



6 VERIFICAÇÃO DA FISSURAÇÃO VIGAS CONCRETO ARMADO

6.1 CRITÉRIOS DE DURABILIDADE



NBR 6118:2003/7

- Controle da fissuração para evitar a corrosão das armaduras sujeitas às intempéries;
- Qualidade do concreto e cobrimento adequado;
- Qualidade no detalhamento das armaduras de modo a permitir boas condições de lançamento e adensamento;
- Drenagem e impermeabilização eficientes em superfícies expostas;
- Evitar formas arquitetônicas que comprometam a vida útil da estrutura;
- Programa de inspeção e manutenção preventiva.



6.2 CLASSES DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL



NBR 6118:2003/6.4.2

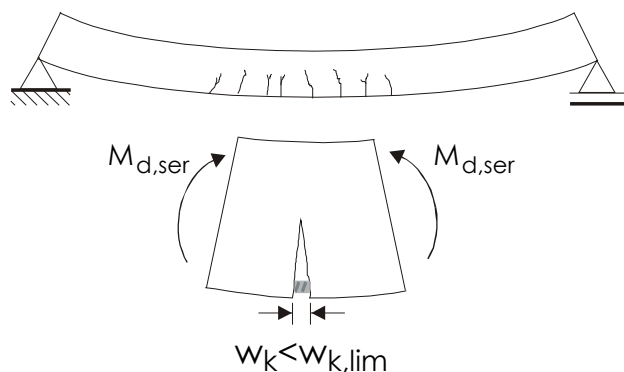
Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação	Risco de deterioração
I	Fraca	Rural	Insignificante
		Submersa	
II	Moderada	Urbana	Pequeno
III	Forte	Marinha	Grande
		Industrial	
IV	Muito forte	Industrial	Elevado
		Respingos maré	

6.3 LIMITES PARA ABERTURA DE FISSURAS



NBR 6118:2003/13.4.2

TIPO ESTRUTURAL	CLASSE AGRESSIVIDADE	ABERTURA LIMITE
CONCRETO ARMADO	CAA I	0,4 mm
	CAA II / CAA III	0,3 mm
	CAA IV	0,2 mm



Razões da limitação:

- Proteção das armaduras quanto à corrosão;
- Aceitabilidade sensorial dos usuários.

