULO DE FISSURAS

$$w_1 = \frac{\phi_1 \sigma_{s1} 3\sigma_{s1}}{12,5\eta_1 E_{s1} f_{cm}}$$

$$w_2 = \frac{\phi_1 \sigma_{s1}}{12,5\eta_1 E_{s1}} \left(\frac{4}{\rho_{t1}} + 45 \right)$$

Toda armadura Fissura em mm:

Camada mais tracionada Fissura em mm:



Capítulo6 - Microsoft W... FISSURAS Resultados de serviço Endereço

Figura 6.11 Tela com saída de resultados característicos da seção.

Os dados aqui fornecidos permitem ao usuário do programa avaliar mudanças e propor soluções, analisando integralmente o funcionamento do elemento verificado.

7 EXEMPLOS NUMÉRICOS

No presente capítulo, apresentam-se aplicações do programa desenvolvido na análise numérica do estado limite de serviço de abertura das fissuras em seções de vigas de concreto armado. Os exemplos tem por finalidade demonstrar os recursos disponíveis no programa.

7.1 SEÇÃO RETANGULAR

7.1.1 Exemplo 1:

Neste exemplo, considera-se uma viga de concreto armado de seção retangular 20 x 40 cm, submetida, em sua pior situação, a um momento solicitante de 50 kN.m, devido à carga permanente, e de 30 kN.m, devido à carga variável. A viga está inserida em um meio de agressividade moderada e é parte da estrutura de um prédio comercial. O concreto adotado apresenta f_{ck} de 20 MPa. Sua armadura foi projetada em aço CA-50, sendo utilizadas barras de alta aderência e o cobrimento de armadura estabelecido foi de 3 cm. A seção transversal correspondente a pior situação citada, está indicada na figura 7.1.

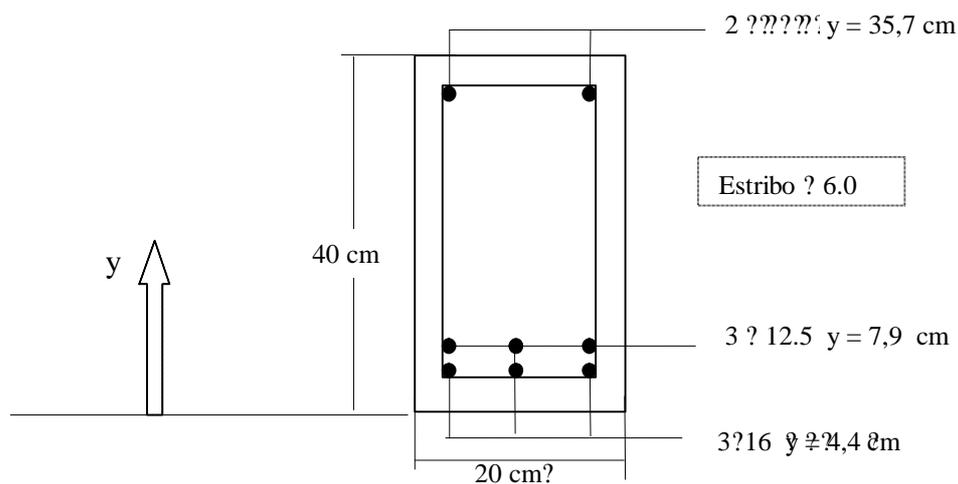


Figura 7.1 Seção transversal do exemplo 1

Figura 7.2 Tela principal do exemplo 1

A figura 7.2 a 7.4 apresentam as telas do programa, preenchidas com os valores referentes ao exemplo 1. Observa-se, pelos resultados obtidos, que a seção atende aos requisitos da norma quanto ao estado limite de abertura de fissuras. As aberturas características de fissuras calculadas ficaram abaixo do valor admissível, conforme a NBR 6118. O valor de abertura de fissuras, considerando-se apenas a camada mais tracionada, é 50% superior ao valor determinado para o conjunto de barras da armadura de tração.

Camada	Nº de barras da camada	Diâmetro das barras (mm)	Ordenada da camada (cm)
Camada 1	3	16	4,4
Camada 2	3	12,5	7,9
Camada 3	2	12,5	35,7
Camada 4			
Camada 5			
Camada 6			
Camada 7			
Camada 8			
Camada 9			
Camada 10			

Figura 7.3 Tela da armadura do exemplo 1

Resultados de serviço

Este programa tem objetivo didático sendo importante o conhecimento de alguns resultados de serviço.

VALORES DE SERVIÇO

Altura X da Linha Neutra (cm)

Momento de inércia da seção de concreto no estágio I (cm⁴)

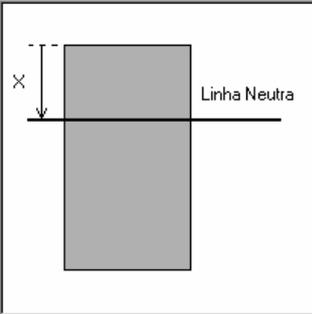
Momento de inércia da seção de concreto no estágio II (cm⁴)

Área de concreto envolvente (cm²):
 Toda armad. Cam. mais trac.

Área de aço tracionada (cm²)

Tensão de serviço do aço (MPa):

Momento de fissuração (kN.m):



FORMULÁRIO PARA CÁLCULO DE FISSURAS

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

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

Toda armadura Fissura em mm

Camada mais tracionada Fissura em mm

VOLTAR

Figura 7.4 Tela com resultados de serviço do exemplo 1

7.1.2 Exemplo 2:

Neste exemplo, a seção do exemplo anterior é submetida à um momento de serviço positivo de 12 kN.m. O objetivo deste exemplo é mostrar o funcionamento do programa diante de um caso de momento de serviço que não fissa a peça.

Foram reproduzidas apenas as telas principal e a com os resultados de serviço, pois a tela com dados da armadura permanece inalterada.



