

# Norma Portuguesa

---

**NP**  
**EN 1992-1-2**  
**2010**

## **Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão** **Parte 1-2: Regras gerais** **Verificação da resistência ao fogo**

Eurocode 2 – Calcul des structures en béton  
Partie 1-2: Règles générales  
Calcul du comportement au feu

Eurocode 2 – Design of concrete structures  
Part 1-2: General rules  
Structural fire design

### **ICS**

13.220.50; 91.010.30; 91.080.40

### **DESCRITORES**

Eurocódigos; betões; estruturas de betão; edifícios; betão armado; ensaios de resistência ao fogo; segurança contra incêndios; resistência dos materiais; segurança contra incêndios em edifícios; cálculos matemáticos; lajes; vigas

### **CORRESPONDÊNCIA**

Versão portuguesa da EN 1992-1-2:2004 + AC:2008

### **HOMOLOGAÇÃO**

Termo de Homologação n.º 45/2010, de 2010-03-09  
A presente Norma resulta da revisão da  
NP ENV 1992-1-2:2000

### **ELABORAÇÃO**

CT 115 (LNEC)

### **EDIÇÃO**


Março de 2010

### **CÓDIGO DE PREÇO**

XEC028

© IPQ reprodução proibida

---

Instituto Português da  Qualidade

Rua António Gião, 2  
2829-513 CAPARICA PORTUGAL

Tel. + 351-212 948 100 Fax + 351-212 948 101  
E-mail: [ipq@mail.ipq.pt](mailto:ipq@mail.ipq.pt) Internet: [www.ipq.pt](http://www.ipq.pt)

## **Preâmbulo nacional**

À Norma Europeia EN 1992-1-2:2004, foi dado estatuto de Norma Portuguesa em 2005-04-04 (Termo de Adopção nº 532/2005, de 2005-04-04).

A presente Norma substitui a NP ENV 1992-1-2:2000 e constitui a versão portuguesa da EN 1992-1-2:2004 + AC:2008, a qual faz parte de um conjunto de normas integrantes do Eurocódigo 2: Projecto de estruturas de betão.

Esta Norma constitui a Parte 1-2 do Eurocódigo 2 e trata do projecto de estruturas de betão em situação accidental de exposição ao fogo.

A aplicação desta Norma em Portugal deve obedecer às disposições constantes do respectivo Anexo Nacional NA, que dela faz parte integrante. Neste Anexo são nomeadamente concretizadas as prescrições explicitamente deixadas em aberto no corpo do Eurocódigo para escolha nacional, denominadas Parâmetros Determinados a nível Nacional (NDP).

**Versão portuguesa**

Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão  
Parte 1-2: Regras gerais  
Verificação da resistência ao fogo

Eurocode 2 – Planung von Stahlbeton-  
und Spannbetontragwerken  
Teil 1-2: Allgemeine Regeln  
Tragwerksbemessung für den  
Brandfall

Eurocode 2 – Calcul des structures  
en béton  
Partie 1-2: Règles générales  
Calcul du comportement au feu

Eurocode 2 – Design of  
concrete structures  
Part 1-2: General rules  
Structural fire design

A presente Norma é a versão portuguesa da Norma Europeia EN 1992-1-2:2004 + AC:2008 e tem o mesmo estatuto que as versões oficiais. A tradução é da responsabilidade do Instituto Português da Qualidade. Esta Norma Europeia e a sua Errata foram ratificadas pelo CEN em 2004-07-08 e 2008-07-30, respectivamente.

Os membros do CEN são obrigados a submeter-se ao Regulamento Interno do CEN/CENELEC que define as condições de adopção desta Norma Europeia, como norma nacional, sem qualquer modificação.

Podem ser obtidas listas actualizadas e referências bibliográficas relativas às normas nacionais correspondentes junto do Secretariado Central ou de qualquer dos membros do CEN.

A presente Norma Europeia existe nas três versões oficiais (alemão, francês e inglês). Uma versão noutra língua, obtida pela tradução, sob responsabilidade de um membro do CEN, para a sua língua nacional, e notificada ao Secretariado Central, tem o mesmo estatuto que as versões oficiais.

Os membros do CEN são os organismos nacionais de normalização dos seguintes países: Alemanha, Áustria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Eslováquia, Eslovénia, Espanha, Estónia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Letónia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Baixos, Polónia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suécia e Suíça.

**CEN**

Comité Européen de Normalization  
Europäisches Komitee für Normung  
Comité Européen de Normalisation  
European Committee for Standardization

**Secretariado Central: Avenue Marnix 17, B-1000 Bruxelas**

---

<b>Sumário</b>	<b>Página</b>
<b>Preâmbulo nacional</b> .....	<b>2</b>
<b>Preâmbulo</b> .....	<b>8</b>
Antecedentes do programa dos Eurocódigos.....	8
Estatuto e campo de aplicação dos Eurocódigos .....	9
Normas nacionais de implementação dos Eurocódigos.....	10
Ligações entre os Eurocódigos e as especificações técnicas harmonizadas (EN e ETA) relativas aos produtos.....	10
Informações adicionais específicas da EN 1992-1-2.....	10
Anexo Nacional da EN 1992-1-2 .....	13
<b>1 Generalidades</b> .....	<b>15</b>
1.1 Objectivo e campo de aplicação .....	15
1.1.1 Objectivo e campo de aplicação do Eurocódigo 2.....	15
1.1.2 Objectivo e campo de aplicação da Parte 1-2 do Eurocódigo 2 .....	15
1.2 Referências normativas.....	16
1.3 Pressupostos.....	16
1.4 Distinção entre Princípios e Regras de Aplicação .....	16
1.5 Termos e definições.....	16
1.6 Símbolos .....	17
1.6.1 Símbolos suplementares à EN 1992-1-1.....	17
1.6.2 Índices suplementares à EN 1992-1-1 .....	18
<b>2 Bases para o projecto</b> .....	<b>19</b>
2.1 Requisitos .....	19
2.1.1 Requisitos gerais.....	19
2.1.2 Curvas de incêndio nominais.....	19
2.1.3 Curvas de incêndio paramétricas.....	20
2.2 Acções .....	20
2.3 Valores de cálculo das propriedades dos materiais .....	20
2.4 Métodos de verificação.....	21
2.4.1 Generalidades .....	21
2.4.2 Análise por elementos .....	21
2.4.3 Análise de parte da estrutura.....	23
2.4.4 Análise estrutural global.....	23
<b>3 Propriedades dos materiais</b> .....	<b>23</b>

---

3.1 Generalidades .....	23
3.2 Propriedades de resistência e de deformação a temperaturas elevadas .....	23
3.2.1 Generalidades .....	23
3.2.2 Betão.....	24
3.2.3 Aço para betão armado.....	26
3.2.4 Aço de pré-esforço .....	29
3.3 Propriedades térmicas e físicas dos betões com agregados siliciosos e calcários .....	30
3.3.1 Extensão térmica .....	30
3.3.2 Calor específico.....	30
3.3.3 Condutibilidade térmica .....	32
3.4 Extensão térmica dos aços para betão armado e de pré-esforço.....	33
<b>4 Métodos de cálculo .....</b>	<b>34</b>
4.1 Generalidades .....	34
4.2 Método de cálculo simplificado .....	35
4.2.1 Generalidades .....	35
4.2.2 Perfis de temperatura.....	35
4.2.3 Secção transversal reduzida.....	35
4.2.4 Redução da resistência .....	35
4.3 Métodos de cálculo avançados .....	39
4.3.1 Generalidades .....	39
4.3.2 Resposta térmica.....	39
4.3.3 Resposta mecânica .....	39
4.3.4 Validação dos métodos de cálculo avançados.....	40
4.4 Esforço transversal, torção e amarração das armaduras.....	40
4.5 Destacamento do betão.....	41
4.5.1 Destacamento explosivo.....	41
4.5.2 Queda do betão.....	41
4.6 Juntas.....	41
4.7 Camadas de protecção .....	42
<b>5 Valores tabelados.....</b>	<b>42</b>
5.1 Objectivo e campo de aplicação .....	42
5.2 Regras gerais de cálculo .....	43
5.3 Pilares .....	47
5.3.1 Generalidades .....	47

---

5.3.2 Método A.....	47
5.3.3 Método B.....	49
5.4 Paredes.....	50
5.4.1 Paredes de compartimentação não resistentes .....	50
5.4.2 Paredes resistentes maciças .....	51
5.4.3 Paredes corta-fogo .....	52
5.5 Elementos traccionados .....	52
5.6 Vigas.....	52
5.6.1 Generalidades .....	52
5.6.2 Vigas simplesmente apoiadas .....	54
5.6.3 Vigas contínuas.....	54
5.6.4 Vigas expostas ao fogo por todos os lados .....	58
5.7 Lajes .....	58
5.7.1 Generalidades .....	58
5.7.2 Lajes maciças simplesmente apoiadas.....	59
5.7.3 Lajes maciças contínuas .....	60
5.7.4 Lajes fungiformes .....	61
5.7.5 Lajes nervuradas .....	61
<b>6 Betão de alta resistência (HSC) .....</b>	<b>63</b>
6.1 Generalidades .....	63
6.2 Destacamento do betão .....	64
6.3 Propriedades térmicas.....	64
6.4 Cálculo estrutural.....	64
6.4.1 Cálculo da capacidade resistente .....	64
6.4.2 Métodos de cálculo simplificados .....	65
6.4.3 Valores tabelados.....	66
<b>Anexo A (informativo) Perfis de temperatura .....</b>	<b>67</b>
<b>Anexo B (informativo) Métodos de cálculo simplificados .....</b>	<b>78</b>
B.1 Método da isotérmica de 500 °C.....	78
B.1.1 Princípio e campo de aplicação.....	78
B.1.2 Método de cálculo de uma secção transversal de betão armado sujeita a flexão composta.....	79
B.2 Método das zonas.....	82
B.3 Avaliação de uma secção transversal de betão armado sujeita a flexão composta pelo método baseado na estimativa da curvatura .....	87

---

B.3.1 Encurvadura de pilares em situação de incêndio .....	87
B.3.2 Método para avaliação da resistência ao fogo de secções de pilares .....	87
<b>Anexo C (informativo) Encurvadura de pilares em situação de incêndio.....</b>	<b>90</b>
<b>Anexo D (informativo) Métodos de cálculo para o esforço transversal, a torção e a amarração das armaduras.....</b>	<b>100</b>
D.1 Regras gerais .....	100
D.2 Armaduras de esforço transversal e de torção.....	100
D.3 Método de cálculo para a avaliação da resistência ao esforço transversal de uma secção de betão armado .....	101
D.4 Método de cálculo para a avaliação da resistência à torção de uma secção de betão armado.....	102
<b>Anexo E (informativo) Método de cálculo simplificado para vigas e lajes.....</b>	<b>103</b>
E.1 Generalidades.....	103
E.2 Vigas e lajes simplesmente apoiadas .....	103
E.3 Vigas e lajes contínuas.....	104
<b>Anexo Nacional NA .....</b>	<b>106</b>
<b>Introdução.....</b>	<b>106</b>
<b>NA.1 – Objectivo e campo de aplicação.....</b>	<b>106</b>
<b>NA.2 – Parâmetros Determinados a nível Nacional (NDP) .....</b>	<b>106</b>
NA.2.1 – Generalidades .....	106
NA.2.2 – Princípios e Regras de Aplicação sem prescrições a nível nacional.....	106
NA.2.3 – Princípios e Regras de Aplicação com prescrições a nível nacional .....	107
<b>NA.3 – Utilização dos Anexos informativos .....</b>	<b>108</b>
<b>NA.4 – Informações complementares .....</b>	<b>108</b>
NA.4.1 – Objectivo .....	108
NA.4.2 – Informações gerais.....	108
<b>NA.5 – Correspondência entre as normas europeias referidas na presente Norma e as normas nacionais.....</b>	<b>108</b>

## Preâmbulo

A presente Norma foi elaborada pelo Comité Técnico CEN/TC 250 "*Structural Eurocodes*", cujo secretariado é assegurado pela BSI. O CEN/TC 250 é responsável por todos os Eurocódigos Estruturais.

A esta Norma Europeia deve ser atribuído o estatuto de Norma Nacional, seja por publicação de um texto idêntico, seja por adopção, o mais tardar em Junho de 2005, e as normas nacionais divergentes devem ser anuladas o mais tardar em Março de 2010.

A presente Norma substitui a ENV 1992-1-2:1995.

De acordo com o Regulamento Interno do CEN/CENELEC, a presente Norma Europeia deve ser implementada pelos organismos nacionais de normalização dos seguintes países: Alemanha, Áustria, Bélgica, Chipre, Dinamarca, Eslováquia, Eslovénia, Espanha, Estónia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Letónia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Noruega, Países Baixos, Polónia, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suécia e Suíça.

## Antecedentes do programa dos Eurocódigos

Em 1975, a Comissão da Comunidade Europeia optou por um programa de acção na área da construção, baseado no artigo 95º do Tratado. O objectivo do programa era a eliminação de entraves técnicos ao comércio e a harmonização das especificações técnicas.

No âmbito deste programa de acção, a Comissão tomou a iniciativa de elaborar um conjunto de regras técnicas harmonizadas para o projecto de obras de construção, as quais, numa primeira fase, serviriam como alternativa para as regras nacionais em vigor nos Estados-Membros e que, posteriormente, as substituiriam.

Durante quinze anos, a Comissão, com a ajuda de uma Comissão Directiva com representantes dos Estados-Membros, orientou o desenvolvimento do programa dos Eurocódigos, que conduziu à primeira geração de regulamentos europeus na década de 80.

Em 1989, a Comissão e os Estados-Membros da UE e da EFTA decidiram, com base num acordo <sup>1)</sup> entre a Comissão e o CEN, transferir, através de uma série de mandatos, a preparação e a publicação dos Eurocódigos para o CEN, tendo em vista conferir-lhes no futuro a categoria de Norma Europeia (EN). Tal, liga, *de facto*, os Eurocódigos às disposições de todas as directivas do Conselho e/ou decisões da Comissão em matéria de normas europeias (por exemplo, a Directiva 89/106/CEE do Conselho relativa a produtos de construção – DPC – e as Directivas 93/37/CEE, 92/50/CEE e 89/440/CEE do Conselho relativas a obras públicas e serviços, assim como as Directivas da EFTA equivalentes destinadas à instituição do mercado interno).

O programa relativo aos Eurocódigos Estruturais inclui as seguintes normas, cada uma das quais é, geralmente, constituída por diversas Partes:

EN 1990	Eurocódigo:	Bases para o projecto de estruturas
EN 1991	Eurocódigo 1:	Acções em estruturas
EN 1992	Eurocódigo 2:	Projecto de estruturas de betão
EN 1993	Eurocódigo 3:	Projecto de estruturas de aço
EN 1994	Eurocódigo 4:	Projecto de estruturas mistas aço-betão

---

<sup>1)</sup> Acordo entre a Comissão das Comunidades Europeias e o Comité Europeu de Normalização (CEN) relativo ao trabalho sobre os Eurocódigos para o projecto de edifícios e de outras obras de engenharia civil (BC/CEN/03/89).



EN 1995	Eurocódigo 5:	Projecto de estruturas de madeira
EN 1996	Eurocódigo 6:	Projecto de estruturas de alvenaria
EN 1997	Eurocódigo 7:	Projecto geotécnico
EN 1998	Eurocódigo 8:	Projecto de estruturas para resistência aos sismos
EN 1999	Eurocódigo 9:	Projecto de estruturas de alumínio

Os Eurocódigos reconhecem a responsabilidade das autoridades regulamentadoras de cada Estado-Membro e salvaguardaram o seu direito de estabelecer os valores relacionados com questões de regulamentação da segurança, a nível nacional, nos casos em que estas continuem a variar de Estado para Estado.

### **Estatuto e campo de aplicação dos Eurocódigos**

Os Estados-Membros da UE e da EFTA reconhecem que os Eurocódigos servem de documentos de referência para os seguintes efeitos:

- como meio de comprovar a conformidade dos edifícios e de outras obras de engenharia civil com as exigências essenciais da Directiva 89/106/CEE do Conselho, particularmente a Exigência Essencial n.º 1 – Resistência mecânica e estabilidade – e a Exigência Essencial n.º 2 – Segurança contra incêndio;
- como base para a especificação de contratos de trabalhos de construção e de serviços de engenharia a eles associados;
- como base para a elaboração de especificações técnicas harmonizadas para os produtos de construção (EN e ETA).

Os Eurocódigos, dado que dizem respeito às obras de construção, têm uma relação directa com os documentos interpretativos<sup>2)</sup> referidos no artigo 12º da DPC, embora sejam de natureza diferente das normas harmonizadas relativas aos produtos<sup>3)</sup>. Por conseguinte, os aspectos técnicos decorrentes dos Eurocódigos devem ser considerados de forma adequada pelos Comitês Técnicos do CEN e/ou pelos Grupos de Trabalho da EOTA envolvidos na elaboração das normas relativas aos produtos, tendo em vista a obtenção de uma compatibilidade total destas especificações técnicas com os Eurocódigos.

Os Eurocódigos fornecem regras comuns de cálculo estrutural para a aplicação corrente no projecto de estruturas e dos seus componentes, de natureza quer tradicional quer inovadora. Elementos construtivos ou condições de cálculo não usuais não são especificamente incluídos, devendo o projectista, nestes casos, assegurar o apoio especializado necessário.

---

<sup>2)</sup> De acordo com o n.º 3 do artigo 3º da DPC, as exigências essenciais (EE) traduzir-se-ão em documentos interpretativos que estabelecem as ligações necessárias entre as exigências essenciais e os mandatos para a elaboração de normas europeias (EN) harmonizadas e guias de aprovação técnica europeia (ETAG), e das próprias aprovações técnicas europeias (ETA).

<sup>3)</sup> De acordo com o artigo 12º da DPC, os documentos interpretativos devem:

- a) concretizar as exigências essenciais harmonizando a terminologia e as bases técnicas e indicando, sempre que necessário, classes ou níveis para cada exigência;
- b) indicar métodos de correlação entre essas classes ou níveis de exigências e as especificações técnicas, por exemplo, métodos de cálculo e de ensaio, regras técnicas de concepção de projectos, etc.;
- c) servir de referência para o estabelecimento de normas europeias harmonizadas e de guias de aprovação técnica europeia. Os Eurocódigos, de facto, desempenham um papel semelhante na área da EE 1 e de uma parte da EE 2.

### **Normas nacionais de implementação dos Eurocódigos**

As normas nacionais de implementação dos Eurocódigos incluirão o texto completo do Eurocódigo (incluindo anexos), conforme publicado pelo CEN, o qual poderá ser precedido de uma página de título e de um preâmbulo nacionais, e ser também seguido de um Anexo Nacional.

O Anexo Nacional só poderá conter informações sobre os parâmetros deixados em aberto no Eurocódigo para escolha nacional, designados por Parâmetros Determinados a nível Nacional, a utilizar no projecto de edifícios e de outras obras de engenharia civil no país em questão, nomeadamente:

- valores e/ou classes, nos casos em que são apresentadas alternativas no Eurocódigo;
- valores para serem utilizados nos casos em que apenas um símbolo é apresentado no Eurocódigo;
- dados específicos do país (geográficos, climáticos, etc.), por exemplo, mapa de zonamento da neve;
- o procedimento a utilizar nos casos em que sejam apresentados procedimentos alternativos no Eurocódigo;
- decisões sobre a aplicação dos anexos informativos;
- informações complementares não contraditórias para auxílio do utilizador na aplicação do Eurocódigo.