6.4 QUALIDADE DO CONCRETO E COBRIMENTO DAS ARMADURAS



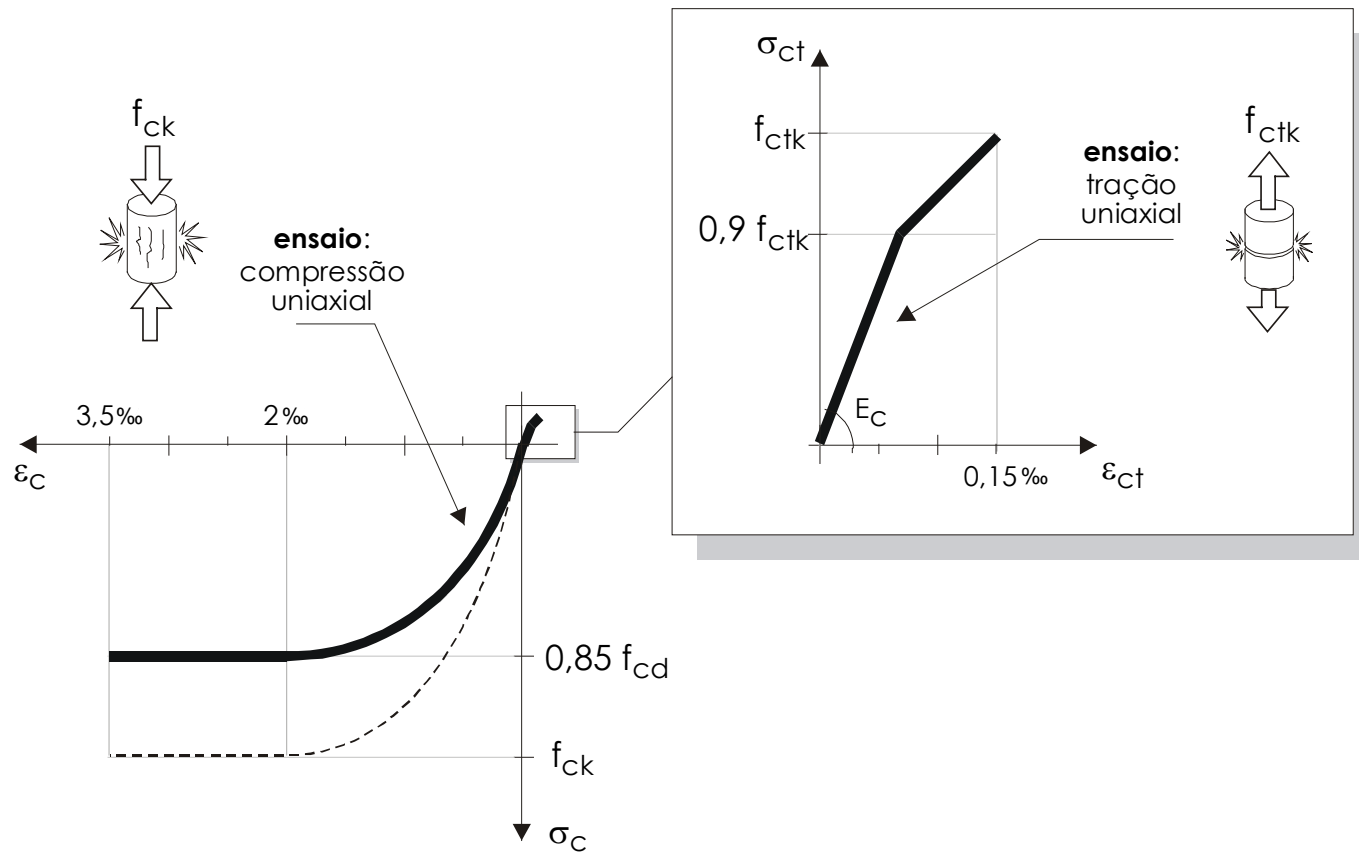
NBR 6118:2003/7.4.2;7.4.7.2

Concreto	Classe de agressividade ambiental			
	I	II	III	IV
Classe de concreto	$\geq C20$	$\geq C25$	$\geq C30$	$\geq C40$
Relação água/cimento	$\leq 0,65$	$\leq 0,60$	$\leq 0,55$	$\leq 0,45$
Cobrimento viga/pilar	25 mm	30 mm	40 mm	50 mm