Figura 7.5 Tela principal com dados do exemplo 2

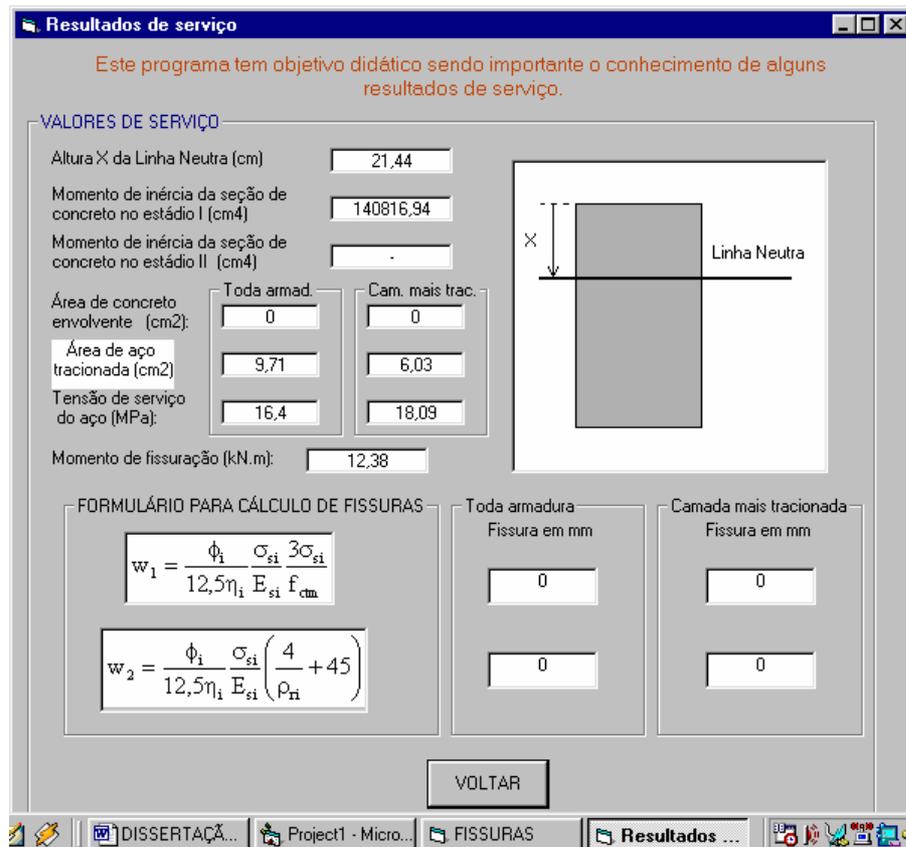


Figura 7.6 Tela com resultados de serviço do exemplo 2

7.1.3 Exemplo 3:

Neste exemplo, a seção do exemplo 1 é submetida a um momento de serviço positivo de 130 kN.m. Este exemplo tem por objetivo mostrar o funcionamento do programa diante de um caso de momento de serviço que provoque tensão excessiva na armadura tracionada. Não houve a preocupação de atender ao Estado Limite Último.

Pela mesma razão do exemplo anterior vão ser reproduzidas apenas a tela principal e a tela com resultados de serviço.

Observa-se que neste exemplo aparecem mensagens sucessivas de tensão excessiva na armadura usando toda a armadura tracionada e apenas a camada mais tracionada. Para servir como valores de referência, as aberturas das fissuras são calculadas de qualquer forma.

Neste exemplo, apenas a abertura calculada com base apenas na camada de armadura mais tracionada ultrapassa o valor prescrito em norma, evidenciando o fato de que as interpretações analisadas podem levar à conclusões diferentes.

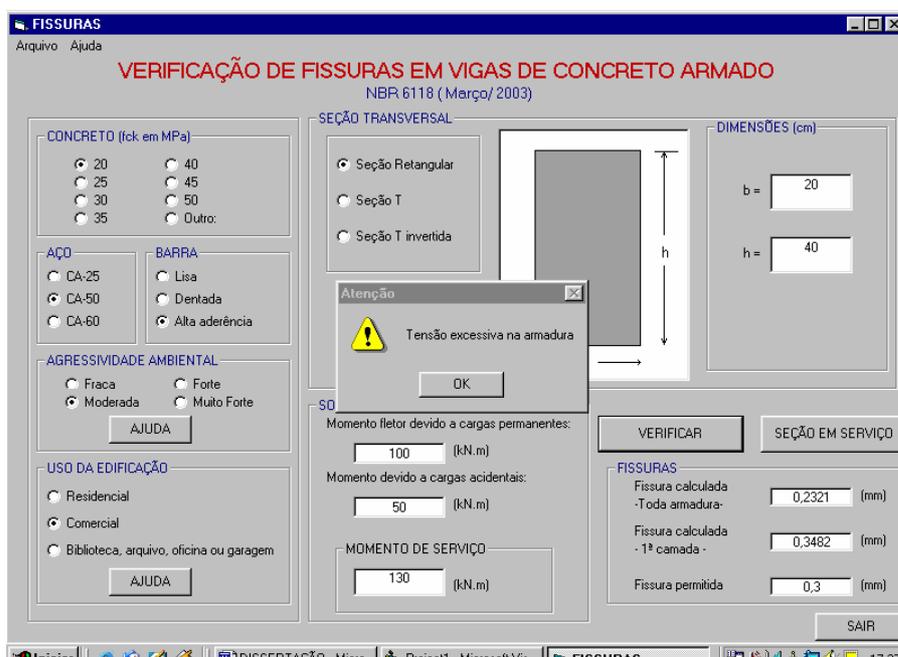


Figura 7.7 Tela principal do exemplo 3 com primeira mensagem



Figura 7.8 Tela principal do exemplo 3 com segunda mensagem

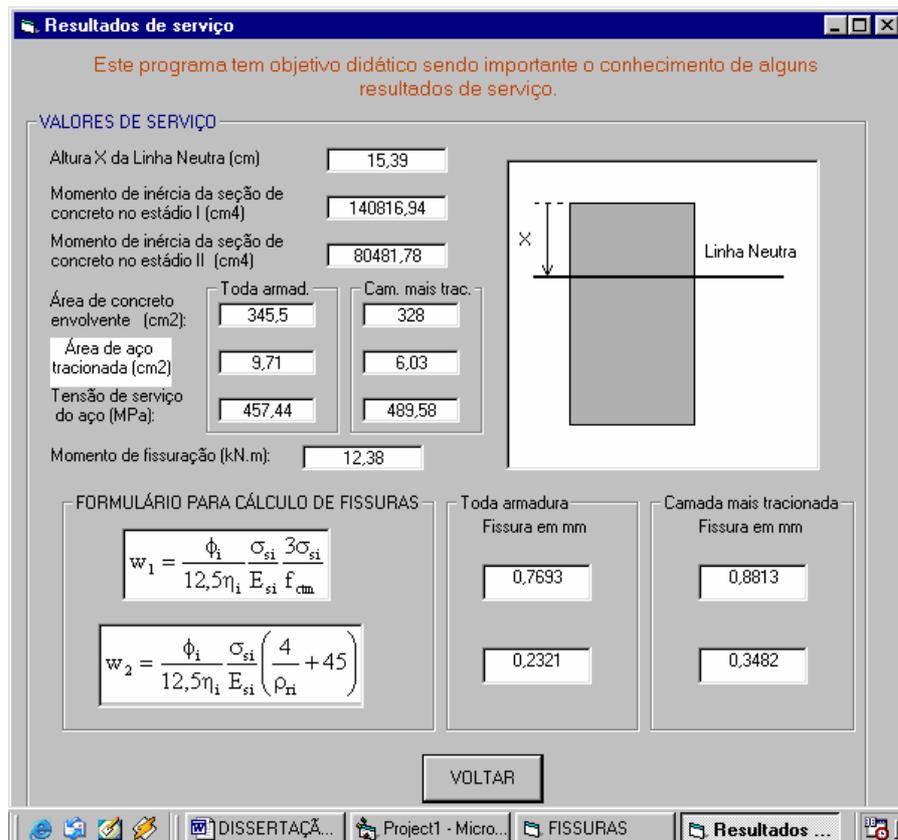


Figura 7.9 Tela com resultados de serviço do exemplo 3

7.1.4 Exemplo 4:

Neste exemplo, a seção do exemplo 1 é analisada de forma invertida em torno de um eixo horizontal e submetida ao mesmo momento em módulo, porém de sentido contrário. O objetivo deste exemplo é testar a consistência dos resultados calculados. Naturalmente, os resultados do exemplo 4 coincidem com os do exemplo 1.