### **Ligações entre os Eurocódigos e as especificações técnicas harmonizadas (EN e ETA) relativas aos produtos**

É necessária uma consistência entre as especificações técnicas harmonizadas relativas aos produtos de construção e as regras técnicas relativas às obras<sup>4)</sup>. Além disso, todas as informações que acompanham a marcação CE dos produtos de construção que fazem referência aos Eurocódigos devem indicar, claramente, quais os Parâmetros Determinados a nível Nacional que foram tidos em conta.

### **Informações adicionais específicas da EN 1992-1-2**

A presente Norma define os princípios, os requisitos e as regras para o projecto estrutural de edifícios de betão expostos ao fogo, incluindo os seguintes aspectos:

#### ***Requisitos de segurança***

A presente Norma destina-se a donos de obra (por exemplo, para a formulação dos seus requisitos específicos), projectistas, construtores e autoridades competentes.

Os objectivos gerais da protecção contra incêndio são a limitação dos riscos para as pessoas e para a sociedade, para os bens vizinhos e, quando requerido, para o ambiente ou para os bens directamente expostos, caso ocorra um incêndio.

A Directiva dos Produtos de Construção 89/106/CEE estipula a seguinte Exigência Essencial para a limitação dos riscos de incêndio:

“As construções devem ser concebidas e realizadas de modo que, no caso de se declarar um incêndio:

- a capacidade resistente das estruturas com função de suporte possa ser considerada durante um período de tempo determinado;
- a produção e a propagação do fogo e do fumo no interior da construção sejam limitadas;
- a propagação do fogo às construções vizinhas seja limitada;

---

<sup>4)</sup> Ver n.º 3 do artigo 3º e artigo 12º da DPC, e também 4.2, 4.3.1, 4.3.2 e 5.2 do Documento Interpretativo n.º 1.

- os ocupantes possam abandonar o local ou ser socorridos por outros meios;
- a segurança das equipas de socorro seja tomada em consideração”.

De acordo com o Documento Interpretativo n.º 2 "Segurança contra incêndio", poderá cumprir-se esta exigência essencial adoptando diversas estratégias de segurança contra incêndio em vigor nos Estados-Membros, tais como cenários de incêndio convencionais (fogos nominais) ou cenários de incêndio "naturais" (paramétricos), as quais incluem medidas passivas e/ou activas de protecção contra incêndio.

As Partes relativas ao fogo dos Eurocódigos Estruturais tratam aspectos específicos das medidas passivas de protecção contra incêndio no que se refere à concepção de estruturas e partes das estruturas, que visam assegurar uma capacidade resistente adequada e limitar a propagação do fogo.

As funções e os níveis de desempenho requeridos podem ser especificados em termos de classes de resistência ao fogo (padrão) nominal, geralmente indicadas nos regulamentos nacionais de segurança contra incêndio, ou recorrendo à engenharia de segurança contra incêndio para avaliação das medidas passivas e activas, ver a EN 1991-1-2.

Requisitos suplementares que dizem respeito, por exemplo:

- à possível instalação e manutenção de sistemas de extinção de incêndios;
- às condições de ocupação do edifício ou do compartimento de incêndio;
- à utilização de materiais aprovados de isolamento ou de revestimento, incluindo a sua manutenção;

não constam da presente Norma, porque são objecto de especificações das autoridades competentes.

São recomendados valores numéricos para os coeficientes parciais e para outros parâmetros de fiabilidade, de modo a proporcionarem um nível de fiabilidade aceitável, os quais foram seleccionados admitindo a aplicação de um nível adequado de mão-de-obra e de gestão da qualidade.

### ***Métodos de cálculo***

Um método totalmente analítico para a verificação da resistência ao fogo teria em conta o comportamento do sistema estrutural a temperaturas elevadas, as condições de exposição ao calor potencial e os efeitos benéficos dos sistemas activos e passivos de protecção contra incêndio, juntamente com as incertezas associadas a estes três factores e a importância da estrutura (consequências de um colapso).

Actualmente, é possível definir um procedimento para determinar o desempenho adequado, englobando alguns desses parâmetros, se não mesmo todos, e demonstrar que a estrutura ou os seus componentes terão um desempenho adequado numa situação de incêndio real. No entanto, no caso em que o método se baseie num fogo (padrão) nominal, o sistema de classificação, que estipula períodos específicos de resistência ao fogo, tem em conta (embora de forma não explícita) os aspectos e as incertezas atrás descritos.

A aplicação da presente Norma está ilustrada na Figura 1. São identificadas a abordagem prescritiva e a abordagem baseada no desempenho. A abordagem prescritiva utiliza fogos nominais para produzir acções térmicas. A abordagem baseada no desempenho, que utiliza a engenharia de segurança contra incêndio, refere-se a acções térmicas baseadas em parâmetros físicos e químicos. No Quadro 0.1 são fornecidas informações adicionais relativas a métodos alternativos indicados na presente Norma.

Para o cálculo em conformidade com a presente Norma, é necessária a EN 1991-1-2 para a determinação das acções térmicas e mecânicas na estrutura.

### ***Meios auxiliares de projecto***

Quando não estão disponíveis modelos de cálculo simplificados, as Partes dos Eurocódigos relativas ao fogo fornecem soluções de cálculo em termos de valores tabelados (com base em ensaios ou em modelos de cálculo avançados), que poderão ser utilizadas dentro dos limites de validade especificados.

Espera-se que meios auxiliares de projecto baseados nos métodos de cálculo indicados na presente Norma sejam elaborados por organizações externas interessadas.

O texto do corpo da presente Norma, juntamente com os Anexos informativos A, B, C, D e E, inclui a maioria dos principais conceitos e regras necessários ao cálculo de estruturas de betão em relação à acção do fogo.

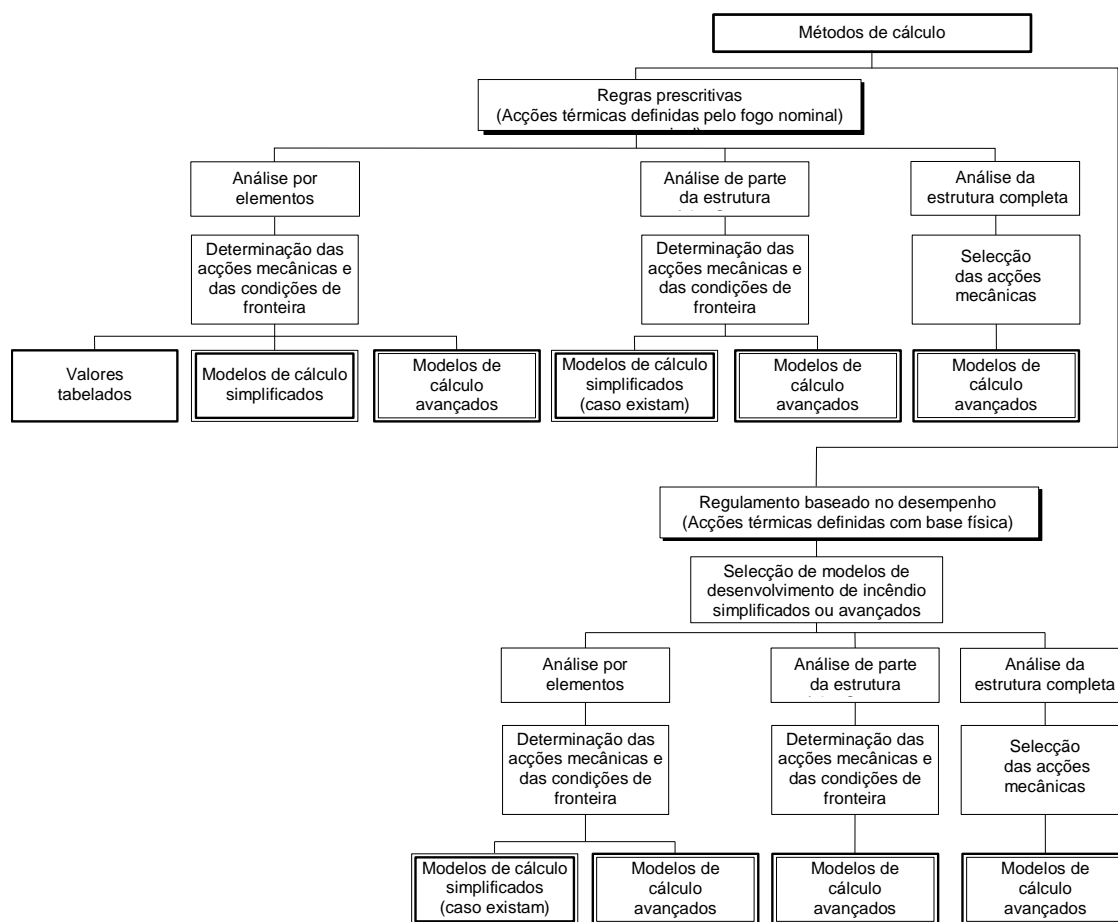


Figura 1 – Métodos de cálculo alternativos

Quadro 0.1 – Quadro-resumo com indicação de métodos alternativos de verificação da resistência ao fogo

	Valores tabelados	Métodos de cálculo simplificados	Modelos de cálculo avançados
<p><b>Análise por elementos</b></p> <p>Considera-se o elemento como isolado.</p> <p>Não se consideram as acções indirectas do incêndio, excepto as resultantes de gradientes térmicos.</p>	<p><b>SIM</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dados indicados unicamente para o fogo padrão, 5.1(1)</li> <li>- Em princípio, os dados poderiam ser desenvolvidos para outras curvas de incêndio</li> </ul>	<p><b>SIM</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- fogo padrão e fogo paramétrico, 4.2.1(1)</li> <li>- perfis de temperatura dados unicamente para o fogo padrão, 4.2.2(1)</li> <li>- os modelos de comportamento dos materiais aplicam-se unicamente a taxas de aquecimento semelhantes às do fogo padrão, 4.2.4.1(2)</li> </ul>	<p><b>SIM</b></p> <p>4.3.1(1)P</p> <p>Apenas são indicados os princípios</p>
<p><b>Análise de partes da estrutura</b></p> <p>São consideradas as acções indirectas do incêndio no subconjunto, mas não a interacção, função do tempo, com outras partes da estrutura.</p>	<p><b>NÃO</b></p>	<p><b>SIM</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- fogo padrão e fogo paramétrico, 4.2.1(1)</li> <li>- perfis de temperatura dados unicamente para o fogo padrão, 4.2.2(1)</li> <li>- os modelos de comportamento dos materiais aplicam-se unicamente a taxas de aquecimento semelhantes às do fogo padrão, 4.2.4.1(2)</li> </ul>	<p><b>SIM</b></p> <p>4.3.1(1)P</p> <p>Apenas são indicados os princípios</p>
<p><b>Análise global da estrutura</b></p> <p>Análise da estrutura completa. As acções indirectas de incêndio são tidas em conta em toda a estrutura.</p>	<p><b>NÃO</b></p>	<p><b>NÃO</b></p>	<p><b>SIM</b></p> <p>4.3.1(1)P</p> <p>Apenas são indicados os princípios</p>

### Anexo Nacional da EN 1992-1-2

Esta Norma estabelece procedimentos alternativos e valores, recomenda classes e inclui notas indicando onde poderão ter de ser feitas opções nacionais. Por este motivo, a norma nacional de implementação da EN 1992-1-2 deverá ter um Anexo Nacional que contenha todos os Parâmetros Determinados a nível Nacional para o projecto de estruturas de betão a serem construídas no país a que diz respeito.

A opção nacional é permitida na EN 1992-1-2 em:

2.1.3(2)	5.3.2(2)
2.3(2)P	5.6.1(1)
3.2.3(5)	5.7.3(2)
3.2.4(2)	6.1(5)
3.3.3(1)	6.2(2)

**NP**  
**EN 1992-1-2**  
**2010**

p. **14** de 109

---

4.1(1)P

4.5.1(2)

5.2(3)

6.3.1(1)

6.4.2.1(3)

6.4.2.2(2)

## 1 Generalidades

### 1.1 Objectivo e campo de aplicação

#### 1.1.1 Objectivo e campo de aplicação do Eurocódigo 2

(1)P O Eurocódigo 2 aplica-se ao projecto de edifícios e de outras obras de engenharia civil de betão. Obedece aos princípios e requisitos de segurança e de utilização das estruturas e às bases para o seu projecto e verificação indicadas na EN 1990 – Bases para o projecto de estruturas.

(2)P O Eurocódigo 2 trata apenas dos requisitos de resistência, utilização, durabilidade e resistência ao fogo das estruturas de betão. Não são portanto considerados outros requisitos como, por exemplo, os relativos ao isolamento térmico ou acústico.

(3)P O Eurocódigo 2 destina-se a ser utilizado em conjunto com:

- EN 1990<sup>\*)</sup> *Basis of structural design*
- EN 1991<sup>\*)</sup> *Actions on structures*
- hENs relativas aos produtos de construção relevantes para as estruturas de betão
- ENV 13670-1<sup>\*)</sup> *Execution of concrete structures – Part 1: Common rules*
- EN 1998<sup>\*)</sup> *Design of structures for earthquake resistance*, no caso de estruturas de betão construídas em regiões sísmicas

(4)P O Eurocódigo 2 está subdividido em várias partes:

- Part 1-1: *General rules and rules for buildings*
- Part 1-2: *General rules – Structural fire design*
- Part 2: *Concrete bridges*
- Part 3: *Liquid retaining and containment structures*

#### 1.1.2 Objectivo e campo de aplicação da Parte 1-2 do Eurocódigo 2

(1)P A presente Norma trata do projecto de estruturas de betão em situação accidental de exposição ao fogo e destina-se a ser utilizada em conjunto com a EN 1992-1-1 e a EN 1991-1-2. Esta Norma identifica apenas as diferenças, ou os requisitos suplementares, em relação ao cálculo às temperaturas normais.

(2)P A presente Norma trata apenas dos métodos passivos de protecção contra incêndio. Os métodos activos não são tratados.

(3)P A presente Norma aplica-se às estruturas de betão que tenham que satisfazer certas funções quando expostas ao fogo, em termos de:

- impedimento do colapso prematuro da estrutura (função resistente);
- limitação da propagação do fogo (chamas, gases quentes, calor excessivo) fora de áreas especificadas (função de compartimentação).

(4)P A presente Norma fornece os princípios e regras de aplicação (ver a EN 1991-1-2) para o cálculo das estruturas com vista à satisfação de requisitos especificados relativamente à função resistente e aos níveis de desempenho.

---

<sup>\*)</sup> No Anexo Nacional NA são indicadas as normas portuguesas equivalentes (nota nacional).

(5)P A presente Norma aplica-se às estruturas ou às partes das estruturas abrangidas pela EN 1992-1-1 e que são projectadas em conformidade. No entanto, não abrange:

- as estruturas com pré-esforço exterior;
- as estruturas em casca.

(6)P Os métodos indicados na presente Norma aplicam-se a betão de massa volúmica normal até à classe de resistência C90/105 e a betão leve até à classe de resistência LC55/60. Na secção 6 são apresentadas regras complementares e alternativas para classes de resistência superiores a C50/60.

## **1.2 Referências normativas**

A presente Norma inclui, por referência, datada ou não, disposições relativas a outras normas. Estas referências normativas são citadas nos lugares apropriados do texto e as normas são listadas a seguir. Para as referências datadas, as emendas ou revisões subsequentes de qualquer destas normas só se aplicam à presente Norma se nela incorporadas por emenda ou revisão. Para as referências não datadas, aplica-se a última edição de norma referida (incluindo as emendas).

EN 1363-2      *Fire resistance tests – Part 2: Alternatives and additional procedures*

EN 1990<sup>\*)</sup>      *Eurocode – Basis of structural design*

EN 1991-1-2<sup>\*)</sup> *Eurocode 1 – Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire*

EN 1992-1-1<sup>\*)</sup> *Eurocode 2 – Design of concrete structures – Part 1-1: General rules and rules for buildings*

EN 10080      *Steel for the reinforcement of concrete – Weldable reinforcing steel – General*

EN 10138-2      *Prestressing steels – Part 2: Wire*

EN 10138-3      *Prestressing steels – Part 3: Strand*

EN 10138-4      *Prestressing steels – Part 4: Bar*

## **1.3 Pressupostos**

Aplicam-se os pressupostos gerais indicados na EN 1990 e na EN 1992-1-1.

## **1.4 Distinção entre Princípios e Regras de Aplicação**

(1) Aplicam-se as regras indicadas na EN 1990.

## **1.5 Termos e definições**

Para os fins da presente Norma, aplicam-se os termos e as definições indicados na EN 1990 e na EN 1991-1-2, assim como os seguintes termos e definições adicionais.

### **1.5.1 temperatura crítica da armadura**

Temperatura da armadura à qual se prevê o colapso do elemento em situação de incêndio (critério R), para um dado nível de tensão no aço.

---

<sup>\*)</sup> No Anexo Nacional NA são indicadas as normas portuguesas equivalentes (nota nacional).



### **1.5.2 parede corta-fogo**

Parede de separação de dois espaços (geralmente dois edifícios) projectada para a resistência ao fogo e para a estabilidade estrutural, e que poderá incluir a resistência a acções horizontais de tal forma que, em caso de incêndio e de colapso da estrutura num dos lados da parede, a propagação do fogo para além dessa parede é evitada.

### **1.5.3 nível máximo de tensões**

Para uma dada temperatura, nível de tensão para o qual a relação tensões-extensões do aço é truncada para dar um patamar de cedência.

### **1.5.4 parte de estrutura**

Parte isolada de uma estrutura completa com condições de apoio e de fronteira adequadas.

### **1.5.5 revestimentos de protecção**

Qualquer material ou combinação de materiais aplicado a um elemento estrutural a fim de aumentar a sua resistência ao fogo.

### **1.5.6 secção transversal reduzida**

Secção transversal do elemento no projecto de resistência ao fogo da estrutura, utilizada no método da secção transversal reduzida. Obtém-se eliminando as partes da secção transversal com rigidez e resistência consideradas nulas.