6.5 DIAGRAMA σ – ε DO CONCRETO



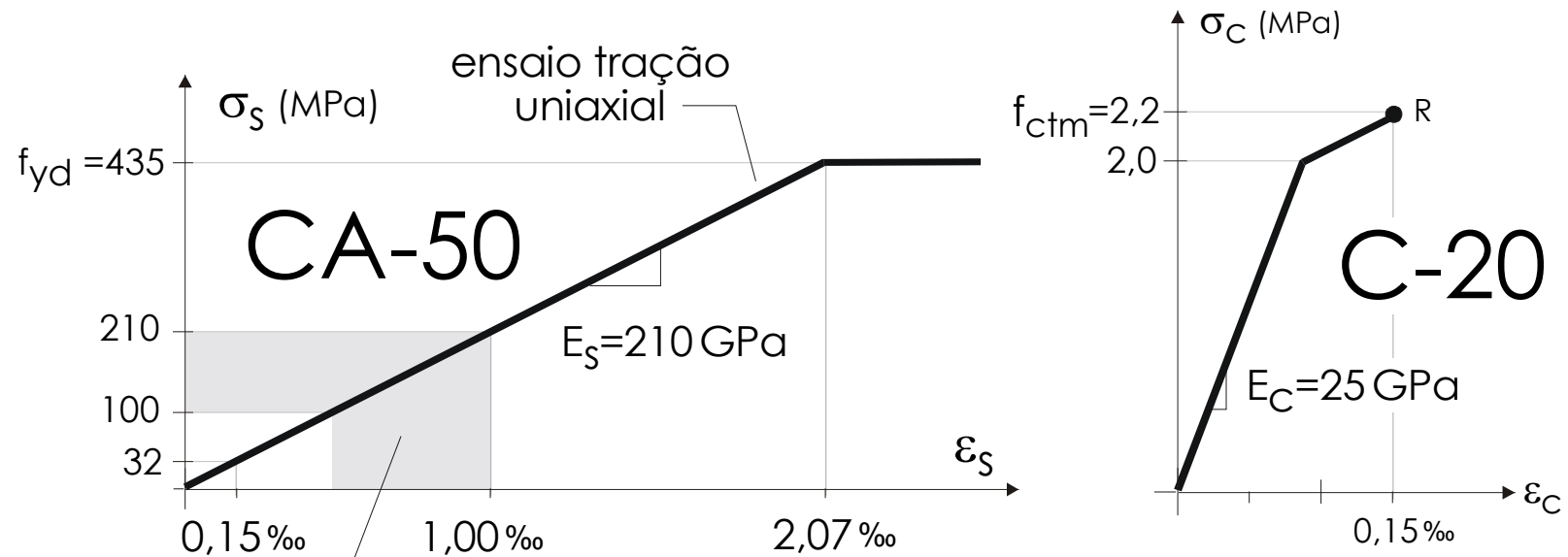
NBR 6118:2003/8.2.10



6.6 DIAGRAMA $\sigma-\varepsilon$ DO AÇO CA-50



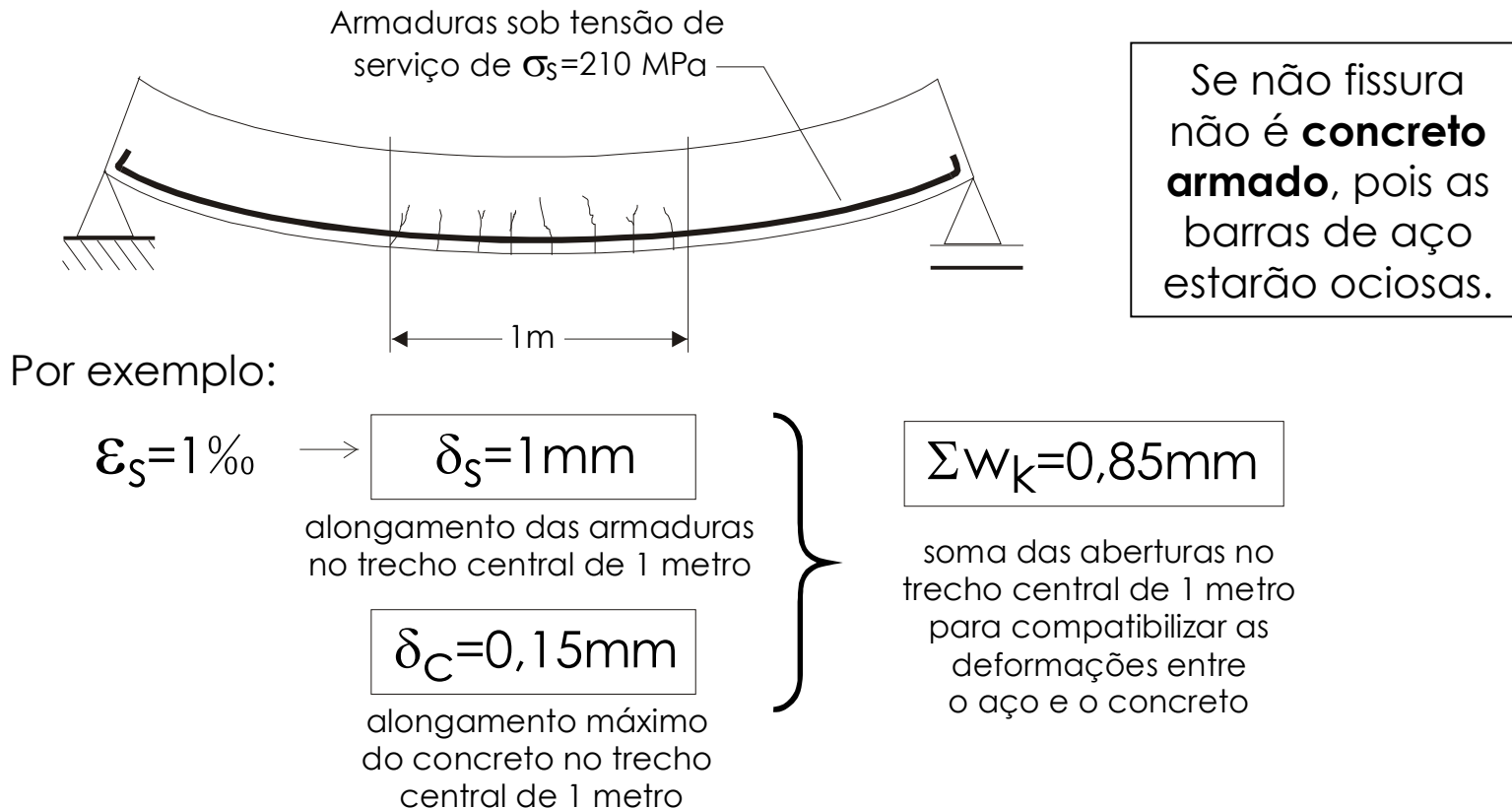
NBR 6118:2003/8.3.6