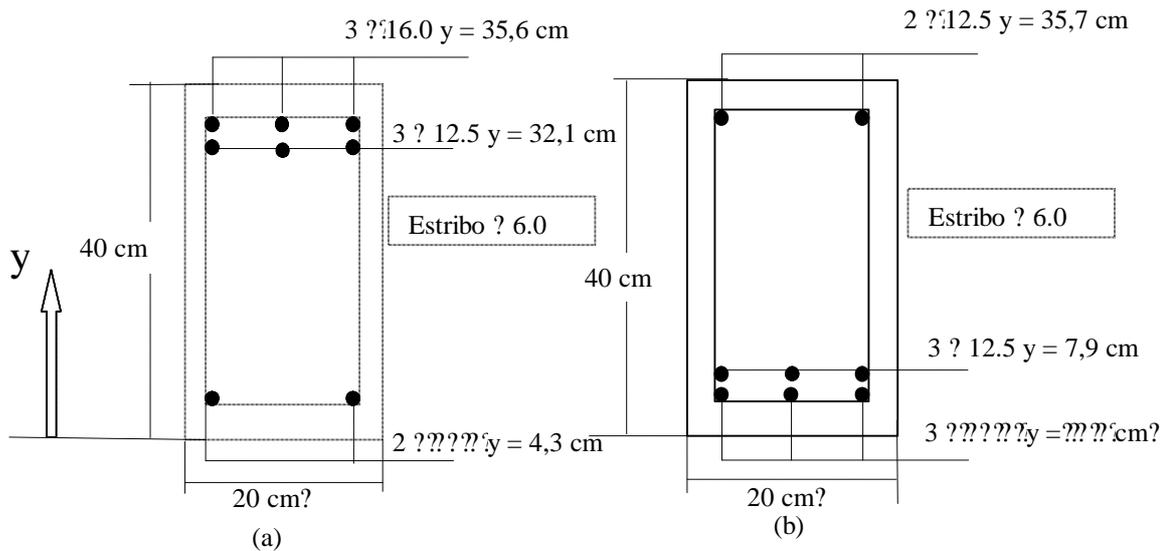


Figura 7.10 (a) Seção transversal do exemplo 4 - (b) Seção transversal do exemplo 1



Figura 7.11 Tela principal do exemplo 4

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	2	12,5	4,3
Camada 2	3	12,5	32,1
Camada 3	3	16	35,6
Camada 4			
Camada 5			
Camada 6			
Camada 7			
Camada 8			
Camada 9			
Camada 10			

DADOS GERAIS

Número de camadas de armadura:

Diâmetro do estribo (mm):

Cobrimento da armadura (cm):

- Preenchimento de dados -

CONFIRMAR DADOS

Figura 7.12 Tela da armadura do exemplo 4

Resultados de serviço

Este programa tem objetivo didático sendo importante o conhecimento de alguns resultados de serviço.

VALORES DE SERVIÇO

Altura X da Linha Neutra (cm):

Momento de inércia da seção de concreto no estágio I (cm⁴):

Momento de inércia da seção de concreto no estágio II (cm⁴):

Área de concreto envolvente (cm²):

Toda armad.	Cam. mais trac.
<input type="text" value="345,5"/>	<input type="text" value="328"/>
Área de aço tracionada (cm ²): <input type="text" value="9,71"/>	<input type="text" value="6,03"/>
Tensão de serviço do aço (MPa): <input type="text" value="239,28"/>	<input type="text" value="256,09"/>

Momento de fissuração (kN.m):

FORMULÁRIO PARA CÁLCULO DE FISSURAS

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

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

Toda armadura Fissura em mm:

Camada mais tracionada Fissura em mm:

Toda armadura Fissura em mm:

Camada mais tracionada Fissura em mm:

VOLTAR

Figura 7.13 Tela com resultados de serviço do exemplo 4

7.1.5. Exemplo 5:

No Exemplo 5, analisa-se uma viga de concreto armado de seção retangular 20 x 80 cm, submetida, em sua pior situação, a um momento solicitante de 100 kN.m, devido à carga permanente, e de 50 kN.m, devido à carga variável. A viga está inserida em um meio de agressividade forte e é parte da estrutura de um prédio comercial. O concreto adotado apresenta f_{ck} de 25 MPa. Sua armadura foi projetada em aço CA-50, sendo utilizadas barras de alta aderência e o cobrimento de armadura estabelecido foi de 4 cm.

A seção transversal, correspondente a pior situação citada, está apresentada na figura 7.14. Os resultados obtido estão apresentados nas figuras 7.15 a 7.17. Neste exemplo, a seção atende às exigências da norma, mas com uma discrepância de 40,7% entre os valores obtidos para a abertura das fissuras com os enfoques estabelecidos.