## **1.6 Símbolos**

### **1.6.1 Símbolos suplementares à EN 1992-1-1**

(1)P Utilizam-se os seguintes símbolos suplementares:

Letras maiúsculas latinas

$E_{d,fi}$	valor de cálculo dos efeitos das acções em situação de incêndio
$E_d$	valor de cálculo dos efeitos das acções para o cálculo à temperatura normal
$R_{d,fi}$	valor de cálculo da resistência em situação de incêndio; $R_{d,fi}(t)$ num dado instante $t$
R 30 ou R 60,...	classe de resistência ao fogo para o critério de resistência durante 30, ou 60... minutos de exposição ao fogo padrão
E 30 ou E 60,	classe de resistência ao fogo para o critério de estanquidade durante 30, ou 60... minutos de exposição ao fogo padrão
I 30 ou I 60,	classe de resistência ao fogo para o critério de isolamento durante 30, ou 60... minutos de exposição ao fogo padrão
$T$	temperatura [K] (cf. $\theta$ temperatura [°C])
$X_k$	valor característico de uma propriedade de resistência ou de deformação para um cálculo à temperatura normal
$X_{d,fi}$	valor de cálculo de uma propriedade de resistência ou de deformação em situação de incêndio

Letras minúsculas latinas

$a$	distância entre o eixo das armaduras para betão armado ou de pré-esforço e a superfície exposta mais próxima
-----	--

$c_c$	calor específico do betão [J/kg·K]
$f_{ck}(\theta)$	valor característico da tensão de rotura à compressão do betão à temperatura $\theta$ para uma extensão especificada
$f_{ct}(\theta)$	valor característico da tensão de rotura do betão à tracção à temperatura $\theta$ para uma extensão especificada
$f_{pk}(\theta)$	valor característico da tensão de rotura do aço das armaduras de pré-esforço à temperatura $\theta$ para uma extensão especificada
$f_{sk}(\theta)$	valor característico da tensão de rotura do aço das armaduras para betão armado à temperatura $\theta$ para uma extensão especificada
$k(\theta) = X_k(\theta)/X_k$	factor de redução de uma propriedade de resistência ou de deformação dependente da temperatura do material $\theta$
$n = N_{0Ed,fi} / (0,7(A_c f_{cd} + A_s f_{yd}))$	nível de carga de um pilar em condições de temperatura normal
$t$	duração da exposição ao fogo (min)

#### Letras minúsculas gregas

$\gamma_{M,fi}$	coeficiente parcial de segurança de um material nos cálculos em relação ao fogo
$\eta_{fi} = E_{d,fi}/E_d$	factor de redução do valor de cálculo do nível de carregamento em situação de incêndio
$\mu_{fi} = N_{Ed,fi}/N_{Rd}$	grau de utilização em situação de incêndio
$\varepsilon_c(\theta)$	extensão térmica do betão
$\varepsilon_p(\theta)$	extensão térmica do aço das armaduras de pré-esforço
$\varepsilon_s(\theta)$	extensão térmica do aço das armaduras para betão armado
$\varepsilon_{s,fi}$	extensão do aço das armaduras para betão armado ou de pré-esforço à temperatura $\theta$
$\lambda_c$	condutibilidade térmica do betão [W/m·K]
$\lambda_{0,fi}$	esbelteza do pilar em situação de incêndio
$\sigma_{c,fi}$	tensão de compressão do betão em situação de incêndio
$\sigma_{s,fi}$	tensão do aço em situação de incêndio
$\theta$	temperatura [°C]
$\theta_{cr}$	temperatura crítica [°C]

#### 1.6.2 Índices suplementares à EN 1992-1-1

Em complemento da EN 1992-1-1, utilizam-se os seguintes índices:

fi	valor dependente da situação de incêndio
t	dependente do tempo
$\theta$	dependente da temperatura

## **2 Bases para o projecto**

### **2.1 Requisitos**

#### **2.1.1 Requisitos gerais**

(1)P Nos casos em que às estruturas de betão é requerida uma resistência mecânica em situação de incêndio, elas devem ser dimensionadas e construídas de forma a que mantenham a sua função resistente durante o tempo de exposição ao fogo requerido.

(2)P Nos casos em que é requerida uma compartimentação, os elementos que delimitam o compartimento de incêndio, incluindo as juntas, devem ser projectados e construídos de forma que mantenham a sua função de compartimentação durante o tempo de exposição ao fogo requerido. Tal deve assegurar, quando relevante:

- a não ocorrência de rotura da estanquidade, ver a EN 1991-1-2;
- a não ocorrência de rotura do isolamento, ver a EN 1991-1-2;
- a limitação da radiação térmica a partir da face não exposta.

*NOTA 1:* Ver a EN 1991-1-2 para as definições.

*NOTA 2:* Para as estruturas de betão consideradas na presente Norma, os critérios de radiação térmica não são relevantes.

(3)P Os critérios de deformação devem ser aplicados quando os meios de protecção, ou os critérios de projecto para os elementos de compartimentação, requererem que seja tida em conta a deformação da estrutura resistente.

(4) Não é necessário considerar a deformação da estrutura resistente nos seguintes casos, conforme for relevante:

- a eficácia dos meios de protecção tenha sido avaliada de acordo com 4.7;
- os elementos de compartimentação tenham que satisfazer os requisitos relativos à exposição ao fogo nominal.

#### **2.1.2 Curvas de incêndio nominais**

(1)P Para a exposição ao fogo padrão, os elementos devem satisfazer os critérios R, E e I da seguinte forma:

- elementos unicamente de compartimentação: estanquidade (critério E) e, quando especificado, isolamento (critério I);
- elementos unicamente com resistência estrutural: resistência mecânica (critério R);
- elementos de compartimentação e com resistência estrutural: critérios R, E e, quando especificado, I.

(2) Considera-se que o critério “R” é satisfeito quando a função de resistência estrutural se mantém durante o tempo especificado de resistência ao fogo.

(3) Poderá admitir-se que o critério “I” é satisfeito quando o aumento da temperatura média na totalidade da superfície não exposta não exceder 140 K e o aumento máximo de temperatura em qualquer ponto dessa superfície não exceder 180 K.

(4) Com a curva de incêndio para elementos exteriores (ver a EN 1991-1-2) deverão aplicar-se os mesmos critérios (R, E, I), mas a referência a esta curva específica deverá ser identificada por meio das letras “ef”.

(5) Com a curva de incêndio de hidrocarbonetos (ver a EN 1991-1-2) deverão aplicar-se os mesmos critérios (R, E, I), mas a referência a esta curva específica deverá ser identificada por meio das letras “HC”.

(6) Quando um elemento de compartimentação vertical com ou sem função resistente tem de obedecer ao requisito de resistência ao impacto (critério M), esse elemento deverá resistir a uma carga horizontal concentrada como especificada na EN 1363, Parte 2.

### **2.1.3 Curvas de incêndio paramétricas**

(1)P A função de resistência estrutural deve ser mantida durante todo o incêndio, incluindo a fase de declínio do fogo, ou durante um período de tempo especificado.

(2) Para a verificação da função de compartimentação deverão ser satisfeitas as condições seguintes, considerando uma temperatura normal de 20 °C:

- o aumento da temperatura média da face não exposta da construção não é superior a 140 K e o aumento máximo da temperatura da face não exposta não é superior a 180 K durante a fase de aumento da temperatura, até ser atingida a temperatura máxima dos gases no compartimento de incêndio;
- o aumento da temperatura média da face não exposta da construção não é superior a  $\Delta\theta_1$  e o aumento máximo da temperatura da face não exposta não é superior a  $\Delta\theta_2$  durante a fase de declínio do fogo.

*NOTA:* Os valores de  $\Delta\theta_1$  e  $\Delta\theta_2$  a utilizar num determinado país poderão ser indicados no respectivo Anexo Nacional. Os valores recomendados são  $\Delta\theta_1 = 200$  K e  $\Delta\theta_2 = 240$  K.

## **2.2 Acções**

(1)P As acções térmicas e mecânicas devem ser obtidas da EN 1991-1-2.

(2) Para além da EN 1991-1-2, a emissividade da superfície de betão deverá ser considerada com o valor de 0,7.

## **2.3 Valores de cálculo das propriedades dos materiais**

(1)P Os valores de cálculo das propriedades mecânicas (resistência e deformação) dos materiais,  $X_{d,fi}$ , são definidos como se segue:

$$X_{d,fi} = k_{\theta} X_k / \gamma_{M,fi} \quad (2.1)$$

em que:

$X_k$  valor característico de uma propriedade de resistência ou de deformação (geralmente  $f_k$  ou  $E_k$ ) para o cálculo à temperatura normal, de acordo com a EN 1992-1-1;

$k_{\theta}$  factor de redução para uma propriedade de resistência ou de deformação ( $X_{k,\theta} / X_k$ ), dependente da temperatura do material, ver 3.2;

$\gamma_{M,fi}$  coeficiente parcial de segurança para a propriedade considerada do material, em situação de incêndio.

(2)P Os valores de cálculo das propriedades térmicas dos materiais,  $X_{d,fi}$ , são definidos como se segue:

- se um aumento da propriedade é favorável à segurança:

$$X_{d,fi} = X_{k,\theta} / \gamma_{M,fi} \quad (2.2a)$$

- se um aumento da propriedade é desfavorável à segurança:

$$X_{d,fi} = \gamma_{M,fi} X_{k,\theta} \quad (2.2b)$$

em que:

$X_{k,\theta}$  valor da propriedade de um material para o cálculo ao fogo, geralmente dependente da temperatura do material, ver a secção 3;

$\gamma_{M,fi}$  coeficiente parcial de segurança para a propriedade considerada do material, em situação de incêndio.

**NOTA 1:** O valor de  $\gamma_{M,fi}$  a utilizar num determinado país poderá ser indicado no respectivo Anexo Nacional. O valor recomendado é:

- para as propriedades térmicas do betão e dos aços para betão armado e de pré-esforço:  $\gamma_{M,fi} = 1,0$ ;
- para as propriedades mecânicas do betão e dos aços para betão armado e de pré-esforço:  $\gamma_{M,fi} = 1,0$ .

**NOTA 2:** Se os valores recomendados forem modificados, poderá ser necessário modificar os valores tabelados.

## 2.4 Métodos de verificação

### 2.4.1 Generalidades

(1)P O modelo do sistema estrutural adoptado para o cálculo, de acordo com a presente Norma, deve reflectir o desempenho previsto para a estrutura em situação de incêndio.

(2)P Para a duração especificada de exposição ao fogo,  $t$ , deve verificar-se:

$$E_{d,fi} \leq R_{d,t,fi} \quad (2.3)$$

em que:

$E_{d,fi}$  valor de cálculo dos efeitos das acções para a situação de incêndio, determinado de acordo com a EN 1991-1-2, incluindo os efeitos das dilatações e das deformações térmicas;

$R_{d,t,fi}$  correspondente valor de cálculo da resistência em situação de incêndio.

(3) A análise estrutural para a situação de incêndio deverá ser efectuada de acordo com a secção 5 da EN 1990.

**NOTA:** Para verificar os requisitos de resistência ao fogo padrão é suficiente uma análise por elementos.

(4) Nos casos em que as regras de aplicação indicadas na presente Norma sejam apenas válidas para a curva de incêndio padrão, tal será identificado nas secções aplicáveis.

(5) Os valores tabelados indicados na secção 5 baseiam-se na curva de incêndio padrão.

(6)P Como alternativa a métodos de cálculo, o projecto de resistência ao fogo poderá basear-se em resultados de ensaios de resistência ao fogo ou de ensaios de resistência ao fogo combinados com cálculos, ver a secção 5 da EN 1990.

### 2.4.2 Análise por elementos

(1) O efeito das acções deverá ser determinado para o tempo  $t = 0$  utilizando os coeficientes de combinação  $\psi_{1,1}$  ou  $\psi_{1,2}$ , de acordo com a secção 4 da EN 1991-1-2.

(2) Como simplificação de (1), os efeitos das acções poderão ser obtidos a partir de uma análise estrutural à temperatura normal, como segue:

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} E_d \quad (2.4)$$

em que:

$E_d$  valor de cálculo da força ou do momento correspondentes ao cálculo à temperatura normal, para a combinação fundamental de acções (ver a EN 1990);

$\eta_{fi}$  factor de redução para o valor de cálculo do nível de carregamento em situação de incêndio.

(3) O factor de redução  $\eta_{fi}$  para a combinação de acções (6.10) da EN 1990 deverá ser considerado igual a:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} \quad (2.5)$$

ou para as combinações de acções (6.10a) e (6.10b) da EN 1990, como o menor dos valores obtidos pelas duas expressões seguintes:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1}} \quad (2.5a)$$

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\xi \gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}} \quad (2.5b)$$

em que:

$Q_{k,1}$  valor característico da acção variável de base da combinação;

$G_k$  valor característico de uma acção permanente;

$\gamma_G$  coeficiente parcial relativo a uma acção permanente;

$\gamma_{Q,1}$  coeficiente parcial relativo à acção variável 1;

$\psi_{fi}$  coeficiente de combinação para os valores frequente ou quase-permanente representados, respectivamente, por  $\psi_{1,1}$  ou  $\psi_{2,1}$ , ver a EN 1991-1-2;

$\xi$  factor de redução para a acção permanente desfavorável  $G$ .

**NOTA 1:** Relativamente à expressão (2.5), apresentam-se na Figura 2.1 exemplos da variação do factor de redução  $\eta_{fi}$  em função da relação de carregamento  $Q_{k,1}/G_k$  para a expressão (2.4) e para diferentes valores do coeficiente de combinação  $\psi_{1,1}$ , com as seguintes hipóteses:  $\gamma_{GA} = 1,0$ ,  $\gamma_G = 1,35$  e  $\gamma_Q = 1,5$ . As expressões (2.5a) e (2.5b) conduzem a valores ligeiramente mais elevados. Os valores recomendados dos coeficientes parciais encontram-se nos correspondentes Anexos Nacionais da EN 1990.

**NOTA 2:** Como simplificação, poderá utilizar-se um valor recomendado de  $\eta_{fi} = 0,7$ .

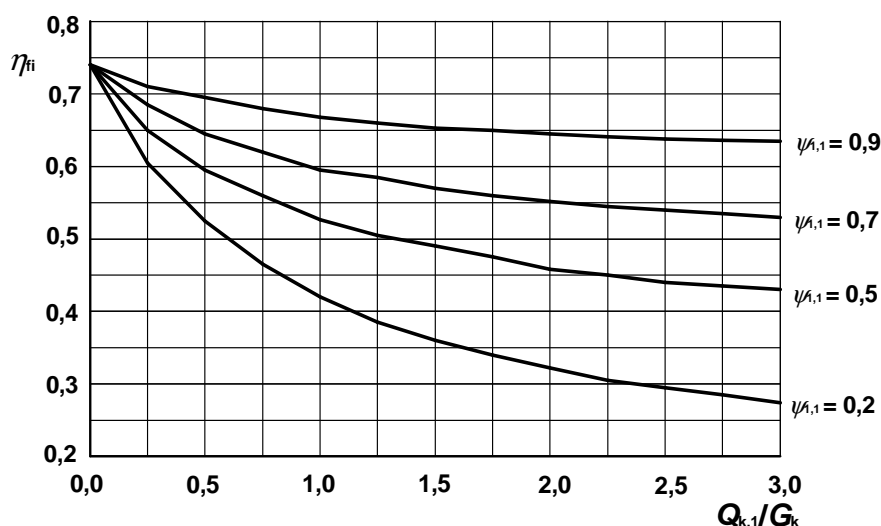


Figura 2.1 – Variação do factor de redução  $\eta_{fi}$  em função da relação de carregamento  $Q_{k,1}/G_k$

(4) Só é necessário considerar os efeitos das deformações térmicas resultantes de gradientes térmicos na secção transversal. Poderão ser desprezados os efeitos das dilatações térmicas axiais ou no próprio plano.

(5) Admite-se que as condições de fronteira nos apoios e nas extremidades dos elementos, aplicáveis no instante  $t = 0$ , se mantêm inalteradas durante toda a exposição ao fogo.

(6) Os valores tabelados e os métodos de cálculo simplificados ou gerais indicados, respectivamente, em 5, 4.2 e 4.3, são adequados para a verificação dos elementos em situação de incêndio.

### **2.4.3 Análise de parte da estrutura**

(1) Aplica-se o disposto em 2.4.2(1).

(2) Como alternativa à análise estrutural global para a situação de incêndio no instante  $t = 0$ , as reacções nos apoios e os esforços nos limites da parte da estrutura poderão ser obtidos a partir da análise estrutural à temperatura normal, como indicado em 2.4.2.

(3) A parte da estrutura a analisar deverá ser especificada com base nas potenciais dilatações e deformações térmicas, de forma que a sua interacção com as outras partes da estrutura possa ser estimada com condições de apoio e de fronteira independentes do tempo durante a situação de incêndio.

(4)P Na parte da estrutura a analisar, devem ter-se em conta o modo de colapso adequado em caso de exposição ao fogo, as propriedades dos materiais e a rigidez dos elementos que dependem da temperatura, e os efeitos das dilatações e das deformações térmicas (acções indirectas do fogo).

(5) Admite-se que as condições de fronteira nos apoios e nos limites da parte da estrutura, aplicáveis no instante  $t = 0$ , se mantêm inalterados durante toda a exposição ao fogo.

### **2.4.4 Análise estrutural global**

(1)P No caso de uma análise estrutural global em situação de incêndio, devem ter-se em conta o modo de colapso adequado em caso de exposição ao fogo, as propriedades dos materiais e a rigidez dos elementos que dependem da temperatura, e os efeitos das deformações térmicas (acções indirectas do fogo).

## **3 Propriedades dos materiais**

### **3.1 Generalidades**

(1)P Os valores das propriedades dos materiais indicados nesta secção 3 devem ser considerados como valores característicos (ver 2.3(1)P).

(2) Os valores poderão ser utilizados no método de cálculo simplificado (ver 4.2) e no método de cálculo avançado (ver 4.3).

Poderão aplicar-se outras formulações para as relações constitutivas dos materiais, desde que as soluções obtidas se encontrem no domínio de validade experimental.

*NOTA: As propriedades dos materiais para o betão leve não são indicadas na presente Norma.*

(3)P As propriedades mecânicas do betão, dos aços para betão armado e de pré-esforço à temperatura normal (20 °C) devem ser as indicadas na EN 1992-1-1 para o cálculo à temperatura normal.

### **3.2 Propriedades de resistência e de deformação a temperaturas elevadas**

#### **3.2.1 Generalidades**

(1)P Os valores numéricos das propriedades de resistência e de deformação, indicados nesta secção 3.2, baseiam-se em ensaios em regime permanente e também em ensaios em regime transitório e, por vezes, numa combinação de ambos. Como os efeitos da fluência não são explicitamente considerados, os modelos de materiais da presente Norma são aplicáveis para taxas de aquecimento compreendidas entre 2 K/min e 50 K/min. Para taxas de aquecimento fora deste intervalo, a fiabilidade das propriedades de resistência e de deformação deve ser explicitamente demonstrada.

### 3.2.2 Betão

#### 3.2.2.1 Betão em compressão

(1)P As propriedades de resistência e de deformação do betão sob tensão uniaxial a temperaturas elevadas devem ser obtidas a partir das relações tensões-extensões representadas na Figura 3.1.

(2) As relações tensões-extensões representadas na Figura 3.1 são definidas por dois parâmetros:

- a resistência à compressão  $f_{c,\theta}$ ;
- a extensão  $\epsilon_{c1,\theta}$  correspondente a  $f_{c,\theta}$ .

(3) Os valores para cada um destes parâmetros são indicados no Quadro 3.1 em função da temperatura do betão. Para valores intermédios da temperatura, poderá efectuar-se uma interpolação linear.

(4) Os parâmetros especificados no Quadro 3.1 poderão ser utilizados para o betão de massa volúmica normal com agregados siliciosos ou calcários (contendo, pelo menos, 80 % em peso de agregado calcário).