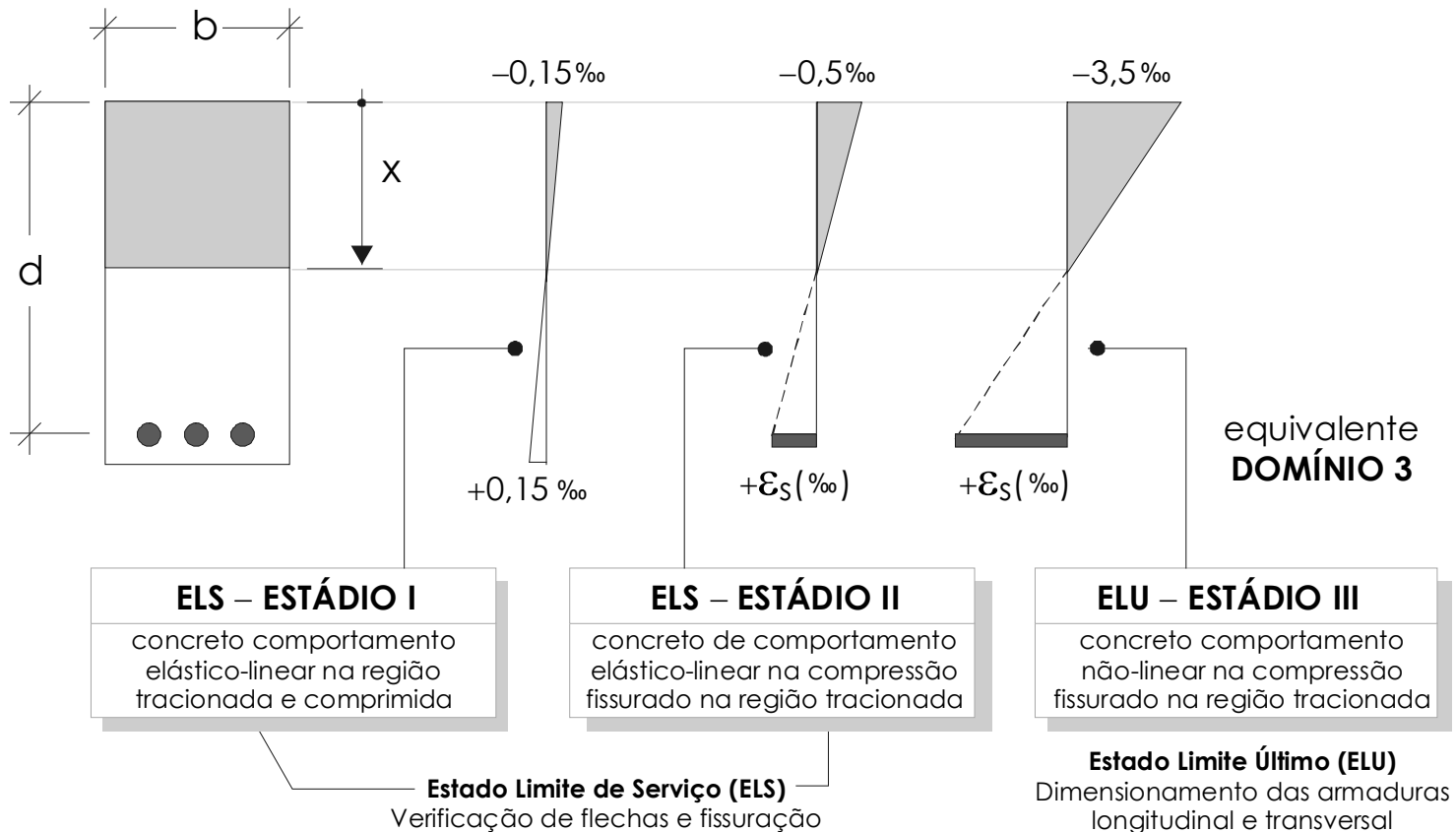
faixa de trabalho da armadura em serviço

O concreto tracionado não acompanha as deformações das armaduras e, portanto, fissura para compatibilizar as deformações