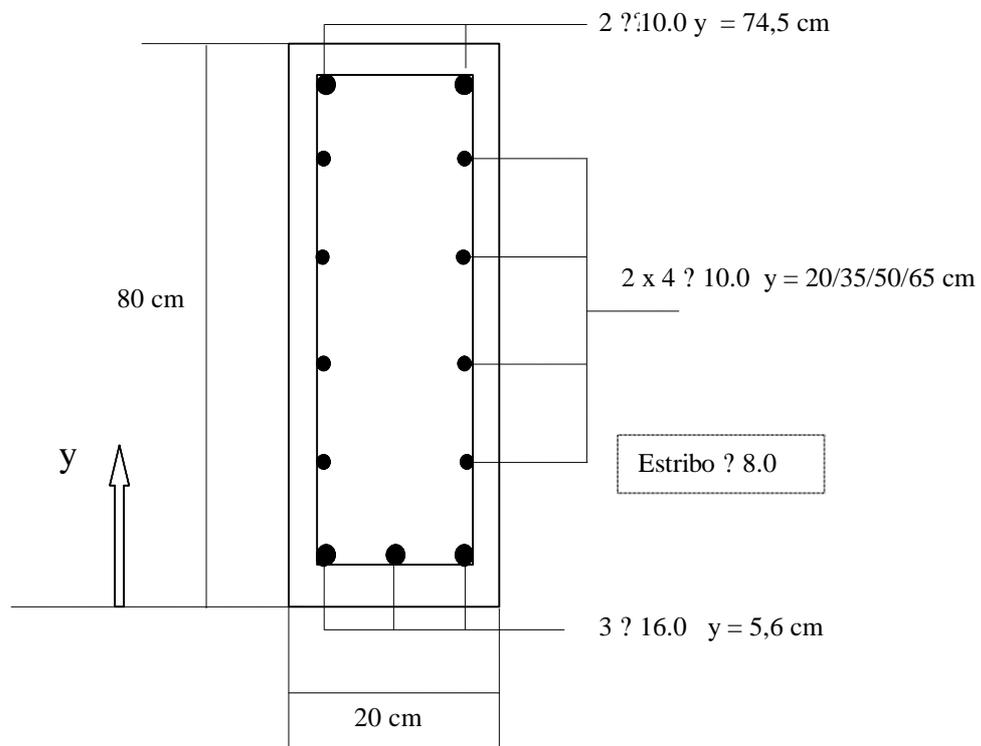


Figura 7.14 Seção transversal do exemplo 5

FISSURAS
Arquivo Ajuda

VERIFICAÇÃO DE FISSURAS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

NBR 6118 (Março/ 2003)

CONCRETO (fck em MPa)

20 40
 25 45
 30 50
 35 Outro:

ÁÇO

CA-25 Lisa
 CA-50 Dentada
 CA-60 Alta aderência

AGRESSIVIDADE AMBIENTAL

Fraca Forte
 Moderada Muito Forte

AJUDA

USO DA EDIFICAÇÃO

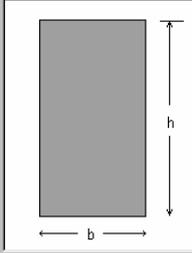
Residencial
 Comercial
 Biblioteca, arquivo, oficina ou garagem

AJUDA

SEÇÃO TRANSVERSAL

Seção Retangular
 Seção T
 Seção T invertida

ARMADURA



DIMENSÕES (cm)

b =
h =

SOLICITAÇÕES

Momento fletor devido a cargas permanentes:
 (kN.m)

Momento devido a cargas acidentais:
 (kN.m)

MOMENTO DE SERVIÇO
 (kN.m)

VERIFICAR SEÇÃO EM SERVIÇO

FISSURAS

Fissura calculada - Toda armadura - (mm)
Fissura calculada - 1ª camada - (mm)
Fissura permitida (mm)

SAIR

Iniciar DISSERTAÇÃO - Micro... Project1 - Microsoft Vis... FISSURAS 17:45

Figura 7.15 Tela principal do exemplo 5

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

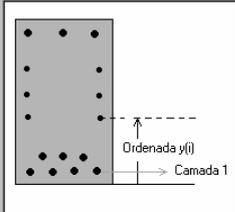
ARMADURA LONGITUDINAL

	Nº de barras da camada	Diâmetro das barras (mm)	Ordenada da camada (cm)
Camada 1	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="16"/>	<input type="text" value="5,6"/>
Camada 2	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="20"/>
Camada 3	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="35"/>
Camada 4	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="50"/>
Camada 5	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="65"/>
Camada 6	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="10"/>	<input type="text" value="74,5"/>
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 -



CONFIRMAR DADOS

Figura 7.16 Tela da armadura do exemplo 5.

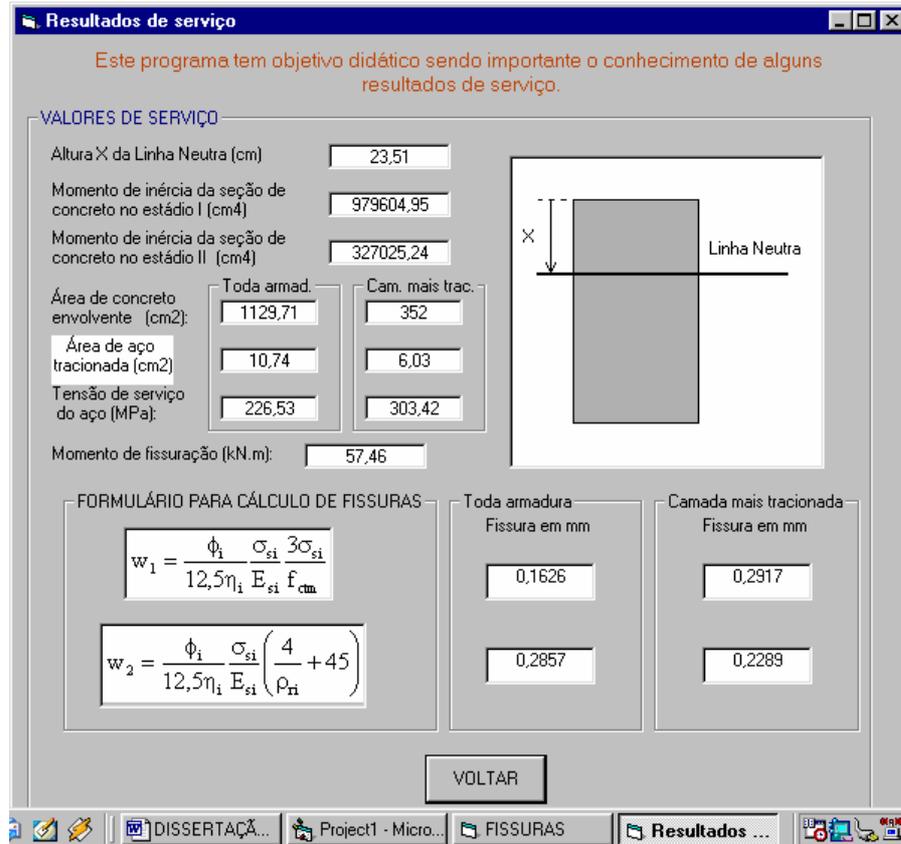


Figura 7.17 Tela com resultados de serviço do exemplo 5

7.1.6 Exemplo 6:

Neste exemplo a seção do exemplo 5 foi rebatida segundo eixo horizontal, como mostra a figura 7.18, e submetida à igual momento em módulo, porém com sentido contrário, confirmando a consistência dos resultados.