(5) Os valores de  $\epsilon_{cu1,\theta}$  que definem o limite do ramo descendente da curva poderão obter-se no Quadro 3.1, coluna 4, para o betão de massa volúmica normal com agregados siliciosos, e na coluna 7 para o betão de massa volúmica normal com agregados calcários.

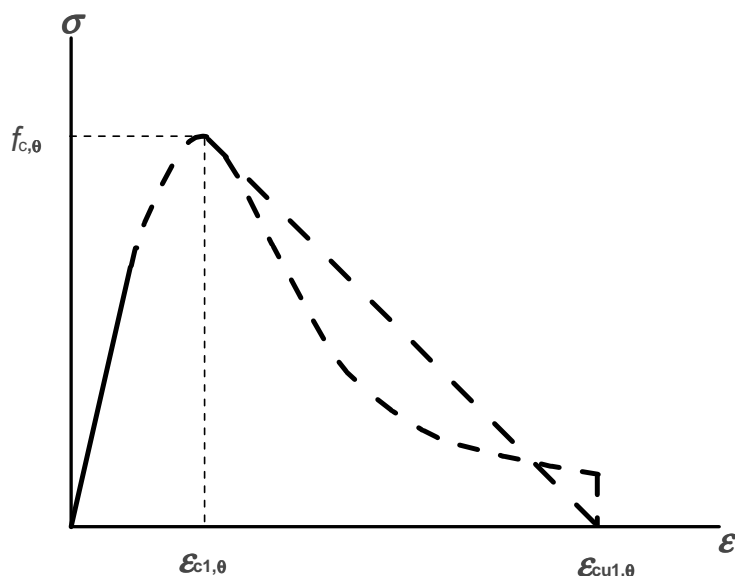
Quadro 3.1 – Valores para os parâmetros principais das relações tensões-extensões do betão de massa volúmica normal com agregados siliciosos ou calcários a temperaturas elevadas

Temperatura do betão $\theta$ [°C]	Agregados siliciosos			Agregados calcários		
	$f_{c,\theta}/f_{ck}$	$\epsilon_{c1,\theta}$	$\epsilon_{cu1,\theta}$	$f_{c,\theta}/f_{ck}$	$\epsilon_{c1,\theta}$	$\epsilon_{cu1,\theta}$
1	2	3	4	5	6	7
20	1,00	0,0025	0,0200	1,00	0,0025	0,0200
100	1,00	0,0040	0,0225	1,00	0,0040	0,0225
200	0,95	0,0055	0,0250	0,97	0,0055	0,0250
300	0,85	0,0070	0,0275	0,91	0,0070	0,0275
400	0,75	0,0100	0,0300	0,85	0,0100	0,0300
500	0,60	0,0150	0,0325	0,74	0,0150	0,0325
600	0,45	0,0250	0,0350	0,60	0,0250	0,0350
700	0,30	0,0250	0,0375	0,43	0,0250	0,0375
800	0,15	0,0250	0,0400	0,27	0,0250	0,0400
900	0,08	0,0250	0,0425	0,15	0,0250	0,0425
1000	0,04	0,0250	0,0450	0,06	0,0250	0,0450
1100	0,01	0,0250	0,0475	0,02	0,0250	0,0475
1200	0,00	—	—	0,00	—	—

(6) No caso de acções térmicas de acordo com a EN 1991-1-2, secção 3 (simulação de incêndio natural), nomeadamente quando se considera o ramo descendente da temperatura, deverá ser modificado o modelo matemático para as relações tensões-extensões do betão especificado na Figura 3.1.

(7) Não deverá ser considerado o possível ganho de resistência do betão na fase de arrefecimento.





Domínio	Tensão $\sigma(\theta)$
$\varepsilon \leq \varepsilon_{c1,\theta}$	$\frac{3\varepsilon f_{c,\theta}}{\varepsilon_{c1,\theta} \left( 2 + \left( \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{c1,\theta}} \right)^3 \right)}$
$\varepsilon_{c1(\theta)} < \varepsilon \leq \varepsilon_{cu1,\theta}$	Para fins numéricos deverá adoptar-se um ramo descendente. Admitem-se modelos lineares ou não lineares.

Figura 3.1 – Modelo matemático para as relações tensões-extensões do betão em compressão a temperaturas elevadas

### 3.2.2.2 Resistência à tracção

(1) A resistência do betão à tracção deverá, normalmente, ser ignorada (conservativo). No caso de ser necessário considerar a resistência à tracção, poderá utilizar-se esta secção em métodos simplificados ou avançados de cálculo.

(2) A redução do valor característico da tensão de rotura do betão à tracção é obtida pelo coeficiente  $k_{c,t}(\theta)$ , como indicado na expressão (3.1):

$$f_{ck,t}(\theta) = k_{c,t}(\theta) f_{ck,t} \quad (3.1)$$

(3) Na ausência de informação mais rigorosa, deverão utilizar-se os seguintes valores de  $k_{c,t}(\theta)$  (ver a Figura 3.2):

$$k_{c,t}(\theta) = 1,0 \quad \text{para } 20\text{ °C} \leq \theta \leq 100\text{ °C}$$

$$k_{c,t}(\theta) = 1,0 - 1,0 (\theta - 100)/500 \quad \text{para } 100\text{ °C} < \theta \leq 600\text{ °C}$$

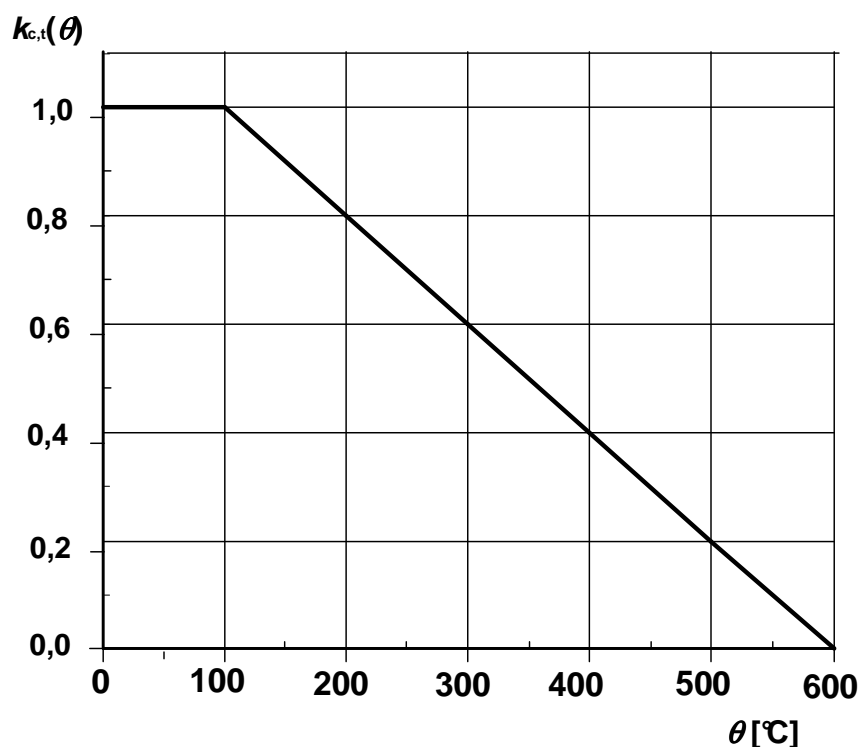


Figura 3.2 – Coeficiente  $k_{c,t}(\theta)$  de redução da tensão de rotura do betão à tracção ( $f_{ck,t}$ ) a temperaturas elevadas

### 3.2.3 Aço para betão armado

(1)P As propriedades de resistência e de deformação do aço para betão armado a temperaturas elevadas devem ser obtidas a partir das relações tensões-extensões especificadas na Figura 3.3 e no Quadro 3.2 (a ou b). O Quadro 3.2b só poderá ser utilizado se a resistência a temperaturas elevadas é verificada por ensaios.

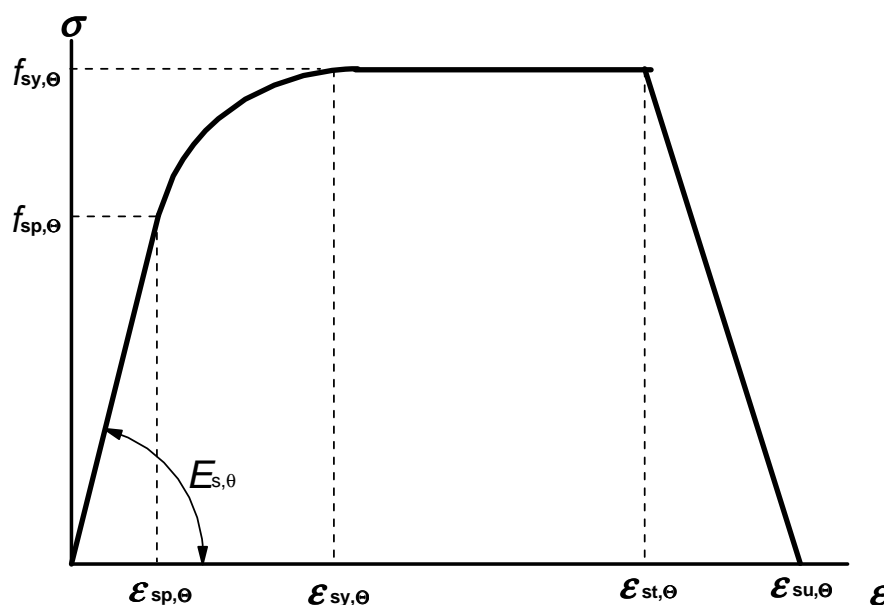
(2) As relações tensões-extensões indicadas na Figura 3.3 são definidas por três parâmetros:

- a inclinação do domínio elástico linear  $E_{s,\theta}$ ;
- a tensão limite de proporcionalidade  $f_{sp,\theta}$ ;
- o nível máximo das tensões  $f_{sy,\theta}$ .

(3) Os valores dos parâmetros indicados em (2) para o aço para betão armado laminado a quente e endurecido a frio, a temperaturas elevadas, são indicados no Quadro 3.2. Para valores intermédios da temperatura, poderá efectuar-se uma interpolação linear.

(4) A formulação das relações tensões-extensões também poderá ser aplicada ao aço para betão armado em compressão.

(5) No caso de acções térmicas de acordo com a EN 1991-1-2, secção 3 (simulação de incêndio natural), nomeadamente quando se considera o ramo descendente da curva de temperaturas, os valores especificados no Quadro 3.2 para as relações tensões-extensões do aço para betão armado poderão ser utilizados como aproximação suficiente.



Domínio	Tensão $\sigma(\theta)$	Módulo tangente
$\varepsilon_{sp,\theta}$	$\varepsilon E_{s,\theta}$	$E_{s,\theta}$
$\varepsilon_{sp,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{sy,\theta}$	$f_{sp,\theta} - c + (b/a)[a^2 - (\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon)^2]^{0,5}$	$\frac{b(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon)}{a[a^2 - (\varepsilon - \varepsilon_{sy,\theta})^2]^{0,5}}$
$\varepsilon_{sy,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{st,\theta}$	$f_{sy,\theta}$	0
$\varepsilon_{st,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{su,\theta}$	$f_{sy,\theta} [1 - (\varepsilon - \varepsilon_{st,\theta}) / (\varepsilon_{su,\theta} - \varepsilon_{st,\theta})]$	—
$\varepsilon = \varepsilon_{su,\theta}$	0,00	—
Parâmetro <sup>*)</sup>	$\varepsilon_{sp,\theta} = f_{sp,\theta} / E_{s,\theta}$ Armadura de Classe A	$\varepsilon_{sy,\theta} = 0,02$ $\varepsilon_{st,\theta} = 0,15$ $\varepsilon_{su,\theta} = 0,20$ $\varepsilon_{st,\theta} = 0,05$ $\varepsilon_{su,\theta} = 0,10$
Funções	$a^2 = (\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta} + c/E_{s,\theta})$ $b^2 = c(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})E_{s,\theta} + c^2$ $c = \frac{(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})^2}{(\varepsilon_{sy,\theta} - \varepsilon_{sp,\theta})E_{s,\theta} - 2(f_{sy,\theta} - f_{sp,\theta})}$	

<sup>\*)</sup> Os valores dos parâmetros  $\varepsilon_{pt,\theta}$  e  $\varepsilon_{pu,\theta}$  para o aço de pré-esforço poderão ser obtidos no Quadro 3.3. A armadura de Classe A está definida no Anexo C da EN 1992-1-1.

Figura 3.3 – Modelo matemático para as relações tensões-extensões de aços para betão armado e de pré-esforço a temperaturas elevadas (notações para aços de pré-esforço “p” em vez de “s”)

Quadro 3.2a – Valores da Classe N para os parâmetros da relação tensões-extensões para aço para betão armado laminado a quente e endurecido a frio a temperaturas elevadas

Temperatura do aço $\theta [^{\circ}\text{C}]$	$f_{sy,\theta} / f_{yk}$		$f_{sp,\theta} / f_{yk}$		$E_{s,\theta} / E_s$	
	laminado a quente	endurecido a frio	laminado a quente	endurecido a frio	laminado a quente	endurecido a frio
1	2	3	4	5	6	7
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00	0,96	1,00	1,00
200	1,00	1,00	0,81	0,92	0,90	0,87
300	1,00	1,00	0,61	0,81	0,80	0,72
400	1,00	0,94	0,42	0,63	0,70	0,56
500	0,78	0,67	0,36	0,44	0,60	0,40
600	0,47	0,40	0,18	0,26	0,31	0,24
700	0,23	0,12	0,07	0,08	0,13	0,08
800	0,11	0,11	0,05	0,06	0,09	0,06
900	0,06	0,08	0,04	0,05	0,07	0,05
1000	0,04	0,05	0,02	0,03	0,04	0,03
1100	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02
1200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Quadro 3.2b – Valores da Classe X para os parâmetros da relação tensões-extensões para aço para betão armado laminado a quente e endurecido a frio a temperaturas elevadas

Temperatura do aço $\theta [^{\circ}\text{C}]$	$f_{sy,\theta} / f_{yk}$	$f_{sp,\theta} / f_{yk}$	$E_{s,\theta} / E_s$
	laminado a quente e endurecido a frio	laminado a quente e endurecido a frio	laminado a quente e endurecido a frio
20	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00
200	1,00	0,87	0,95
300	1,00	0,74	0,90
400	0,90	0,70	0,75
500	0,70	0,51	0,60
600	0,47	0,18	0,31
700	0,23	0,07	0,13
800	0,11	0,05	0,09
900	0,06	0,04	0,07
1000	0,04	0,02	0,04
1100	0,02	0,01	0,02

**NOTA:** A escolha da Classe N (Quadro 3.2a) ou da Classe X (Quadro 3.2b) a utilizar num determinado país poderá ser indicada no respectivo Anexo Nacional. Em geral recomenda-se a Classe N. A Classe X só é recomendada quando estes valores são validados experimentalmente.

### 3.2.4 Aço de pré-esforço

(1) As propriedades de resistência e de deformação do aço de pré-esforço a temperaturas elevadas deverão ser obtidas a partir do mesmo modelo matemático que o apresentado em 3.2.3 para o aço para betão armado.

(2) Os valores dos parâmetros para o aço de pré-esforço endurecido a frio (fios e cordões) e temperado e revenido (varões), a temperaturas elevadas, são obtidos por  $f_{py,\theta} / (\beta f_{pk})$ ,  $f_{pp,\theta} / (\beta f_{pk})$ ,  $E_{p,\theta} / E_p$ ,  $\epsilon_{pt,\theta}$  [-],  $\epsilon_{pu,\theta}$  [-]. O valor de  $\beta$  está relacionado com a escolha da Classe A ou da Classe B.

Para a Classe A,  $\beta$  é obtido pela expressão (3.2) (ver o Quadro 3.3):

$$\beta = \left[ \left( \frac{\epsilon_{ud} - f_{p0,1k} / E_p}{\epsilon_{uk} - f_{p0,1k} / E_p} \right) \times \left( \frac{f_{pk} - f_{p0,1k}}{f_{pk}} \right) + \frac{f_{p0,1k}}{f_{pk}} \right] \quad (3.2)$$

em que as definições e os valores de  $\epsilon_{ud}$ ,  $\epsilon_{uk}$ ,  $f_{p0,1k}$ ,  $f_{pk}$  e  $E_p$  à temperatura normal são indicados em 3.3 da EN 1992-1-1.

Para a Classe B,  $\beta$  é igual a 0,9 (ver o Quadro 3.3).

**NOTA:** A escolha da Classe A ou da Classe B a utilizar num determinado país poderá ser indicada no respectivo Anexo Nacional.

Quadro 3.3 – Valores para os parâmetros da relação tensões-extensões para aço de pré-esforço endurecido a frio (cw) (fios e cordões) e temperado e revenido (q & t) (varões) a temperaturas elevadas

Temperatura do aço $\theta$ [°C]	$f_{py,\theta} / (\beta f_{pk})$			$f_{pp,\theta} / (\beta f_{pk})$		$E_{p,\theta} / E_p$		$\epsilon_{pt,\theta}$ [-]	$\epsilon_{pu,\theta}$ [-]
	cw		q & t	cw	q & t	cw	q & t	cw, q&t	cw, q&t
	Classe A	Classe B							
1	2a	2b	3	4	5	6	7	8	9
20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,050	0,100
100	1,00	0,99	0,98	0,68	0,77	0,98	0,76	0,050	0,100
200	0,87	0,87	0,92	0,51	0,62	0,95	0,61	0,050	0,100
300	0,70	0,72	0,86	0,32	0,58	0,88	0,52	0,055	0,105
400	0,50	0,46	0,69	0,13	0,52	0,81	0,41	0,060	0,110
500	0,30	0,22	0,26	0,07	0,14	0,54	0,20	0,065	0,115
600	0,14	0,10	0,21	0,05	0,11	0,41	0,15	0,070	0,120
700	0,06	0,08	0,15	0,03	0,09	0,10	0,10	0,075	0,125
800	0,04	0,05	0,09	0,02	0,06	0,07	0,06	0,080	0,130
900	0,02	0,03	0,04	0,01	0,03	0,03	0,03	0,085	0,135
1000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,090	0,140
1100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,095	0,145
1200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,100	0,150

**NOTA:** Para valores intermédios da temperatura, poderá efectuar-se uma interpolação linear.

(3) Quando se consideram as acções térmicas de acordo com a EN 1991-1-2, secção 3 (simulação de incêndio natural), nomeadamente quando se considera o ramo descendente da curva de temperaturas, os valores para as relações tensões-extensões do aço de pré-esforço, especificados em (2), poderão ser utilizados como aproximação suficientemente precisa.