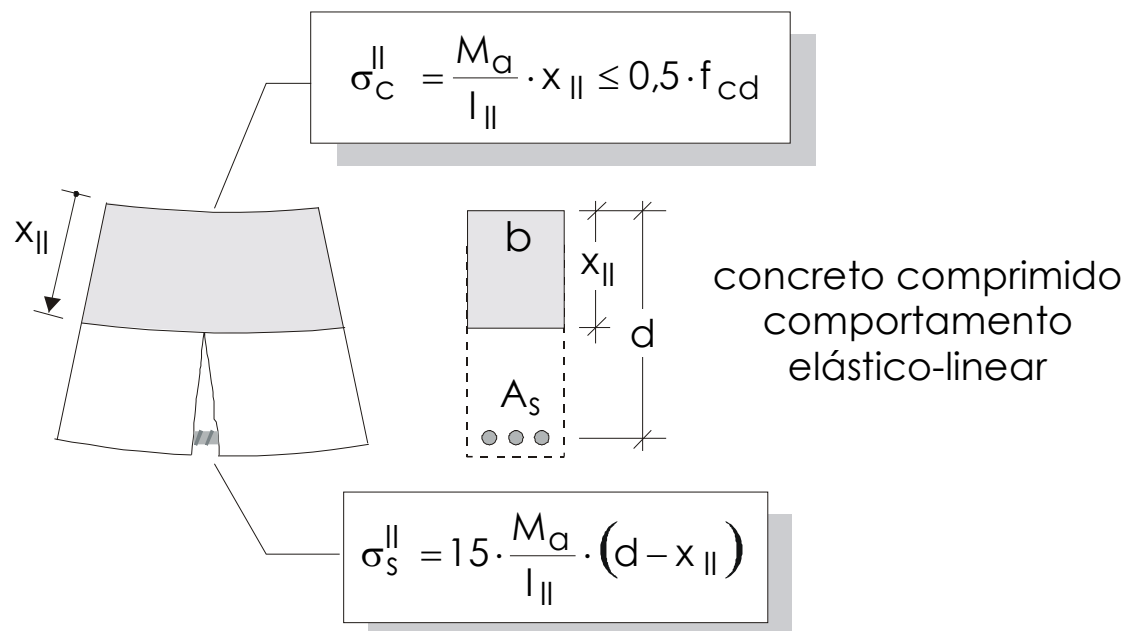
6.7 COMPATIBILIDADE DE DEFORMAÇÕES



6.8 DESCRIÇÃO DOS ESTÁDIOS



6.8.1 TENSÕES NO ESTÁDIO II



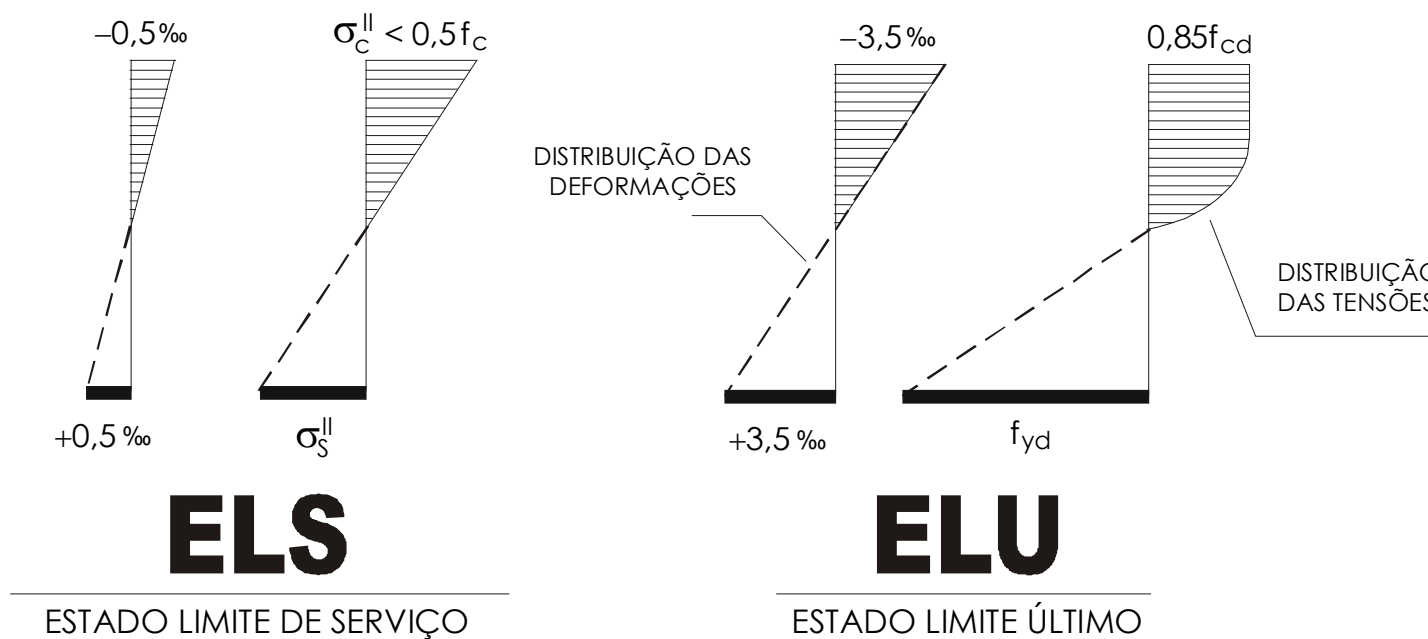
onde:

$$x_{II} = \frac{15 \cdot A_s}{b} \cdot \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{2 \cdot b \cdot d}{15 \cdot A_s}} \right) \quad \begin{array}{l} \text{profundidade LN} \\ \text{no ESTÁDIO II} \end{array}$$

$$I_{II} = \frac{b \cdot x_{II}^3}{3} + 15 \cdot A_s \cdot (d - x_{II})^2 \quad \begin{array}{l} \text{momento de inércia} \\ \text{à flexão no ESTÁDIO II} \end{array}$$