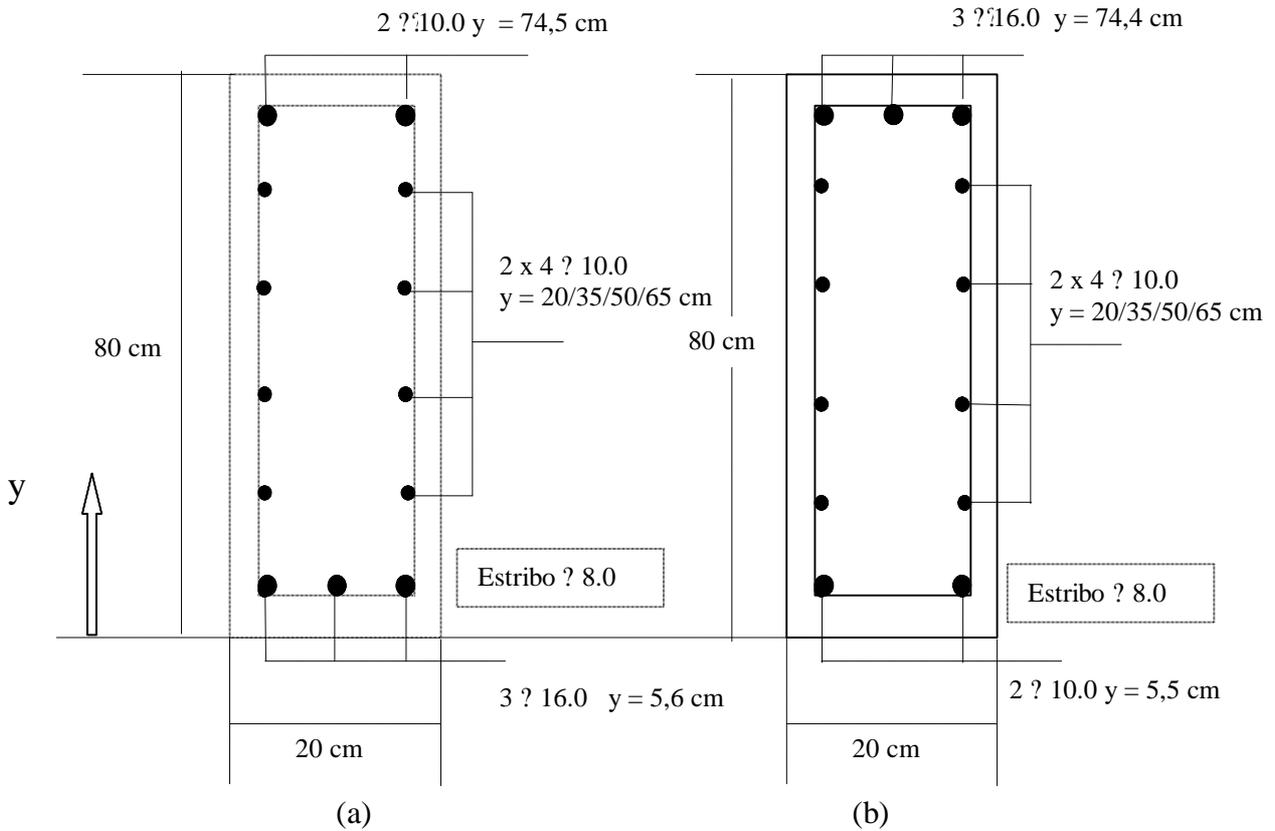


Figura 7.18 (a) Seção transversal do exemplo 5 - (b) Seção transversal do exemplo 6



Figura 7.19 Tela principal do exemplo 6

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	2	10	5,5
Camada 2	2	10	15
Camada 3	2	10	30
Camada 4	2	10	45
Camada 5	2	10	60
Camada 6	3	16	74,4
Camada 7			
Camada 8			
Camada 9			
Camada 10			

DADOS GERAIS

Número de camadas de armadura:

Diâmetro do estribo (mm):

Cobertura da armadura (cm):

- Preenchimento de dados -

CONFIRMAR DADOS

Figura 7.20 Tela da armadura do exemplo 6

Resultados de serviço

Este programa tem objetivo didático sendo importante o conhecimento de alguns resultados de serviço.

VALORES DE SERVIÇO

Altura X da Linha Neutra (cm):

Momento de inércia da seção de concreto no estágio I (cm⁴):

Momento de inércia da seção de concreto no estágio II (cm⁴):

Área de concreto envolvente (cm²):

Toda armad.	Cam. mais trac.
<input type="text" value="1129,71"/>	<input type="text" value="352"/>

Área de aço tracionada (cm²):

<input type="text" value="10,74"/>	<input type="text" value="6,03"/>
------------------------------------	-----------------------------------

Tensão de serviço do aço (MPa):

<input type="text" value="226,53"/>	<input type="text" value="303,42"/>
-------------------------------------	-------------------------------------

Momento de fissuração (kN.m):

FORMULÁRIO PARA CÁLCULO DE FISSURAS

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

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

Toda armadura - Fissura em mm:

Camada mais tracionada - Fissura em mm:

Toda armadura - Fissura em mm:

Camada mais tracionada - Fissura em mm:

VOLTAR

Figura 7.21 Tela com resultados de serviço do exemplo 6

7.2 SEÇÃO T

7.2.1. Exemplo 7:

Neste exemplo, apresenta-se a análise de viga de concreto armado de seção T indicada na figura 7.13. Na seção mais solicitada, esta viga está submetida a um momento atuante de 80 kN.m, devido à carga permanente, e de 50 kN.m, devido à carga variável. A viga está inserida em um meio de agressividade moderada e é parte da estrutura de um prédio comercial. O concreto adotado apresenta f_{ck} de 25 MPa. Sua armadura foi projetada em aço CA-50, sendo utilizadas barras dentadas, e cobrimento de armadura estabelecido em 3 cm.

Da análise dos resultados, observa-se que o valor calculado para a abertura das fissuras fica dentro do limite prescrito pela norma, porém os resultados calculados com as considerações distintas diferem em 71,3%.

Este exemplo testou uma seção T, submetida a momento fletor positivo e com linha neutra cortando a alma da seção.