### 3.3 Propriedades térmicas e físicas dos betões com agregados siliciosos e calcários

#### 3.3.1 Extensão térmica

(1) A extensão térmica  $\varepsilon_c(\theta)$  do betão poderá ser determinada a partir das expressões seguintes, com referência ao comprimento a 20 °C :

Agregados siliciosos:

$$\varepsilon_c(\theta) = -1,8 \times 10^{-4} + 9 \times 10^{-6} \theta + 2,3 \times 10^{-11} \theta^3 \quad \text{para } 20 \text{ °C} \leq \theta \leq 700 \text{ °C}$$

$$\varepsilon_c(\theta) = 14 \times 10^{-3} \quad \text{para } 700 \text{ °C} < \theta \leq 1200 \text{ °C}$$

Agregados calcários:

$$\varepsilon_c(\theta) = -1,2 \times 10^{-4} + 6 \times 10^{-6} \theta + 1,4 \times 10^{-11} \theta^3 \quad \text{para } 20 \text{ °C} \leq \theta \leq 805 \text{ °C}$$

$$\varepsilon_c(\theta) = 12 \times 10^{-3} \quad \text{para } 805 \text{ °C} < \theta \leq 1200 \text{ °C}$$

em que:

$\theta$  temperatura do betão (°C).

(2) A variação da extensão térmica com a temperatura é representada na Figura 3.5.

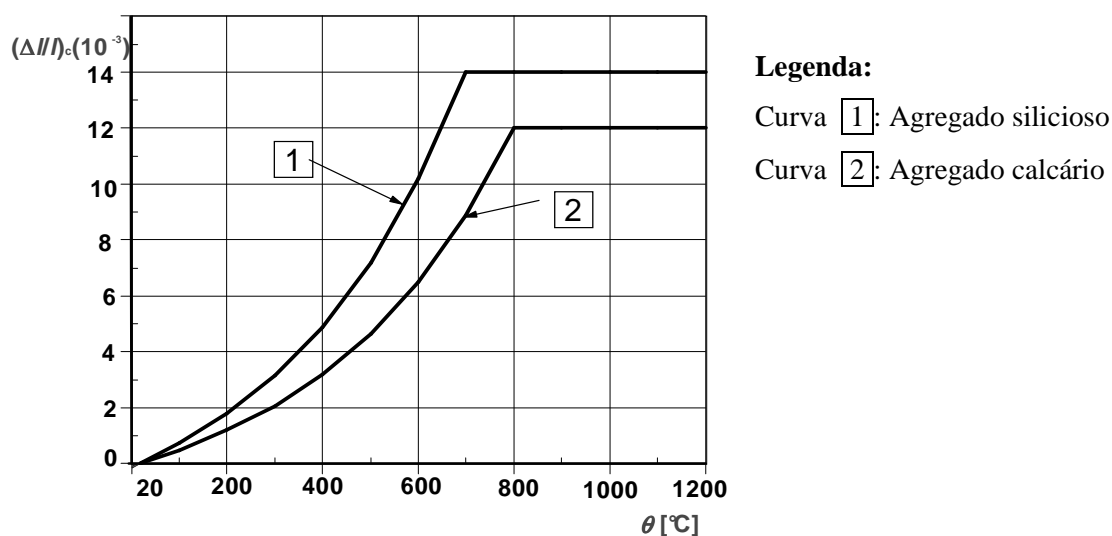


Figura 3.5 – Extensão térmica total do betão

#### 3.3.2 Calor específico

(1) O calor específico  $c_p(\theta)$  do betão seco ( $u = 0 \%$ ) poderá ser determinado a partir das expressões seguintes:

Agregados siliciosos e calcários:

$$c_p(\theta) = 900 \text{ (J/kg} \cdot \text{K)} \quad \text{para } 20 \text{ °C} \leq \theta \leq 100 \text{ °C}$$

$$c_p(\theta) = 900 + (\theta - 100) \text{ (J/kg} \cdot \text{K)} \quad \text{para } 100 \text{ °C} < \theta \leq 200 \text{ °C}$$

$$c_p(\theta) = 1000 + (\theta - 200)/2 \text{ (J/kg} \cdot \text{K)} \quad \text{para } 200 \text{ °C} < \theta \leq 400 \text{ °C}$$

$$c_p(\theta) = 1100 \text{ (J/kg} \cdot \text{K)} \quad \text{para } 400 \text{ °C} < \theta \leq 1200 \text{ °C}$$

em que:

$\theta$  temperatura do betão (°C);

$c_p(\theta)$  (kJ /kg·K) representado na Figura 3.6a.

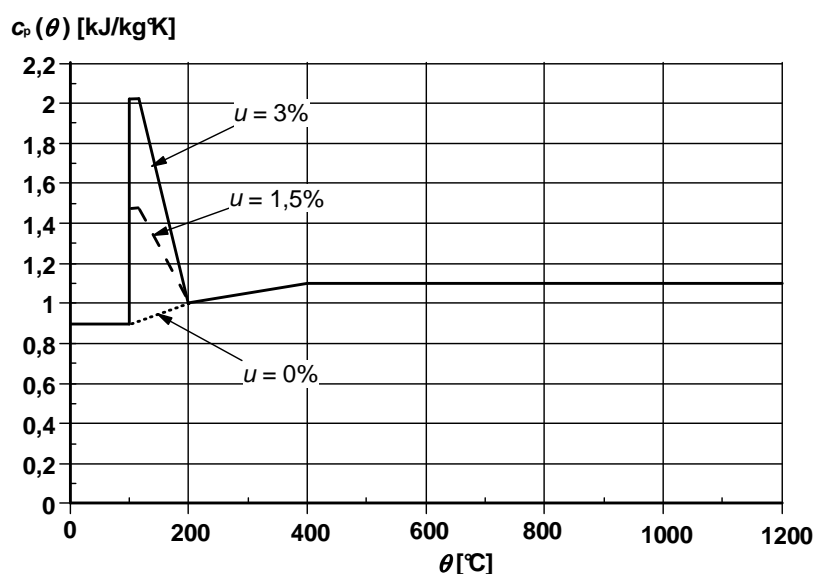
(2) Quando o teor de água não é explicitamente considerado no método de cálculo, a função indicada para o calor específico do betão com agregados siliciosos ou calcários poderá ser modelada por um valor constante,  $c_{p,peak}$ , situado entre 100 °C e 115 °C e decrescente linearmente entre 115 °C e 200 °C:

$c_{p,peak} = 900$  J/kg·K para um teor de água de 0 % do peso de betão;

$c_{p,peak} = 1470$  J/kg·K para um teor de água de 1,5 % do peso de betão;

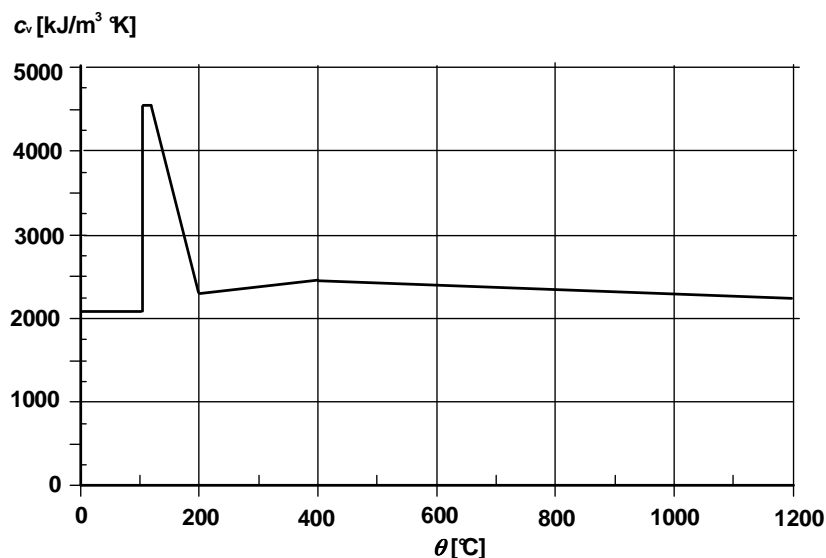
$c_{p,peak} = 2020$  J/kg·K para um teor de água de 3,0 % do peso de betão;

e variação linear entre (115 °C,  $c_{p,peak}$ ) e (200 °C, 1000 J/kg·K). Para outros teores de água, é aceitável uma interpolação linear. Os picos do calor específico são representados na Figura 3.6a.



- a) Calor específico,  $c_p(\theta)$ , em função da temperatura para 3 teores de água diferentes,  $u$ , de 0 %, 1,5 % e 3 % do peso para betão com agregados siliciosos

Figura 3.6 – Calor específico e calor específico volúmico (continua)



- b) Calor específico volúmico,  $c_v(\theta)$ , em função da temperatura para um teor de água,  $u$ , de 3 % por peso e uma massa volúmica de  $2300 \text{ kg/m}^3$  para betão com agregados siliciosos

Figura 3.6 – Calor específico e calor específico volúmico (conclusão)

(3) A variação da massa volúmica com a temperatura é influenciada pela perda de água e é definida como segue:

$$\begin{aligned}
 \rho(\theta) &= \rho(20^\circ\text{C}) && \text{para } 20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 115^\circ\text{C} \\
 \rho(\theta) &= \rho(20^\circ\text{C}) \cdot (1 - 0,02(\theta - 115)/85) && \text{para } 115^\circ\text{C} < \theta \leq 200^\circ\text{C} \\
 \rho(\theta) &= \rho(20^\circ\text{C}) \cdot (0,98 - 0,03(\theta - 200)/200) && \text{para } 200^\circ\text{C} < \theta \leq 400^\circ\text{C} \\
 \rho(\theta) &= \rho(20^\circ\text{C}) \cdot (0,95 - 0,07(\theta - 400)/800) && \text{para } 400^\circ\text{C} < \theta \leq 1200^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

(4) A variação do calor específico volúmico  $c_v(\theta)$  (produto de  $\rho(\theta)$  e  $c_p(\theta)$ ) é representada na Figura 3.6b para o betão com um teor de água de 3 % por peso e uma massa volúmica de  $2300 \text{ kg/m}^3$ .

### 3.3.3 Condutibilidade térmica

(1) A condutibilidade térmica  $\lambda_c$  do betão poderá ser determinada entre os valores dos limites inferior e superior, indicados em (2).

**NOTA 1:** O valor da condutibilidade térmica poderá ser especificado no Anexo Nacional no intervalo definido pelos limites inferior e superior.

**NOTA 2:** O Anexo A é compatível com o limite inferior. As restantes secções da presente Norma são independentes da escolha da condutibilidade térmica. Para o betão de alta resistência, ver 6.3.

(2) O limite superior de condutibilidade térmica  $\lambda_c$  do betão de massa volúmica normal poderá ser determinado a partir de:

$$\lambda_c = 2 - 0,2451 (\theta / 100) + 0,0107 (\theta / 100)^2 \text{ W/m}\cdot\text{K para } 20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 1200^\circ\text{C}$$

em que:

$\theta$  temperatura do betão.



O limite inferior de condutibilidade térmica  $\lambda_c$  do betão de massa volúmica normal poderá ser determinado a partir de:

$$\lambda_c = 1,36 - 0,136 (\theta / 100) + 0,0057 (\theta / 100)^2 \text{ W/m}\cdot\text{K} \quad \text{para } 20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 1200^\circ\text{C}$$

em que:

$\theta$  temperatura do betão.

(3) A variação do limite superior e do limite inferior de condutibilidade térmica em função da temperatura é representada na Figura 3.7.

### 3.4 Extensão térmica dos aços para betão armado e de pré-esforço

(1) A extensão térmica  $\varepsilon_s(\theta)$  do aço poderá ser determinada a partir das expressões seguintes, com referência ao comprimento a  $20^\circ\text{C}$ :

Aço para betão armado:

$$\varepsilon_s(\theta) = -2,416 \times 10^{-4} + 1,2 \times 10^{-5} \theta + 0,4 \times 10^{-8} \theta^2 \quad \text{para } 20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 750^\circ\text{C}$$

$$\varepsilon_s(\theta) = 11 \times 10^{-3} \quad \text{para } 750^\circ\text{C} < \theta \leq 860^\circ\text{C}$$

$$\varepsilon_s(\theta) = -6,2 \times 10^{-3} + 2 \times 10^{-5} \theta \quad \text{para } 860^\circ\text{C} < \theta \leq 1200^\circ\text{C}$$

Aço de pré-esforço:

$$\varepsilon_p(\theta) = -2,016 \times 10^{-4} + 10^{-5} \theta + 0,4 \times 10^{-8} \theta^2 \quad \text{para } 20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 1200^\circ\text{C}$$

em que:

$\theta$  temperatura do aço ( $^\circ\text{C}$ ).

(2) A variação da extensão térmica com a temperatura é representada na Figura 3.8.

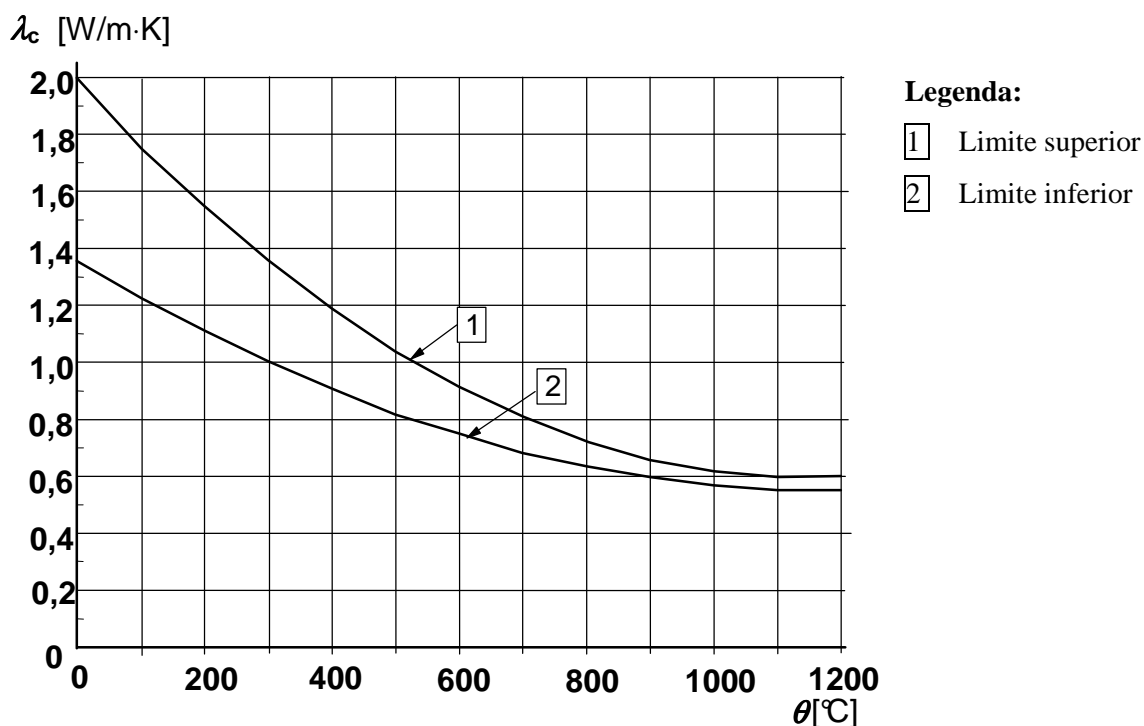


Figura 3.7 – Condutibilidade térmica do betão

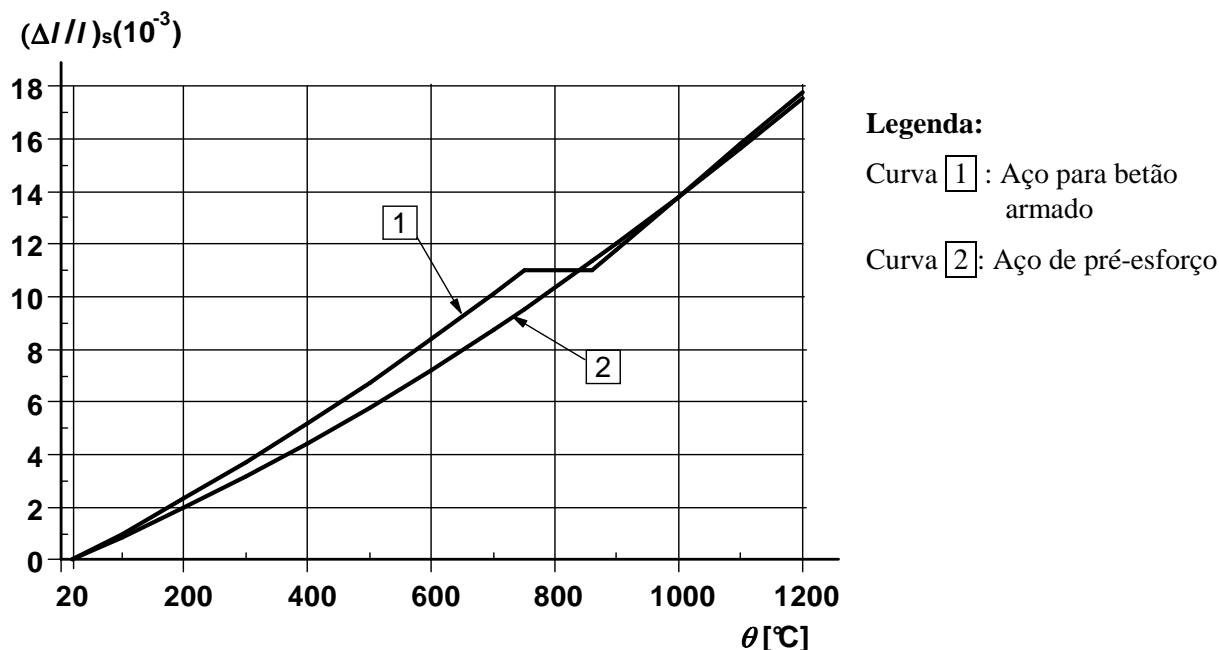


Figura 3.8 – Extensão térmica total do aço

## 4 Métodos de cálculo

### 4.1 Generalidades

(1)P São autorizados os seguintes métodos de cálculo, para satisfazer o estipulado em 2.4.1(2)P:

- disposições construtivas baseadas em soluções consagradas pela experiência (valores tabelados ou ensaios), ver a secção 5;
- métodos de cálculo simplificados para elementos de tipo específico, ver 4.2;
- métodos de cálculo avançados para simular o comportamento de elementos estruturais, de partes da estrutura ou da totalidade da estrutura, ver 4.3.

**NOTA 1:** Quando se utilizam métodos de cálculo, consultar 4.6 no que se refere à função de estanquidade (E).

**NOTA 2:** Para a função de isolamento térmico (I), admite-se, normalmente, uma temperatura ambiente de 20  $^{\circ}\text{C}$ .

**NOTA 3:** A decisão relativa à utilização de modelos de cálculo avançados num determinado país poderá ser indicada no respectivo Anexo Nacional.

(2)P O destacamento do betão deve ser evitado por meio de medidas adequadas ou a sua influência deve ser considerada nos requisitos de desempenho (R e/ou EI), ver 4.5.

(3) Deverá evitar-se o colapso súbito dos elementos pré-esforçados com armaduras não aderentes, resultante da dilatação térmica excessiva do aço.

## 4.2 Método de cálculo simplificado

### 4.2.1 Generalidades

(1) Poderão utilizar-se métodos de cálculo simplificados das secções transversais para a determinação da capacidade resistente última de uma secção sujeita a aquecimento e para a comparação dessa capacidade com a combinação de acções relevante, ver 2.4.2.