As verificações de abertura de fissuras são feitas no ESTÁDIO II

6.8.2 TENSÕES NOS ESTADOS LIMITES

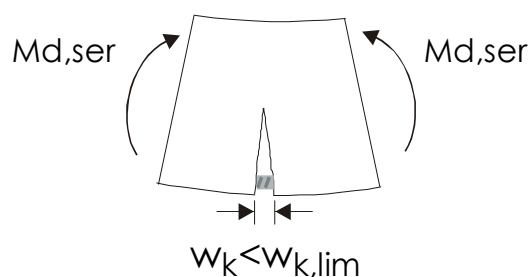


6.9 COMBINAÇÕES DAS AÇÕES NO ESTADO LIMITE DE SERVIÇO (ELS)



NBR 6118:2003/11.8.3

Verificações para o estado limite de abertura de fissuras ELS-W



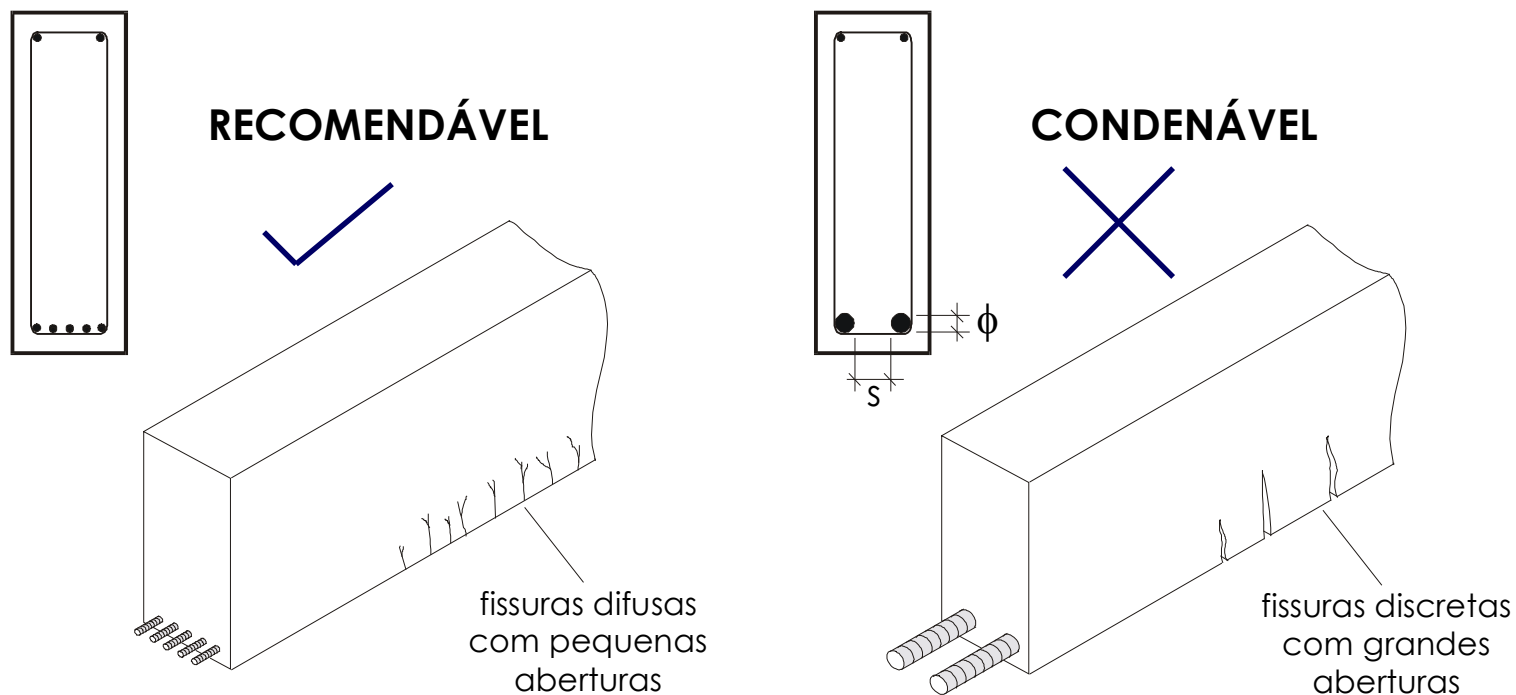
COMBINAÇÕES FREQUENTES DE SERVIÇO

$$F_{d,ser} = \sum F_{g,k} + \psi_1 \cdot F_{q,k}$$

Ações		ψ_1	ψ_2
Cargas acidentais de edifícios	Residenciais	0,4	0,3
	Comerciais e públicos	0,6	0,4
	Bibliotecas, oficinas, garagens	0,7	0,6