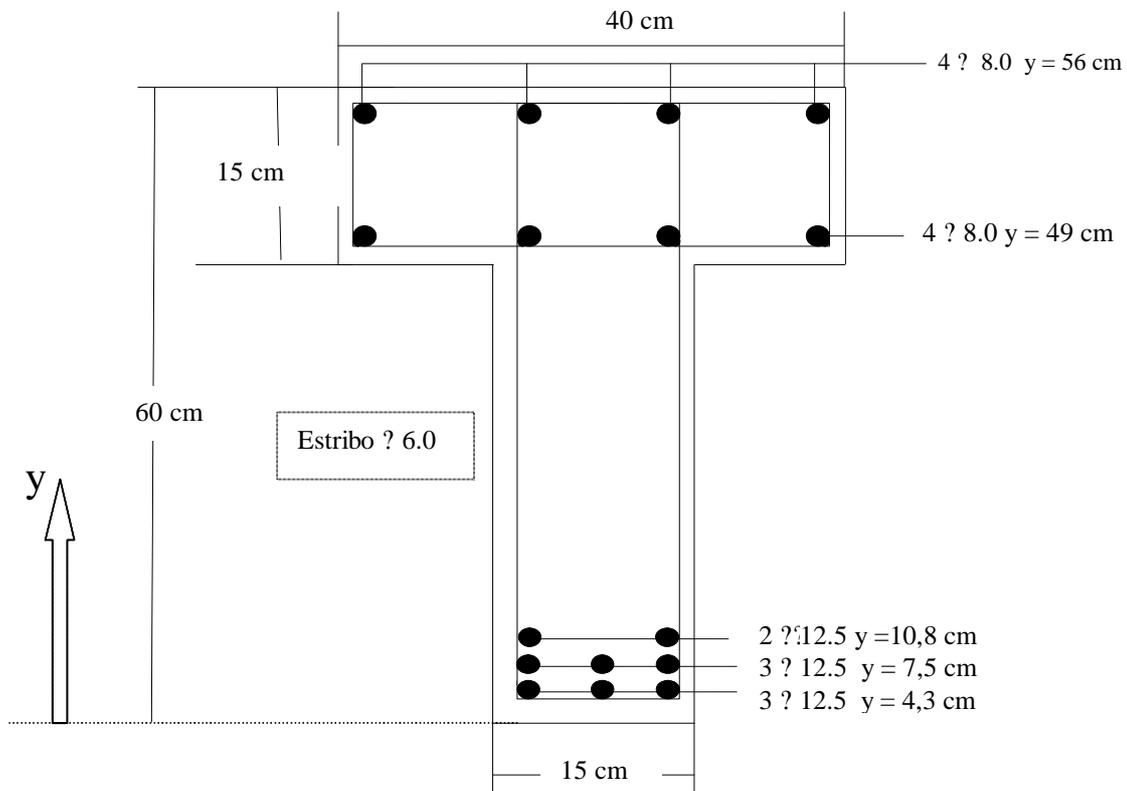


Figura 7.22 Seção transversal do exemplo 7

FISSURAS
Arquivo Ajuda

VERIFICAÇÃO DE FISSURAS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

NBR 6118 (Março/ 2003)

CONCRETO (fck em MPa)

20 40
 25 45
 30 50
 35 Outro:

AÇO **BARRA**

CA-25 Lisa
 CA-50 Dentada
 CA-60 Alta aderência

AGRESSIVIDADE AMBIENTAL

Fraca Forte
 Moderada Muito Forte

AJUDA

USO DA EDIFICAÇÃO

Residencial
 Comercial
 Biblioteca, arquivo, oficina ou garagem

AJUDA

SEÇÃO TRANSVERSAL

Seção Retangular
 Seção T
 Seção T invertida

ARMADURA

DIMENSÕES (cm)

bw=
bf=
hf=
h=

SOLICITAÇÕES

Momento fletor devido a cargas permanentes:
 (kN.m)

Momento devido a cargas acidentais:
 (kN.m)

MOMENTO DE SERVIÇO
 (kN.m)

VERIFICAR

SEÇÃO EM SERVIÇO

FISSURAS

Fissura calculada - Toda armadura: (mm)
Fissura calculada - 1ª camada: (mm)
Fissura permitida: (mm)

SAIR

Figura 7.23 Tela principal do exemplo 7

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

Camada	Nº de barras da camada	Diâmetro das barras (mm)	Ordenada da camada (cm)
Camada 1	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="12,5"/>	<input type="text" value="4,3"/>
Camada 2	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="12,5"/>	<input type="text" value="7,5"/>
Camada 3	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="12,5"/>	<input type="text" value="10,8"/>
Camada 4	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="49"/>
Camada 5	<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="8"/>	<input type="text" value="56"/>
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 -

CONFIRMAR DADOS

Figura 7.24 Tela da armadura do exemplo 7

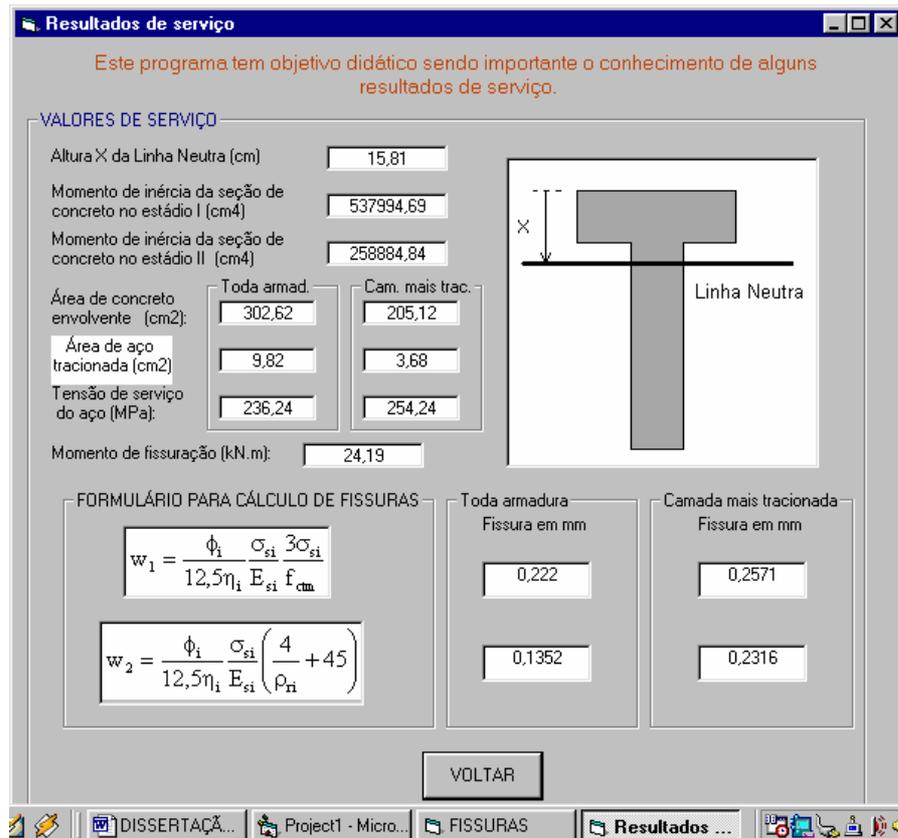


Figura 7.25 Tela com resultados de serviço do exemplo 7

7.2.2. Exemplo 8:

Neste exemplo se pretende analisar o estado de fissuração de uma viga de seção T, submetida a momento positivo e com linha neutra interceptando a mesa da seção. A viga é parte de uma estrutura residencial, construída com concreto de f_{ck} 20 MPa, e armadura de aço CA-50 com barras dentadas. O momento de serviço é composto por 40 kN.m devido à cargas permanentes e 30 kN.m devido à cargas variáveis.