*NOTA 1:* O Anexo B informativo apresenta dois métodos alternativos, B.1 “Método da isotérmica de 500 °C” e B.2 “Método das zonas”, para o cálculo da resistência aos momentos flectores e aos esforços normais. Os efeitos de segunda ordem poderão ser incluídos com ambos os modelos. Os dois métodos são aplicáveis a estruturas sujeitas a uma exposição ao fogo padrão. O método B.1 poderá ser utilizado tanto com o fogo padrão como com o fogo paramétrico. Recomenda-se a utilização do método B.2 para secções pequenas e pilares esbeltos mas só é válido para o fogo padrão.

*NOTA 2:* No Anexo C informativo é apresentado um método das zonas para a análise de secções de pilares sujeitos a efeitos de segunda ordem significativos.

(2) Para o esforço transversal, a torção e a amarração das armaduras, ver 4.4.

*NOTA:* No Anexo D informativo é apresentado um método de cálculo simplificado relativo ao esforço transversal, à torção e à amarração das armaduras.

(3) Poderão utilizar-se métodos simplificados para o cálculo de vigas e de lajes, sujeitas predominantemente a cargas uniformemente distribuídas e em que o cálculo à temperatura normal é baseado numa análise linear.

*NOTA:* No Anexo E informativo é apresentado um método simplificado para o cálculo de vigas e lajes.

### 4.2.2 Perfis de temperatura

(1) As temperaturas numa estrutura de betão exposta ao fogo poderão ser determinadas a partir de ensaios ou por cálculo.

*NOTA:* Os perfis de temperatura indicados no Anexo A poderão ser utilizados para determinar as temperaturas nas secções transversais de betão com agregados siliciosos, expostas a um fogo padrão até ao instante em que se atinge a temperatura máxima dos gases. Os perfis são conservativos para a maior parte dos outros tipos de agregados.

### 4.2.3 Secção transversal reduzida

(1) Poderão utilizar-se métodos simplificados que utilizam uma secção transversal reduzida.

*NOTA:* No Anexo B informativo são apresentados dois métodos que utilizam uma secção transversal reduzida.

O método descrito em B.1 baseia-se na hipótese segundo a qual o betão a uma temperatura superior a 500 °C é desprezado no cálculo da capacidade resistente, enquanto o betão a uma temperatura inferior a 500 °C mantém a sua resistência total. Este método é aplicável a uma secção de betão armado e pré-esforçado no que se refere ao esforço normal, ao momento flector e às suas combinações.

O método descrito em B.2 baseia-se no princípio segundo o qual a secção transversal é reduzida, ignorando-se uma zona sem resistência mecânica nas superfícies expostas ao fogo. O cálculo deverá seguir um método específico. Este método é aplicável a uma secção de betão armado e pré-esforçado no que se refere ao esforço normal, ao momento flector e às suas combinações.

### 4.2.4 Redução da resistência

#### 4.2.4.1 Generalidades

(1) Nesta secção 4.2.4 indicam-se os valores para a redução do valor característico da resistência do betão à compressão e do valor característico da resistência dos aços para betão armado e de pré-esforço. Poderão ser utilizados com os métodos de cálculo simplificados descritos em 4.2.3.

(2) Os valores da redução da resistência, indicados em 4.2.4.2 e 4.2.4.3, só deverão ser aplicados para taxas de aquecimento semelhantes às que surgem na exposição ao fogo padrão até ao instante em que é atingida a temperatura máxima dos gases.

(3) Poderão aplicar-se outras formulações para as relações constitutivas, desde que as soluções obtidas se encontrem no domínio de validade experimental.

#### 4.2.4.2 Betão

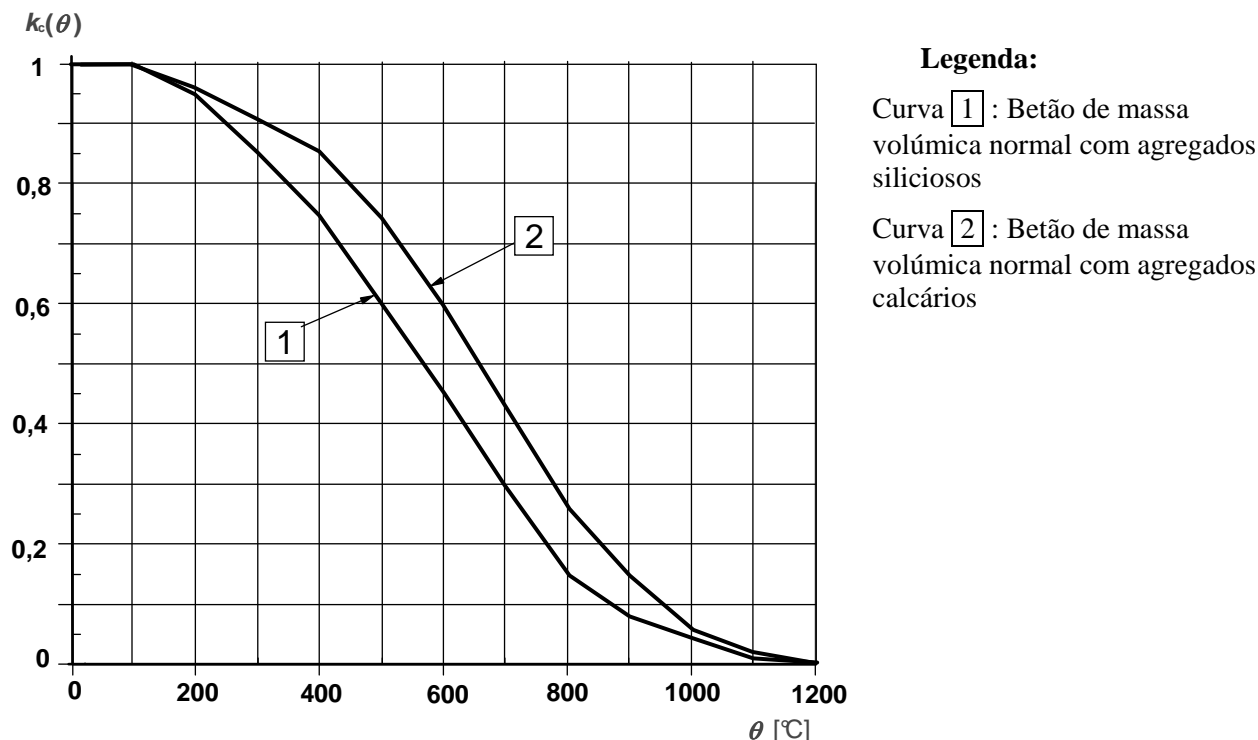


Figura 4.1 – Coeficiente  $k_c(\theta)$  de redução do valor característico da resistência ( $f_{ck}$ ) do betão

(1) O coeficiente de redução do valor característico da resistência do betão à compressão em função da temperatura  $\theta$  poderá ser obtido do Quadro 3.1, respectivamente na coluna 2 para agregados siliciosos e na coluna 5 para agregados calcários (ver a Figura 4.1).

#### 4.2.4.3 Aço

(1) Para as armaduras traccionadas, a redução do valor característico da resistência do aço para betão armado em função da temperatura  $\theta$  é indicada no Quadro 3.2a. Para as armaduras traccionadas das vigas e lajes para as quais  $\varepsilon_{s,fi} \geq 2 \%$ , poderão utilizar-se os coeficientes de redução da resistência das armaduras da Classe N indicados no Quadro 3.2a, respectivamente na coluna 2 para aço laminado a quente e na coluna 3 para aço endurecido a frio (ver a Figura 4.2a, curvas 1 e 2). Os coeficientes de redução da resistência das armaduras da Classe X são indicados no Quadro 3.2b para aço para betão armado laminado a quente e endurecido a frio (ver a Figura 4.2b, curva 1).

Para armaduras de compressão em pilares e em zonas de compressão de vigas e lajes, a redução da tensão limite de proporcionalidade a 0,2 % para as armaduras da Classe N deverá ser obtida como indicado a seguir. Esta redução da resistência também se aplica às armaduras traccionadas para as quais  $\varepsilon_{s,fi} < 2 \%$  quando se utilizam métodos simplificados para o cálculo de secções transversais (ver a Figura 4.2a, curva 3):

$$k_s(\theta) = 1,0 \quad \text{para } 20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 100^\circ\text{C}$$

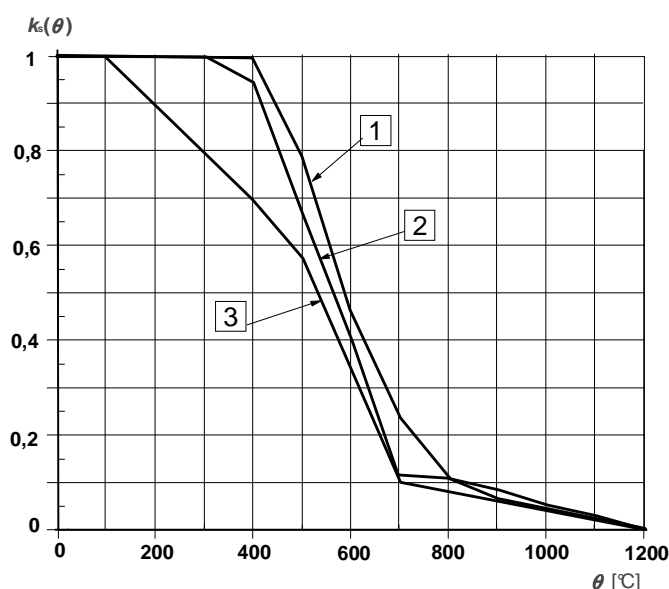
$$k_s(\theta) = 0,7 - 0,3 (\theta - 400)/300 \quad \text{para } 100^\circ\text{C} < \theta \leq 400^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} k_s(\theta) &= 0,57 - 0,13 (\theta - 500)/100 && \text{para } 400^\circ\text{C} < \theta \leq 500^\circ\text{C} \\ k_s(\theta) &= 0,1 - 0,47 (\theta - 700)/200 && \text{para } 500^\circ\text{C} < \theta \leq 700^\circ\text{C} \\ k_s(\theta) &= 0,1 (1200 - \theta)/500 && \text{para } 700^\circ\text{C} < \theta \leq 1200^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Igualmente, a redução da tensão limite de proporcionalidade a 0,2 % para as armaduras da Classe X poderá obter-se como indicado a seguir. Esta redução da resistência também se aplica às armaduras traccionadas para as quais  $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$  (ver a Figura 4.2b, curva 2):

$$\begin{aligned} k_s(\theta) &= 1,0 && \text{para } 20^\circ\text{C} \leq \theta \leq 100^\circ\text{C} \\ k_s(\theta) &= 0,8 - 0,2 (\theta - 400)/300 && \text{para } 100^\circ\text{C} < \theta \leq 400^\circ\text{C} \\ k_s(\theta) &= 0,6 - 0,2 (\theta - 500)/100 && \text{para } 400^\circ\text{C} < \theta \leq 500^\circ\text{C} \\ k_s(\theta) &= 0,33 - 0,27 (\theta - 600)/100 && \text{para } 500^\circ\text{C} < \theta \leq 600^\circ\text{C} \\ k_s(\theta) &= 0,15 - 0,18 (\theta - 700)/100 && \text{para } 600^\circ\text{C} < \theta \leq 700^\circ\text{C} \\ k_s(\theta) &= 0,08 - 0,07 (\theta - 800)/100 && \text{para } 700^\circ\text{C} < \theta \leq 800^\circ\text{C} \\ k_s(\theta) &= 0,05 - 0,03 (\theta - 900)/100 && \text{para } 800^\circ\text{C} < \theta \leq 900^\circ\text{C} \\ k_s(\theta) &= 0,04 - 0,01 (\theta - 1000)/100 && \text{para } 900^\circ\text{C} < \theta \leq 1000^\circ\text{C} \\ k_s(\theta) &= 0,04 (1200 - \theta)/200 && \text{para } 1000^\circ\text{C} < \theta \leq 1200^\circ\text{C} \end{aligned}$$

(2) A redução do valor característico da resistência de um aço de pré-esforço em função da temperatura,  $\theta$ , deverá estar de acordo com 3.2.4(2). Os valores poderão ser obtidos do Quadro 3.3, respectivamente nas colunas 2a ou 2b para o aço endurecido a frio e na coluna 3 para o aço de pré-esforço temperado e revenido (ver a Figura 4.3).



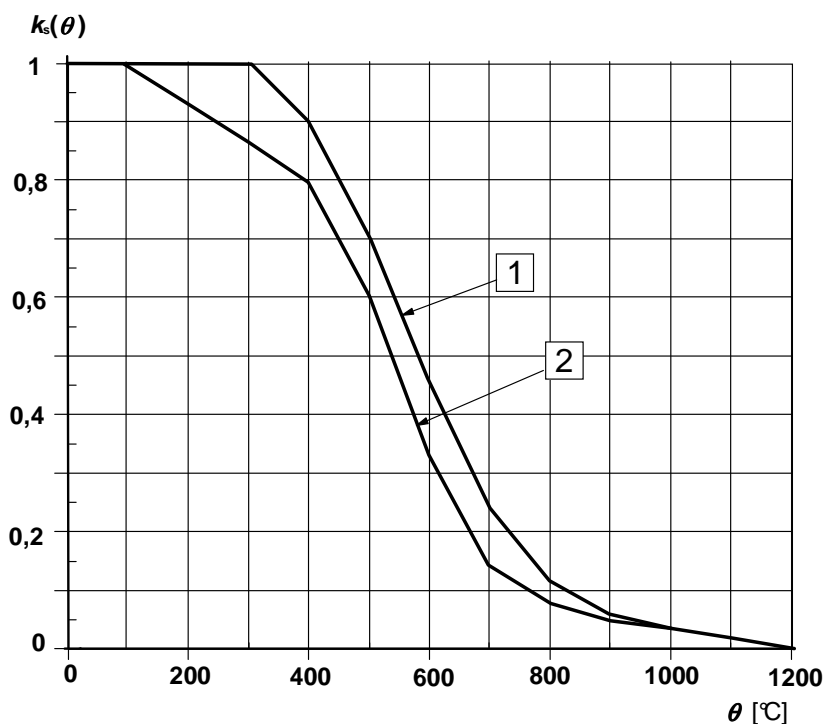
**Legenda:**

Curva **1** : Armaduras traccionadas (aço laminado a quente) para extensões  $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$

Curva **2** : Armaduras traccionadas (aço endurecido a frio) para extensões  $\varepsilon_{s,fi} \geq 2\%$

Curva **3** : Armaduras comprimidas e traccionadas para extensões  $\varepsilon_{s,fi} < 2\%$

Figura 4.2a – Coeficiente  $k_s(\theta)$  de redução do valor característico da resistência ( $f_{yk}$ ) das armaduras traccionadas ou comprimidas (Classe N)

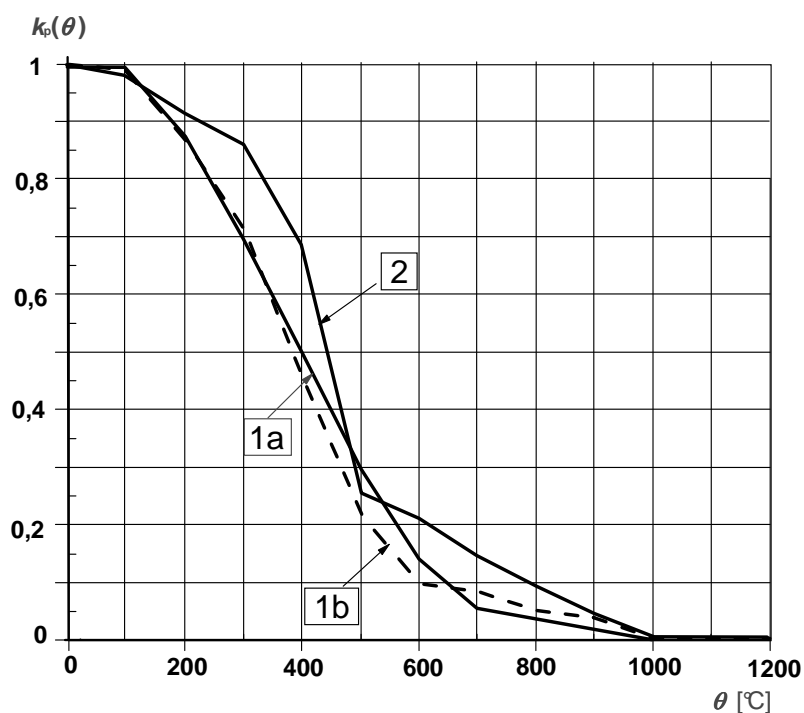


**Legenda:**

Curva 1: Armaduras traccionadas (aço laminado a quente ou endurecido a frio) para extensões  $\epsilon_{s,fi} \geq 2 \%$

Curva 2: Armaduras comprimidas e traccionadas (aço laminado a quente ou endurecido a frio) para extensões  $\epsilon_{s,fi} < 2 \%$

Figura 4.2b – Coeficiente  $k_s(\theta)$  de redução do valor característico da resistência ( $f_{yk}$ ) das armaduras traccionadas ou comprimidas (Classe X)



**Legenda:**

Curva 1a : Aço de pré-esforço endurecido a frio (fios e cordões), Classe A

Curva 1b : Aço de pré-esforço endurecido a frio (fios e cordões), Classe B

Curva 2 : Aço de pré-esforço temperado e revenido (varões)

Figura 4.3 – Coeficiente  $k_p(\theta)$  de redução do valor característico da resistência ( $\beta f_{pk}$ ) do aço de pré-esforço

## **4.3 Métodos de cálculo avançados**

### **4.3.1 Generalidades**

(1)P Os métodos de cálculo avançados devem facultar uma análise realista das estruturas expostas ao fogo. Devem basear-se no comportamento físico fundamental dos materiais, conduzindo a uma aproximação fiável do comportamento provável em condição de incêndio do componente estrutural considerado.

(2)P Qualquer potencial modo de colapso não abrangido pelo método de cálculo avançado (por exemplo, capacidade de rotação insuficiente, destacamento do betão, encurvadura local da armadura em compressão, rotura por esforço transversal e rotura de aderência, danificação dos órgãos de amarração) deve ser evitado por meios adequados.

(3) Os métodos de cálculo avançados deverão incluir modelos de cálculo para a determinação:

– do desenvolvimento e da distribuição da temperatura no interior dos elementos estruturais (modelo de resposta térmica);

– do comportamento mecânico da estrutura ou de qualquer parte desta (modelo de resposta mecânica).

(4) Poderão utilizar-se métodos de cálculo avançados em associação com qualquer curva de aquecimento, desde que sejam conhecidas as propriedades dos materiais para a gama de temperaturas aplicável e para a taxa de aquecimento considerada.

(5) Os métodos de cálculo avançados poderão utilizar-se com qualquer tipo de secção transversal.

### **4.3.2 Resposta térmica**

(1)P Os métodos de cálculo avançados para a determinação da resposta térmica devem basear-se nos princípios e hipóteses conhecidos da teoria da transferência de calor.

(2)P O modelo de resposta térmica deve considerar:

a) as acções térmicas relevantes especificadas na EN 1991-1-2;

b) as propriedades térmicas dos materiais dependentes da temperatura.