6.10 RECOMENDAÇÕES PARA CONTROLE DA ABERTURA DE FISSURAS

Quanto **menor o diâmetro** das barras e **menor o espaçamento** entre elas maior será o controle da fissuração.



6.11 DISPENSA DA VERIFICAÇÃO DA ABERTURA DE FISSURAS



NBR 6118:2003/17.3.3.3

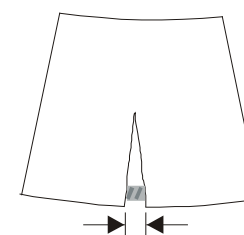
Tensão na barra no ESTÁDIO II σ_s^{II} (MPa)	$\phi_{\text{máx}}$ (mm)	$S_{\text{máx}}$ (cm)
≤ 160	32	30
≤ 200	25	25
≤ 240	16	20
≤ 280	12,5	15
≤ 320	10	10
≤ 360	8	6
> 360	Verificar abertura de fissuras pelas expressões apresentadas item 17.3.3.2 da NBR 6118:2003	

6.12 VERIFICAÇÃO DA ABERTURA DE FISSURAS



NBR 6118:2003/17.3.3.2

$$w_k < \left[\begin{array}{l} \frac{\phi_i}{12,5 \cdot \eta_1} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \frac{3 \cdot \sigma_{si}}{f_{ctm}} \\ \frac{\phi_i}{12,5 \cdot \eta_1} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right) \end{array} \right]$$



$w_k < 0,3\text{mm}$

A fissura não é nociva, sendo pequeno o risco de corrosão.

Estado Limite de Abertura de Fissuras (ELS-W) implica na interdição da peça e, conseqüente, recuperação estrutural para não que ocorra sensível redução da vida útil ou perda de funcionalidade da mesma.

6.12.1 DIÂMETRO DA BARRA

quanto **menor** o diâmetro da barra
menor será a abertura de fissuras

$$w_k < \left[\frac{\phi_i}{12,5 \cdot \eta_1} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \frac{3 \cdot \sigma_{si}}{f_{ctm}} \right]$$
$$\frac{\phi_i}{12,5 \cdot \eta_1} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right)$$

ϕ_i : diâmetro da barra i (mm)

6.12.2 TENSÃO NA BARRA NO ESTÁDIO II

quanto **menor** a tensão na barra **menor** será a abertura de fissuras

$$w_k < \left[\frac{\phi_i}{12,5 \cdot \eta_1} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \frac{3 \sigma_{si}}{f_{ctm}} \right]$$

σ_{si} : tensão de tração na barra i no ESTÁDIO II (em MPa)

$$\frac{\phi_i}{12,5 \cdot \eta_1} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right)$$

6.12.3 COEFICIENTE DE CONFORMAÇÃO SUPERFICIAL DA BARRA

$w_k <$

$$\frac{\phi_i}{12,5} \eta_1 \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \frac{3 \cdot \sigma_{si}}{f_{ctm}}$$

quanto **maior** o coeficiente de conformação superficial da barra **menor** a abertura de fissuras

$$\frac{\phi_i}{12,5} \eta_1 \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right)$$

$\eta_1 = 2,25$ (barras nervuradas)

6.12.4 MÓDULO DE ELASTICIDADE DA BARRA

quanto **maior** o módulo de elasticidade da barra **menor** a abertura de fissuras

$$w_k < \left[\frac{\phi_i}{12,5 \cdot \eta_1} \frac{\sigma_{sj}}{E_{sj}} \frac{3 \cdot \sigma_{sj}}{f_{ctm}} \right]$$

$$\frac{\phi_i}{12,5 \cdot \eta_1} \frac{\sigma_{sj}}{E_{sj}} \cdot \left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right)$$

$E_{sj} = 210000 \text{ MPa}$

6.12.5 RESISTÊNCIA MÉDIA À TRAÇÃO DO CONCRETO

quanto **maior** a resistência à tração do concreto **menor** a abertura de fissuras

$$w_k < \left[\frac{\phi_i}{12,5 \cdot \eta_1} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \frac{3 \cdot \sigma_{si}}{f_{ctm}} \right] - \frac{\phi_i}{12,5 \cdot \eta_1} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \left(\frac{4}{\rho_{ri}} + 45 \right)$$