Novamente observa-se que sendo considerada apenas a camada mais tracionada a abertura de fissura ultrapasa o prescrito por norma, o que não acontece quando for adotado o critério de utilização de toda a armadura. A diferença entre os valores calculados é de 148,5%, evidenciando a não equivalência dos mesmos.

A seção transversal da viga é indicada na figura 7.26.

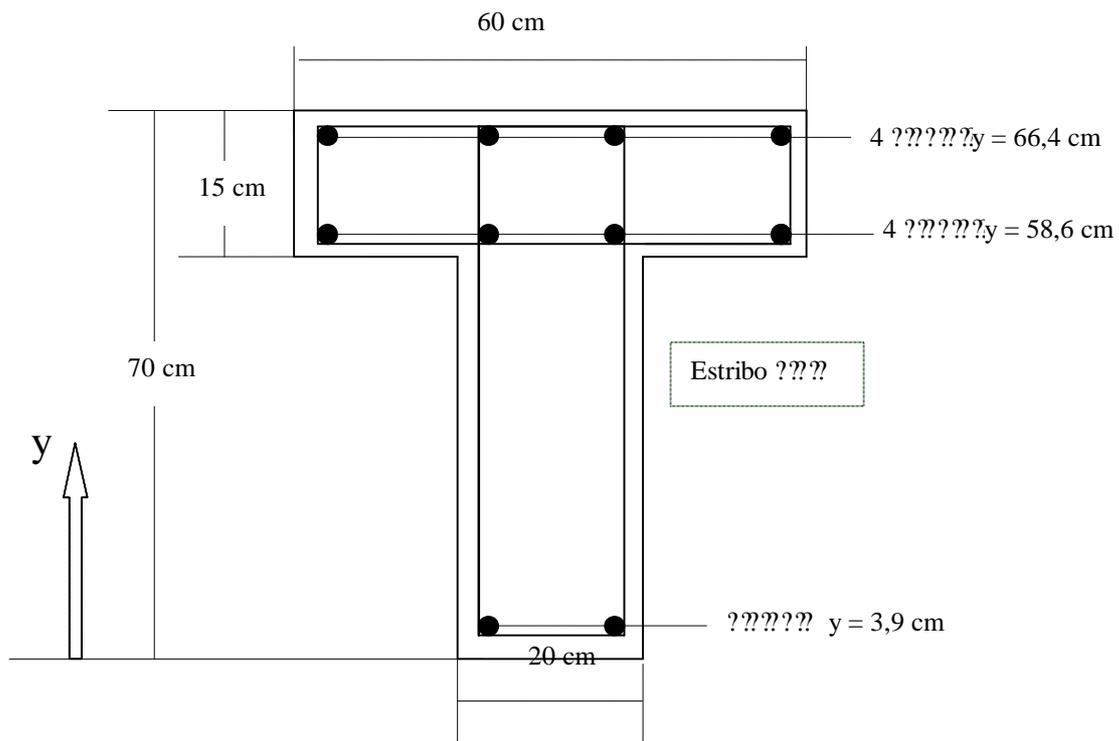


Figura 7.26 Seção transversal do exemplo 8



Figura 7.27 Tela principal do exemplo 8

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	2	16	3,9
Camada 2	4	10	58,6
Camada 3	4	10	66,4
Camada 4			
Camada 5			
Camada 6			
Camada 7			
Camada 8			
Camada 9			
Camada 10			

DADOS GERAIS

Número de camadas de armadura:

Diâmetro do estribo (mm):

Cobertura da armadura (cm):

- Preenchimento de dados -

CONFIRMAR DADOS

Figura 7.28 Tela da armadura do exemplo 8

Resultados de serviço

Este programa tem objetivo didático sendo importante o conhecimento de alguns resultados de serviço.

VALORES DE SERVIÇO

Altura X da Linha Neutra (cm):

Momento de inércia da seção de concreto no estágio I (cm⁴):

Momento de inércia da seção de concreto no estágio II (cm⁴):

Área de concreto envolvente (cm²):

Toda armad.	562,88	Cam. mais trac.	318
Área de aço tracionada (cm ²):	7,16		4,02
Tensão de serviço do aço (MPa):	187,69		328,89

Momento de fissuração (kN.m):

FORMULÁRIO PARA CÁLCULO DE FISSURAS

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

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

Toda armadura - Fissura em mm:

Camada mais tracionada - Fissura em mm:

Toda armadura - Fissura em mm:

Camada mais tracionada - Fissura em mm:

VOLTAR

Figura 7. 29 Tela com resultados de serviço do exemplo 8

7.2.3. Exemplo 9:

Neste exemplo, é analisada a seção T de uma viga de concreto armado, mostrada na figura 7.30. A seção está submetida à um momento fletor negativo de 50 kN.m, devido às cargas permanentes, e de 50 kN.m, devido à carga variável. A viga está inserida em um meio de agressividade forte e é parte da estrutura de um prédio residencial. O concreto adotado apresenta f_{ck} de 22 MPa. Sua armadura foi projetada em aço CA-50, sendo utilizadas barras dentadas e o cobrimento de armadura estabelecido foi de 4 cm, de acordo com sua inserção ambiental. A linha neutra desta seção corta sua alma.

Neste exemplo os dois critérios apresentam o mesmo valor para a abertura de fissuras, estando ambos dentro do limite prescrito por norma.