(3) A influência do teor de água e da migração da água no interior do betão ou das camadas de protecção, caso existam, poderá, de modo conservativo, ser desprezada.

(4) O perfil de temperatura num elemento de betão armado poderá ser avaliado ignorando a presença das armaduras.

(5) Sempre que for apropriado, poderão ser considerados os efeitos da exposição térmica não uniforme e da transferência de calor para os elementos de construção adjacentes.

### **4.3.3 Resposta mecânica**

(1)P Os métodos de cálculo avançados para a determinação da resposta mecânica devem basear-se nos princípios e hipóteses conhecidos da teoria da mecânica das estruturas, tendo em conta as alterações das propriedades mecânicas com a temperatura.

(2)P Os efeitos das extensões e das tensões de origem térmica, induzidos quer pelos aumentos quer pelas variações diferenciais de temperatura, devem ser considerados.

(3)P As deformações no estado limite último resultantes dos cálculos devem ser limitadas, se necessário, para assegurar a manutenção da compatibilidade entre todas as partes da estrutura.

(4)P Quando relevante, a resposta mecânica do modelo deve ter também em conta os efeitos geométricos não lineares.

(5) A extensão total  $\varepsilon$  poderá ser considerada igual a:

$$\varepsilon = \varepsilon_{th} + \varepsilon_{\sigma} + \varepsilon_{creep} + \varepsilon_{tr} \quad (4.15)$$

em que:

$\varepsilon_{th}$  extensão térmica;

$\varepsilon_{\sigma}$  extensão instantânea função da tensão;

$\varepsilon_{creep}$  extensão de fluência;

$\varepsilon_{tr}$  extensão transiente.

(6) A capacidade resistente de elementos isolados, de partes da estrutura ou de estruturas completas expostos ao fogo poderá ser avaliada por métodos de análise plástica (ver a EN 1992-1-1, secção 5).

(7) A capacidade de rotação plástica das secções de betão armado deverá ser avaliada tendo em conta o aumento das extensões últimas,  $\varepsilon_{cu}$  e  $\varepsilon_{su}$ , devido ao aquecimento.  $\varepsilon_{cu}$  é também alterado pela presença de uma armadura de cintagem.

(8) A zona comprimida de uma secção, especialmente se estiver directamente exposta ao fogo (por exemplo, zonas convexas de vigas contínuas), deverá ser verificada e pormenorizada com particular atenção no que se refere ao destacamento do betão e à queda do recobrimento.

(9) Na análise de elementos isolados ou de partes da estrutura, as condições de fronteira deverão ser pormenorizadamente verificadas de forma a evitar o colapso por perda do apoio necessário aos elementos.

#### **4.3.4 Validação dos métodos de cálculo avançados**

(1)P Deve ser feita uma verificação da precisão dos modelos de cálculo com base em resultados de ensaios pertinentes.

(2) Os resultados do cálculo poderão referir-se a temperaturas, deformações e tempos de resistência ao fogo.

(3)P Os parâmetros críticos devem ser verificados por uma análise de sensibilidade, de modo a assegurar que o modelo é compatível com a boa prática da engenharia.

(4) Os parâmetros críticos poderão referir-se, por exemplo, ao comprimento de encurvadura, às dimensões dos elementos e ao nível de carregamento.

#### **4.4 Esforço transversal, torção e amarração das armaduras**

(1) Quando se adoptam as dimensões mínimas indicadas nos valores tabelados, não são necessárias outras verificações em relação ao esforço transversal, à torção e à amarração das armaduras.

(2) Poderão utilizar-se métodos de cálculo para o esforço transversal, a torção e a amarração das armaduras, se se basearem em informações resultantes de ensaios.

**NOTA:** No Anexo D informativo são apresentados métodos de cálculo simplificados para o esforço transversal, a torção e a amarração.



## 4.5 Destacamento do betão

### 4.5.1 Destacamento explosivo

(1)P Deve evitar-se o destacamento explosivo do betão ou deve ser tida em consideração a sua incidência nos requisitos de desempenho (R e/ou EI).

(2) O destacamento explosivo do betão é pouco provável quando o teor de água do betão é inferior a  $k$  % por peso. Acima de  $k$  %, deverá ser feita uma avaliação mais rigorosa da influência do teor de água, do tipo de agregado, da permeabilidade do betão e da taxa de aquecimento.

*NOTA:* O valor de  $k$  a utilizar num determinado país poderá ser indicado no respectivo Anexo Nacional. O valor recomendado é 3.

(3) Poderá admitir-se que para os elementos calculados para as classes de exposição X0 e XC1 (ver a EN 1992-1-1), o seu teor de água é inferior a  $k$  % por peso, com  $2,5 \leq k \leq 3,0$ .

(4) Quando se utilizam valores tabelados, não são necessárias outras verificações no caso de betão de massa volumica normal. Aplica-se o disposto em 4.5.2(2) quando a distância do eixo da armadura ao paramento,  $a$ , é igual ou superior a 70 mm.

(5) Para vigas, lajes e elementos traccionados, se o teor de água do betão for superior a  $k$  % por peso, a influência do destacamento explosivo na função resistente, R, poderá ser avaliada admitindo a perda local de recobrimento de um varão ou de um agrupamento de varões na secção transversal e verificando depois a capacidade resistente *reduzida* da secção. Para esta verificação, poderá admitir-se que a temperatura dos outros varões da armadura é a de uma secção sem destacamento de betão. Esta verificação não é necessária nos elementos estruturais cujo comportamento correcto em relação ao destacamento explosivo do betão tenha sido experimentalmente verificado ou aos quais seja aplicada uma protecção adicional validada por ensaios.

*NOTA:* Nos casos em que o número de varões é suficiente, poderá admitir-se a possibilidade de uma redistribuição aceitável de tensões sem perda da resistência (R), o que inclui:

- lajes maciças com varões regularmente distribuídos;
- vigas com uma largura superior a 400 mm e com mais de 8 varões na área traccionada.

### 4.5.2 Queda do betão

(1)P Deve evitar-se a queda do betão na fase final da exposição ao fogo ou deve ser tida em consideração a sua incidência nos requisitos de desempenho (R e/ou EI).

(2) Nos casos em que a distância do eixo das armaduras ao paramento seja igual ou superior a 70 mm e em que não tenham sido realizados ensaios para demonstrar que não ocorre queda do betão, deverá adoptar-se uma armadura de pele. Os varões da armadura de pele deverão ter um espaçamento não superior a 100 mm e um diâmetro não inferior a 4 mm.

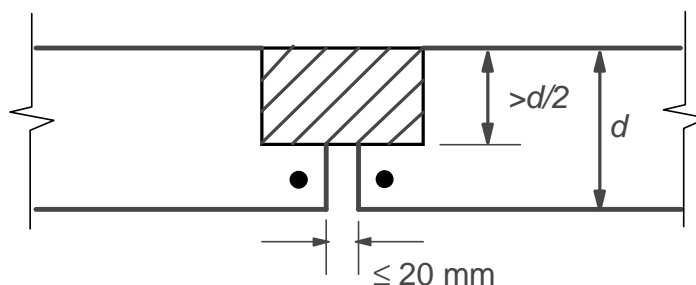
## 4.6 Juntas

(1)P A concepção das juntas deve basear-se numa avaliação global do comportamento da estrutura em relação ao fogo.

(2)P As juntas devem ser pormenorizadas de forma a cumprirem os critérios R e EI estipulados para elementos estruturais unidos e a assegurarem uma estabilidade suficiente ao conjunto da estrutura.

(3) Os componentes de aço das juntas deverão ser projectados em relação à resistência ao fogo de acordo com a EN 1993-1-2.

(4) No que se refere ao critério I, a largura do intervalo nas juntas não deverá exceder o limite de 20 mm, e a sua profundidade não deverá ser superior a metade da espessura mínima  $d$  (ver 5) do elemento de separação, ver a Figura 4.4.



**NOTA:** Os varões nas zonas dos cantos junto do intervalo na junta não necessitam de ser considerados como varões de canto no que se refere a valores tabelados.

Figura 4.4 – Dimensões do intervalo nas juntas

Para intervalos de maior profundidade e, se necessário, com a adição de um selante, a resistência ao fogo deverá ser documentada com base num procedimento de ensaio adequado.

#### 4.7 Camadas de protecção

- (1) A resistência ao fogo requerida poderá também ser obtida mediante a aplicação de camadas de protecção.
- (2) As propriedades e o desempenho dos materiais das camadas de protecção deverão ser avaliados através de um procedimento de ensaio adequado.

### 5 Valores tabelados

#### 5.1 Objectivo e campo de aplicação

- (1) Nesta secção 5 são fornecidas reconhecidas soluções de projecto para a exposição ao fogo padrão até 240 min (ver 4.1). As regras referem-se à análise por elementos de acordo com o disposto em 2.4.2.

**NOTA:** Os quadros foram elaborados numa base empírica confirmada pela experiência e pela avaliação teórica dos resultados de ensaios. Os valores foram determinados a partir de hipóteses, conservativas e aproximadas, para os elementos estruturais mais comuns e são válidos para todo o domínio de condutibilidade térmica definido em 3.3. Valores tabelados mais específicos podem ser encontrados em normas de produtos relativas a certos produtos de betão ou serem desenvolvidos com base nos métodos de cálculo de acordo com 4.2, 4.3 e 4.4.

- (2) Os valores indicados nos quadros aplicam-se ao betão de massa volúmica normal ( $2000 \text{ kg/m}^3$  a  $2600 \text{ kg/m}^3$ , ver a EN 206-1), fabricado com agregados siliciosos.

Se forem utilizados agregados calcários ou agregados leves em vigas ou em lajes, as dimensões mínimas da secção transversal poderão ser reduzidas de 10 %.

- (3) Quando se utilizam os valores tabelados não são necessárias verificações adicionais da capacidade resistente ao esforço transversal e à torção e da amarração das armaduras (ver 4.4).
- (4) Quando se utilizam os valores tabelados não são necessárias verificações adicionais em relação ao destacamento do betão, excepto no que se refere à armadura de pele (ver 4.5.1(4)).

## 5.2 Regras gerais de cálculo

(1) Poderá considerar-se que os requisitos relativos à função de compartimentação (critérios E e I, (ver 2.1.2)) são satisfeitos quando a espessura mínima das paredes ou das lajes está de acordo com o Quadro 5.3. Para as juntas, deverá consultar-se 4.6.

(2) Para a função resistente (critério R), os requisitos mínimos indicados nos quadros quanto às dimensões das secções e à distância do eixo das armaduras ao paramento, correspondem a:

$$E_{d,fi}/R_{d,fi} \leq 1,0 \quad (5.1)$$

em que:

$E_{d,fi}$  valor de cálculo dos efeitos das acções em situação de incêndio;

$R_{d,fi}$  valor de cálculo da capacidade resistente em situação de incêndio.

(3) Os valores tabelados indicados nesta secção 5 baseiam-se num nível de carregamento de referência,  $\eta_{fi} = 0,7$ , salvo indicação em contrário nas secções relevantes.

**NOTA:** Quando os coeficientes parciais de segurança especificados nos Anexos Nacionais da EN 1990 diferem dos indicados em 2.4.2, o valor de  $\eta_{fi} = 0,7$  acima referido poderá não ser válido. Neste caso, o valor de  $\eta_{fi}$  a utilizar num determinado país poderá ser indicado no respectivo Anexo Nacional.

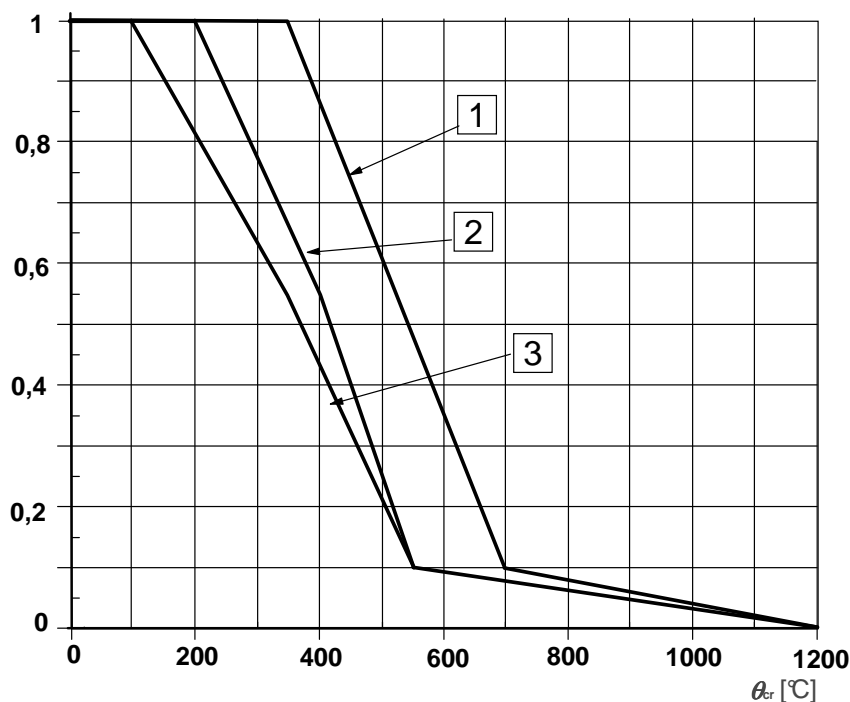
(4) Para assegurar a necessária distância do eixo das armaduras ao paramento nas zonas traccionadas de vigas e de lajes simplesmente apoiadas, os Quadros 5.5, 5.6 e 5.8, coluna 3 (lajes armadas numa direcção), baseiam-se numa temperatura crítica do aço  $\theta_{cr} = 500$  °C. Esta hipótese corresponde aproximadamente a  $E_{d,fi} = 0,7E_d$  e  $\gamma_s = 1,15$  (nível de tensões  $\sigma_{s,fi}/f_{yk} = 0,60$ , ver a expressão (5.2)), em que  $E_d$  representa o efeito das acções de acordo com a EN 1992-1-1.

(5) Para as armaduras de pré-esforço, admite-se que a temperatura crítica para varões é de 400 °C e para cordões e fios é de 350 °C. Esta hipótese corresponde aproximadamente a  $E_{d,fi} = 0,7 E_d$ ,  $f_{p0,1k}/f_{pk} = 0,9$  e  $\gamma_s = 1,15$  (nível de tensões  $\sigma_{s,fi}/f_{p0,1k} = 0,55$ ). Se não for efectuada uma verificação especial de acordo com o disposto em (7) para elementos traccionados, vigas e lajes pré-esforçadas, a distância necessária do eixo das armaduras ao paramento,  $a$ , deverá ser aumentada de:

- 10 mm para varões de pré-esforço, o que corresponde a  $\theta_{cr} = 400$  °C;
- 15 mm para fios e cordões de pré-esforço, o que corresponde a  $\theta_{cr} = 350$  °C.

(6) A redução do valor característico da resistência do aço para betão armado e de pré-esforço em função da temperatura,  $\theta$ , a utilizar com os quadros desta secção, é representada pelas curvas de referência da Figura 5.1.

$k_s(\theta_{cr}), k_p(\theta_{cr})$



**Legenda:**

Curva **1**: Aço para betão armado

Curva **2**: Aço de pré-esforço  
(varões: ver EN 10138-4)

Curva **3**: Aço de pré-esforço  
(fios e cordões: ver EN 10138-2 e -3)

Figura 5.1 – Curvas de referência para a temperatura crítica dos aços para betão armado e de pré-esforço,  $\theta_{cr}$ , correspondente ao coeficiente de redução,  $k_s(\theta_{cr}) = \sigma_{s,fi}/f_{yk}(20\text{ }^{\circ}\text{C})$  ou  $k_p(\theta_{cr}) = \sigma_{p,fi}/f_{pk}(20\text{ }^{\circ}\text{C})$

Estas curvas são determinadas da seguinte forma:

i) aço para betão armado (laminado a quente ou endurecido a frio: EN 10080)

$$k_s(\theta) = 1,0 \quad \text{para } 20\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 350\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$k_s(\theta) = 1,0 - 0,4 \cdot (\theta - 350)/150 \quad \text{para } 350\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta \leq 500\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$k_s(\theta) = 0,61 - 0,5 \cdot (\theta - 500)/200 \quad \text{para } 500\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta \leq 700\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$k_s(\theta) = 0,1 - 0,1 \cdot (\theta - 700)/500 \quad \text{para } 700\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta \leq 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$$

ii) aço de pré-esforço (varões: EN 10138-4)

$$k_p(\theta) = 1,0 \quad \text{para } 20\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 200\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$k_p(\theta) = 1,0 - 0,45 \cdot (\theta - 200)/200 \quad \text{para } 200\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta \leq 400\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$k_p(\theta) = 0,55 - 0,45 \cdot (\theta - 400)/150 \quad \text{para } 400\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta \leq 550\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$k_p(\theta) = 0,1 - 0,1 \cdot (\theta - 550)/650 \quad \text{para } 550\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta \leq 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$$

iii) aço de pré-esforço (fios e cordões: EN 10138-2 e -3)

$$k_p(\theta) = 1,0 \quad \text{para } 20\text{ }^{\circ}\text{C} \leq \theta \leq 100\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$k_p(\theta) = 1,0 - 0,45 \cdot (\theta - 100)/250 \quad \text{para } 100\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta \leq 350\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$k_p(\theta) = 0,55 - 0,45 \cdot (\theta - 350)/200 \quad \text{para } 350 \text{ }^{\circ}\text{C} < \theta \leq 550 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$k_p(\theta) = 0,1 - 0,1 \cdot (\theta - 550)/650 \quad \text{para } 550 \text{ }^{\circ}\text{C} < \theta \leq 1200 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

(7) Para elementos traccionados e para elementos simplesmente apoiados em flexão (excepto os elementos pré-esforçados com cabos não aderentes), para os quais a temperatura crítica é diferente de 500 °C, a distância do eixo das armaduras ao paramento, indicada nos Quadros 5.5, 5.6 e 5.9, poderá ser alterada da forma seguinte:

a) avaliar a tensão no aço,  $\sigma_{s,fi}$ , para as acções devidas à situação de incêndio ( $E_{d,fi}$ ) utilizando a expressão (5.2):

$$\sigma_{s,fi} = \frac{E_{d,fi}}{E_d} \times \frac{f_{yk}(20^{\circ}\text{C})}{\gamma_s} \times \frac{A_{s,req}}{A_{s,prov}} \quad (5.2)$$

em que:

$\gamma_s$  coeficiente parcial de segurança do aço para betão armado (ver a secção 2 da EN 1992-1-1);

$A_{s,req}$  área de armadura necessária no estado limite último de acordo com a EN 1992-1-1;

$A_{s,prov}$  área da armadura efectivamente adoptada;

$E_{d,fi}/E_d$  poderá ser avaliado segundo 2.4.2;

b) avaliar a temperatura crítica da armadura,  $\theta_{cr}$ , correspondente ao coeficiente de redução  $k_s(\theta_{cr}) = \sigma_{s,fi}/f_{yk}(20^{\circ}\text{C})$  utilizando a Figura 5.1 (curva de referência 1) para o aço para betão armado ou  $k_p(\theta_{cr}) = \sigma_{p,fi}/f_{pk}(20^{\circ}\text{C})$  utilizando a Figura 5.1 (curva de referência 2 ou 3) para o aço de pré-esforço;

c) ajustar a distância mínima ao eixo, indicada nos quadros, à nova temperatura crítica,  $\theta_{cr}$ , utilizando a expressão aproximada (5.3), em que  $\Delta a$  é a alteração daquela distância em milímetros:

$$\Delta a = 0,1 (500 - \theta_{cr}) \text{ (mm)} \quad (5.3)$$

(8) A aproximação anterior é válida para  $350 \text{ }^{\circ}\text{C} < \theta_{cr} < 700 \text{ }^{\circ}\text{C}$  e apenas para a alteração da distância ao eixo indicada nos quadros. Para temperaturas fora destes limites e para resultados mais precisos, deverão utilizar-se perfis de temperatura. Para o aço de pré-esforço, a expressão (5.2) poderá ser aplicada por analogia.