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

6.12.6 TAXA DE ARMADURA NA REGIÃO DE ENVOLVIMENTO

$$w_k < \left[\frac{\phi_i}{12,5 \cdot \eta_1} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \frac{3 \cdot \sigma_{si}}{f_{ctm}} \right]$$

quanto **maior** a taxa de armadura
menor a abertura de fissuras

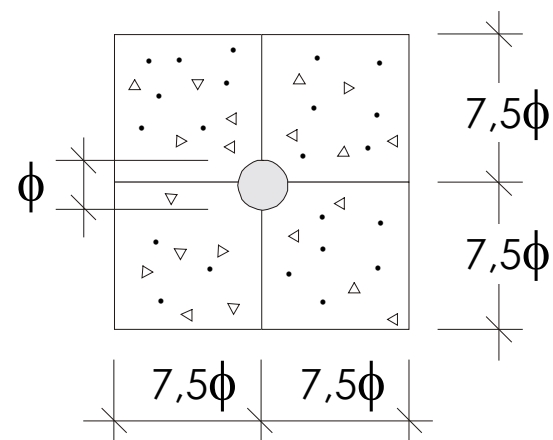
$$\frac{\phi_i}{12,5 \cdot \eta_1} \cdot \frac{\sigma_{si}}{E_{si}} \cdot \left(\frac{4}{\rho_{ri}} - 45 \right)$$
$$\rho_{ri} = \frac{A_{s1}\phi}{A_{cri}}$$

quanto **maior** a área da região de
envolvimento **maior** a abertura de fissuras

6.12.6 TAXA DE ARMADURA (cont...)

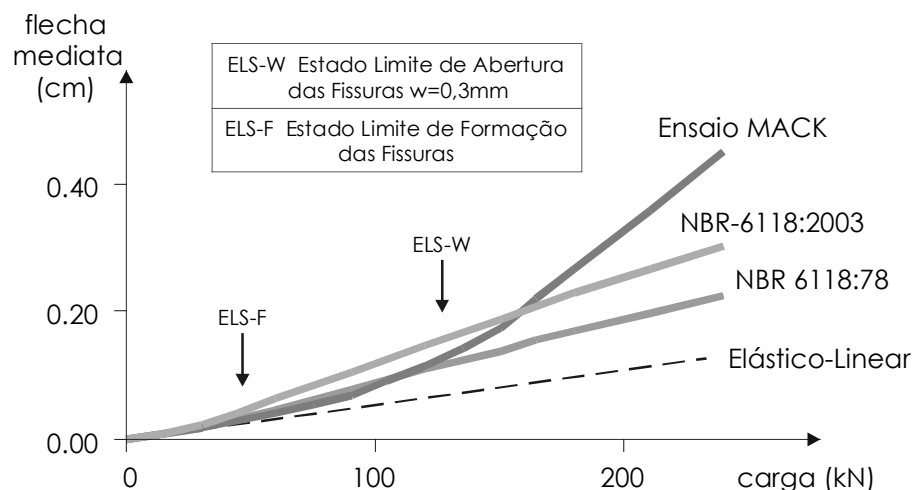
ϕ (mm)	$A_{s1\phi}$ (cm ²)
5	0,2
6,3	0,315
8	0,5
10	0,8
12,5	1,25
16	2
20	3,15

$$\rho_{ri} = \frac{A_{s1\phi}}{A_{cri}}$$

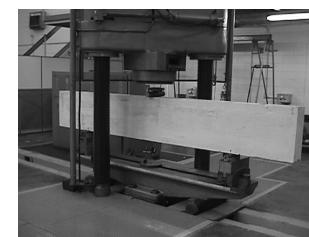


limites da região de
envolvimento máxima

6.13 ENSAIO DE FLEXÃO



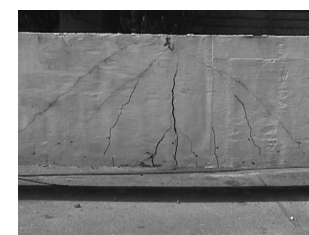
- NBR 6118:2003 é mais desfavorável abaixo do Estado Limite de Abertura de Fissuras ELS-W;
- As não-linearidades observadas para valores acima do ELS-W não são consideradas pela NBR 6118:2003 (discrepância com o ensaio);



Ensaio flexão viga (20/60)
Lab.Estruturas – Mackenzie



Estado limite de formação de fissuras



Estado limite de abertura de fissuras