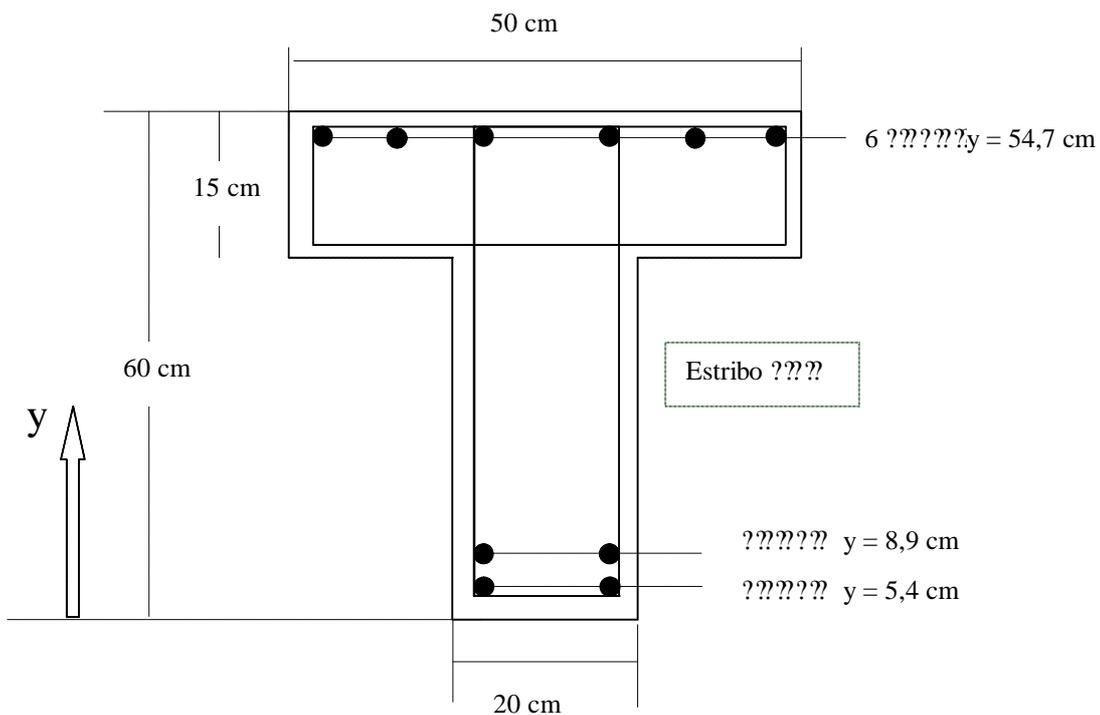


Figura 7.30 Seção transversal do exemplo 9

FISSURAS
Arquivo Ajuda

VERIFICAÇÃO DE FISSURAS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO
NBR 6118 (Março/ 2003)

CONCRETO (fck em MPa)

20 40
 25 45
 30 50
 35 Outro:

AÇO **BARRA**

CA-25 Lisa
 CA-50 Dentada
 CA-60 Alta aderência

AGRESSIVIDADE AMBIENTAL

Fraca Forte
 Moderada Muito Forte

USO DA EDIFICAÇÃO

Residencial
 Comercial
 Biblioteca, arquivo, oficina ou garagem

SEÇÃO TRANSVERSAL

Seção Retangular
 Seção T
 Seção T invertida

DIMENSÕES (cm)

bw=
bf=
hf=
h=

SOLICITAÇÕES

Momento fletor devido a cargas permanentes:
 (kN.m)

Momento devido a cargas acidentais:
 (kN.m)

MOMENTO DE SERVIÇO
 (kN.m)

FISSURAS

Fissura calculada - Toda armadura - (mm)
Fissura calculada - 1ª camada - (mm)
Fissura permitida (mm)

Figura 7.31 Tela principal do exemplo 9

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

Camada	Nº de barras da camada	Diâmetro das barras (mm)	Ordenada da camada (cm)
Camada 1	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="16"/>	<input type="text" value="5,4"/>
Camada 2	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="12,5"/>	<input type="text" value="8,9"/>
Camada 3	<input type="text" value="6"/>	<input type="text" value="12,5"/>	<input type="text" value="54,7"/>
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 -

Figura 7.32 Tela da armadura do exemplo 9

Resultados de serviço

Este programa tem objetivo didático sendo importante o conhecimento de alguns resultados de serviço.

VALORES DE SERVIÇO

Altura X da Linha Neutra (cm)

Momento de inércia da seção de concreto no estágio I (cm⁴)

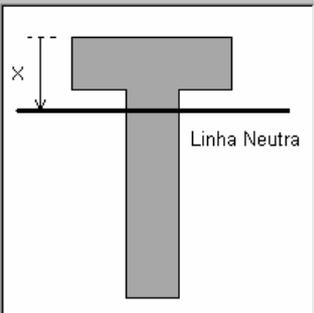
Momento de inércia da seção de concreto no estágio II (cm⁴)

Área de concreto envolvente (cm²):
 Toda armad. Cam. mais trac.

Área de aço tracionada (cm²)

Tensão de serviço do aço (MPa):

Momento de fissuração (kN.m):



FORMULÁRIO PARA CÁLCULO DE FISSURAS

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

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

Toda armadura Fissura em mm

Camada mais tracionada Fissura em mm

Toda armadura Fissura em mm

Camada mais tracionada Fissura em mm

VOLTAR

Figura 7.33 Tela com resultados de serviço do exemplo 9

8 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.

Pelas expressões matemáticas prescritas em norma, conclui-se que os principais parâmetros para o controle da fissuração em vigas fletidas são:

- ? Resistência do concreto;
- ? Tensão na armadura tracionada;
- ? Bitolas das barras da armadura de tração;
- ? Conformação superficial das barras de armadura;
- ? Área de concreto de envolvimento da armadura tracionada.

Neste trabalho o cálculo do estado de fissuração foi automatizado e foram apresentadas aplicações numéricas.

Cabe salientar que duas interpretações cabíveis do texto da NBR 6118, no que diz respeito à armadura a ser considerada na verificação, foram analisadas. 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.

Também foi verificado que, conforme aumenta a altura da viga, mantendo-se constante outros fatores, maior é a aproximação entre as duas considerações.

Na redação final da NBR 6118, nada é especificado a respeito de vigas com altura maior do que 1,2 m. Pela grande proximidade entre os resultados nestes casos, talvez se pudesse adotar, com a devida cautela, o critério de verificação apenas da camada mais tracionada. Não está claro no texto da norma se a adoção do critério que utiliza apenas a camada mais tracionada é uma simplificação de cálculo ou representa com mais fidelidade o fenômeno físico envolvido.

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. Pelo fato de não serem consideradas baixam muito o valor da taxa de armadura (ρ_{ti}), considerada no cálculo. 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.

Deve-se considerar ainda, que em alguns dos exemplos rodados, em vigas de altura inferior à 1,20 m, a diferença entre os valores calculados pelos dois critérios é superior a 35%.

Deste trabalho, por meio de suas aplicações numéricas, pode-se concluir que os dois critérios de cálculo adotados não são equivalentes. Sugere-se, portanto, que estudos adicionais sejam desenvolvidos para que se possa concluir sobre a validade dos dois procedimentos.

Sugere-se, também, o questionamento junto à Comissão responsável pela redação da NBR 6118, sobre o que está realmente sendo proposto como procedimento de cálculo, com a finalidade de tornar mais claro o texto onde o critério foi indicado, evitando que se possa fazer interpretações incorretas da norma.

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.

BOTELHO, M.H.C., MARCHETTI, O. **Concreto armado.** Edgard Blücher, São Paulo, 2002.

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

MONTOYA, P. J., MESEGUER, A. G., CABRÉ, F.M. **Hormigón armado.** Gustavo Gili, Barcelona, 2000.

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

PFEIL, W. **Concreto armado, 3.** Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1984.

SILVA FILHO, L.C.P. **Fundamental Aspects of Bridge Management.** ENECE2000. Extrato de Tese de doutorado da Universidade de Leeds. Janeiro, 1999.