(9) Para cabos de pré-esforço não aderentes, só se deverão utilizar temperaturas críticas superiores a 350 °C se métodos mais rigorosos forem utilizados na determinação dos efeitos das flechas, ver 4.1 (3).

(10) Para os elementos traccionados ou vigas para os quais o cálculo requer que  $\theta_{cr}$  seja inferior a 400 °C, as dimensões da secção transversal deverão ser aumentadas pelo acréscimo da largura mínima do elemento traccionado ou da zona traccionada da viga de acordo com a expressão (5.4):

$$b_{mod} \geq b_{min} + 0,8 (400 - \theta_{cr}) \text{ (mm)} \quad (5.4)$$

em que:

$b_{min}$  dimensão mínima  $b$  indicada nos quadros, correspondente à resistência ao fogo padrão requerida.

Uma alternativa ao aumento da largura de acordo com a expressão (5.4) poderá consistir em ajustar a distância ao eixo da armadura de forma a obter a temperatura adequada à tensão real. Tal requer a utilização de um método mais rigoroso, como, por exemplo, o indicado no Anexo A.

(11) Os valores indicados nos quadros fornecem dimensões mínimas para a resistência ao fogo complementares das regras construtivas requeridas pela EN 1992-1-1. Alguns valores da distância do eixo das armaduras ao paramento indicados nos quadros são inferiores aos requeridos na EN 1992-1-1 e só deverão ser considerados para efeitos de interpolação.

(12) Poderão efectuar-se interpolações lineares entre os valores indicados nos quadros.

(13) Os símbolos utilizados nos quadros estão definidos na Figura 5.2.

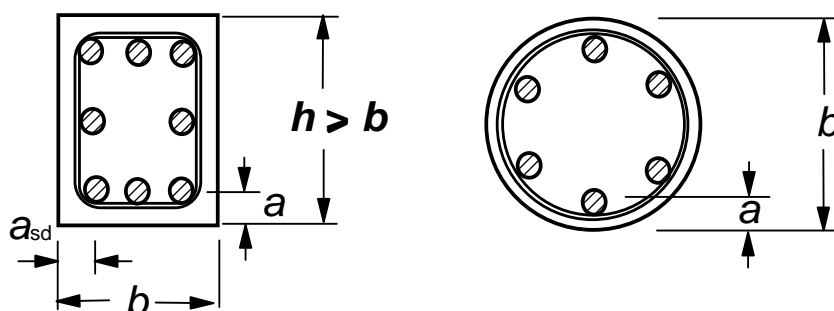


Figura 5.2 – Secções de elementos estruturais, representando a distância ao eixo nominal  $a$

(14) As distâncias ao eixo,  $a$ , de um varão de aço, fio ou cabo são valores nominais. Não é necessário acrescentar uma tolerância.

(15) Quando a armadura é disposta em várias camadas como representado na Figura 5.3, e quando todas elas são constituídas por aço para betão armado ou de pré-esforço com o mesmo valor característico da resistência, respectivamente  $f_{yk}$  e  $f_{pk}$ , a distância ao eixo média,  $a_m$ , não deverá ser inferior à distância ao eixo  $a$  indicada nos quadros. A distância ao eixo média poderá ser determinada pela expressão (5.5):

$$a_m = \frac{A_{s1}a_1 + A_{s2}a_2 + \dots + A_{sn}a_n}{A_{s1} + A_{s2} + \dots + A_{sn}} = \frac{\sum A_{si}a_i}{\sum A_{si}} \quad (5.5)$$

em que:

$A_{si}$  área da secção transversal do varão (cabo, fio) de aço “i”;

$a_i$  distância ao eixo do varão (cabo, fio) de aço “i” medida a partir da superfície exposta mais próxima.

Quando a armadura é constituída por aços com diferentes valores característicos da resistência, na expressão (5.5)  $A_{si}$  deverá ser substituído por  $A_{si}f_{yki}$  (ou  $A_{si}f_{pki}$ ).

(16) Quando se utilizam simultaneamente aços para betão armado e de pré-esforço (por exemplo, num elemento parcialmente pré-esforçado), as distâncias ao paramento dos eixos do aço para betão armado e do aço de pré-esforço deverão ser determinadas separadamente.

**NOTA:** Recomenda-se a utilização de gráficos de temperatura e de métodos de cálculo simplificados.

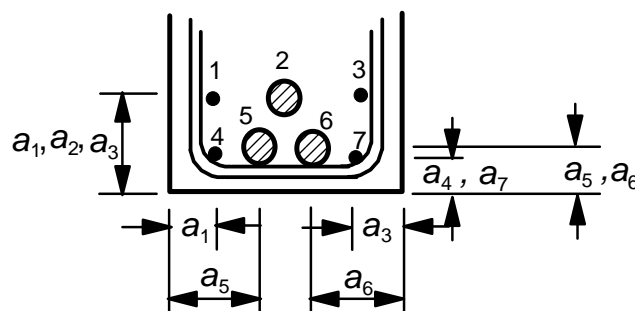


Figura 5.3 – Dimensões utilizadas para o cálculo da distância ao eixo média  $a_m$

(17) A distância ao eixo mínima para cada varão não deverá ser inferior à requerida para a classe R 30, para varões dispostos numa única camada, ou a metade da distância ao eixo média para varões dispostos em várias camadas (ver a expressão (5.5)).

## 5.3 Pilares

### 5.3.1 Generalidades

(1) Para a verificação da resistência ao fogo de pilares, apresentam-se dois métodos: Método A e Método B.

**NOTA:** Apenas se indicam valores tabelados para estruturas contraventadas. Os valores tabelados para estruturas não contraventadas poderão ser indicados no Anexo Nacional de cada país.

### 5.3.2 Método A

(1) Poderá considerar-se que a resistência ao fogo de pilares de betão armado e pré-esforçado, principalmente sujeitos a compressão em estruturas contraventadas, é adequada se os valores indicados no Quadro 5.2a, assim como as regras seguintes, são aplicados.

(2) A validade dos valores mínimos da largura do pilar,  $b_{\min}$ , e da distância do eixo das armaduras longitudinais ao paramento,  $a$ , indicados no Quadro 5.2a, é limitada como segue:

- comprimento efectivo do pilar (para a definição, ver a EN 1992-1-1, secção 5) em situação de incêndio:  $l_{0,fi} \leq 3 \text{ m}$ ;
- excentricidade de primeira ordem em situação de incêndio:  $e = M_{0Ed,fi} / N_{0Ed,fi} \leq e_{\max}$ ;
- quantidade de armaduras:  $A_s < 0,04 A_c$ .

**NOTA 1:** O valor de  $e_{\max}$ , dentro dos limites  $0,15h$  (ou  $b$ )  $\leq e_{\max} \leq 0,4h$  (ou  $b$ ), a utilizar num determinado país, poderá ser indicado no respectivo Anexo Nacional. O valor recomendado é  $0,15h$  (ou  $b$ ).

**NOTA 2:** Poderá admitir-se que o comprimento efectivo de um pilar em situação de incêndio,  $l_{0,fi}$ , é igual a  $l_0$  à temperatura normal em todos os casos. Para estruturas de edifício contraventadas em que a exposição ao fogo padrão necessária é superior a 30 min, o comprimento efectivo,  $l_{0,fi}$ , poderá ser considerado igual a  $0,5 l$  para os pisos intermédios e a  $0,5 l \leq l_{0,fi} \leq 0,7 l$  para o piso superior, em que  $l$  é o comprimento real do pilar (eixo a eixo).

**NOTA 3:** Poderá considerar-se que a excentricidade de primeira ordem em situação de incêndio é igual à do cálculo à temperatura normal.

(3) Foi introduzido um grau de utilização em situação de incêndio,  $\mu_{fi}$ , indicado no Quadro 5.2a. Este coeficiente toma em conta as combinações de acções, a resistência à compressão e à flexão do pilar, incluindo os efeitos de segunda ordem.

$$\mu_{fi} = N_{Ed,fi} / N_{Rd} \quad (5.6)$$

em que:

$N_{Ed,fi}$  valor de cálculo do esforço normal em situação de incêndio;

$N_{Rd}$  valor de cálculo da resistência do pilar à temperatura normal.

$N_{Rd}$  calculado de acordo com a EN 1992-1-1 com  $\gamma_m$  para o cálculo à temperatura normal, incluindo os efeitos de segunda ordem e uma excentricidade inicial igual à de  $N_{Ed,fi}$ .

**NOTA 1:** Como simplificação conservativa, poderá utilizar-se o factor de redução  $\eta_{fi}$  em vez de  $\mu_{fi}$  para o valor de cálculo do nível de carregamento (ver 2.4.2), dado que  $\eta_{fi}$  admite que o pilar está totalmente carregado no cálculo à temperatura normal.

Quadro 5.2a – Dimensões e distâncias ao eixo mínimas para pilares de secção rectangular ou circular

Resistência ao fogo padrão	Dimensões mínimas (mm)			
	Largura do pilar $b_{\min}$ /distância ao paramento do eixo dos varões principais $a$			
	Pilar exposto em mais de um lado			Pilar exposto de um só lado
	$\mu_{fi} = 0,2$	$\mu_{fi} = 0,5$	$\mu_{fi} = 0,7$	$\mu_{fi} = 0,7$
1	2	3	4	5
R 30	200/25	200/25	200/32 300/27	155/25
R 60	200/25	200/36 300/31	250/46 350/40	155/25
R 90	200/31 300/25	300/45 400/38	350/53 450/40 <sup>**</sup> )	155/25
R 120	250/40 350/35	350/45 <sup>**</sup> ) 450/40 <sup>**</sup> )	350/57 <sup>**</sup> ) 450/51 <sup>**</sup> )	175/35
R 180	350/45 <sup>**</sup> )	350/63 <sup>**</sup> )	450/70 <sup>**</sup> )	230/55
R 240	350/61 <sup>**</sup> )	450/75 <sup>**</sup> )	-	295/70

<sup>\*\*</sup>) Mínimo 8 varões.  
Para pilares pré-esforçados, deverá considerar-se o aumento da distância ao eixo de acordo com 5.2(5).

**NOTA:** O Quadro 5.2a baseia-se no valor recomendado  $\alpha_{cc} = 1,0$ .

(4) Poderão ser avaliados outros valores tabelados utilizando a expressão (5.7):

$$R = 120 ((R_{\eta fi} + R_a + R_l + R_b + R_n)/120)^{1,8} \quad (5.7)$$

em que:

$$R_{\eta fi} = 83 \left[ 1,00 - \mu_{fi} \frac{(1 + \omega)}{(0,85 / \alpha_{cc}) + \omega} \right]$$

$$R_a = 1,60 (a - 30)$$

$$R_l = 9,60 (5 - l_{0,fi})$$

$$R_b = 0,09 b'$$

$$R_n = 0 \quad \text{para } n = 4 \text{ (apenas varões de canto)}$$

$$= 12 \quad \text{para } n > 4$$

$a$  distância do eixo dos varões de armadura longitudinal ao paramento (mm);  $25 \text{ mm} \leq a \leq 80 \text{ mm}$ ;

$l_{0,fi}$  comprimento efectivo do pilar em situação de incêndio;  $2 \text{ m} \leq l_{0,fi} \leq 6 \text{ m}$ ;  
os valores correspondentes a  $l_{0,fi} = 2 \text{ m}$  conduzem a resultados seguros para pilares com  $l_{0,fi} < 2 \text{ m}$ ;

$b'$  =  $2A_c / (b+h)$  para secções transversais rectangulares ou o diâmetro para secções transversais circulares  
 $200 \text{ mm} \leq b' \leq 450 \text{ mm}$ ;  $h \leq 1,5 b$ ;



$\omega$  taxa mecânica de armaduras à temperatura normal:

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}}$$

$\alpha_{cc}$  factor de resistência à compressão (ver a EN 1992-1-1).

Para a excentricidade de primeira ordem em situação de incêndio, aplicam-se os limites de validade indicados em 5.3.2(2).

### 5.3.3 Método B

(1) A resistência ao fogo dos pilares de betão armado poderá ser satisfeita utilizando o Quadro 5.2b, assim como as regras seguintes. No Anexo C são fornecidas mais informações.

(2) O Quadro 5.2b é válido apenas para pilares de estruturas contraventadas em que:

o nível de carregamento,  $n$ , à temperatura normal (ver a EN 1992-1-1, 5.8) é obtido por:

$$n = N_{0Ed,fi} / (0,7(A_c f_{cd} + A_s f_{yd})) \quad (5.8a)$$

a excentricidade de primeira ordem em situação de incêndio,  $e$ , é obtida por:

$$e = M_{0Ed,fi} / (N_{0Ed,fi}) \quad (5.8b)$$

$e / b$  considerado  $\leq 0,25$  com  $e_{max} = 100$  mm;

a esbelteza do pilar em situação de incêndio,  $\lambda_{fi}$ , é obtida por:

$$\lambda_{fi} = l_{0,fi} / i \quad (5.8c)$$

$\lambda_{fi}$  considerado  $\leq 30$ , o que abrange a maioria dos pilares em edifícios correntes;

em que:

$l_{0,fi}$  comprimento efectivo do pilar em situação de incêndio;

$b$  dimensão mínima da secção de pilares rectangulares ou o diâmetro de pilares circulares;

$N_{0Ed,fi}$ ,  $M_{0Ed,fi}$  esforço normal e momento de primeira ordem em situação de incêndio;

$\omega$  taxa mecânica de armaduras à temperatura normal:

$$\omega = \frac{A_s f_{yd}}{A_c f_{cd}}$$

$i$  raio de giração mínimo.

(3) No Quadro 5.2b, o esforço normal e o momento flector de primeira ordem (ver a EN 1992-1-1, 5.8) foram introduzidos utilizando as expressões (5.8a) e (5.8b) para o nível de carregamento do pilar à temperatura normal. Foram também considerados os efeitos de segunda ordem.

**NOTA 1:**  $N_{0Ed,fi}$  poderá ser considerado igual a  $0,7 N_{0Ed}$  ( $\eta_{fi} = 0,7$ , ver 2.4.2, a não ser que  $\eta_{fi}$  seja explicitamente calculado).

**NOTA 2:** Poderá admitir-se que o coeficiente de esbelteza,  $\lambda_{fi}$ , em situação de incêndio é igual a  $\lambda$  à temperatura normal em todos os casos. Para estruturas de edifícios contraventadas em que a exposição ao fogo padrão requerida seja superior a 30 min, o comprimento efectivo,  $l_{0,fi}$ , poderá ser considerado igual a  $0,5 l$  para os pisos intermédios e a  $0,5 l \leq l_{0,fi} \leq 0,7 l$  para o piso superior, em que  $l$  é o comprimento real do pilar (eixo a eixo).

Quadro 5.2b – Dimensões e distâncias ao eixo mínimas para pilares de betão armado de secção rectangular ou circular

Resistência ao fogo padrão	Taxa mecânica de armaduras $\omega$	Dimensões mínimas (mm)			
		Largura do pilar $b_{\min}$ /distância ao eixo $a$			
		$n = 0,15$	$n = 0,3$	$n = 0,5$	$n = 0,7$
1	2	3	4	5	6
R 30	0,100	150/25 <sup>*)</sup>	150/25 <sup>*)</sup>	200/30:250/25 <sup>*)</sup>	300/30:350/25 <sup>*)</sup>
	0,500	150/25 <sup>*)</sup>	150/25 <sup>*)</sup>	150/25 <sup>*)</sup>	200/30:250/25 <sup>*)</sup>
	1,000	150/25 <sup>*)</sup>	150/25 <sup>*)</sup>	150/25 <sup>*)</sup>	200/30:300/25 <sup>*)</sup>
R 60	0,100	150/30:200/25 <sup>*)</sup>	200/40:300/25 <sup>*)</sup>	300/40:500/25 <sup>*)</sup>	500/25 <sup>*)</sup>
	0,500	150/25 <sup>*)</sup>	150/35:200/25 <sup>*)</sup>	250/35:350/25 <sup>*)</sup>	350/40:550/25 <sup>*)</sup>
	1,000	150/25 <sup>*)</sup>	150/30:200/25 <sup>*)</sup>	200/40:400/25 <sup>*)</sup>	300/50:600/30
R 90	0,100	200/40:250/25 <sup>*)</sup>	300/40:400/25 <sup>*)</sup>	500/50:550/25 <sup>*)</sup>	550/40:600/25 <sup>*)</sup>
	0,500	150/35:200/25 <sup>*)</sup>	200/45:300/25 <sup>*)</sup>	300/45:550/25 <sup>*)</sup>	500/50:600/40
	1,000	200/25 <sup>*)</sup>	200/40:300/25 <sup>*)</sup>	250/40:550/25 <sup>*)</sup>	500/50:600/45
R 120	0,100	250/50:350/25 <sup>*)</sup>	400/50:550/25 <sup>*)</sup>	550/25 <sup>*)</sup>	550/60:600/45
	0,500	200/45:300/25 <sup>*)</sup>	300/45:550/25 <sup>*)</sup>	450/50:600/25 <sup>*)</sup>	500/60:600/50
	1,000	200/40:250/25 <sup>*)</sup>	250/50:400/25 <sup>*)</sup>	450/45:600/30	600/60
R 180	0,100	400/50:500/25 <sup>*)</sup>	500/60:550/25 <sup>*)</sup>	550/60:600/30	(1)
	0,500	300/45:450/25 <sup>*)</sup>	450/50:600/25 <sup>*)</sup>	500/60:600/50	600/75
	1,000	300/35:400/25 <sup>*)</sup>	450/50:550/25 <sup>*)</sup>	500/60:600/45	(1)
R 240	0,100	500/60:550/25 <sup>*)</sup>	550/40:600/25 <sup>*)</sup>	600/75	(1)
	0,500	450/45:500/25 <sup>*)</sup>	550/55:600/25 <sup>*)</sup>	600/70	(1)
	1,000	400/45:500/25 <sup>*)</sup>	500/40:600/30	600/60	(1)

<sup>\*)</sup> O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.

(1) Requer uma largura superior a 600 mm. É requerida uma avaliação específica em relação à encurvadura.

(4) Para pilares em que  $A_s \geq 0,02 A_c$ , é requerida, para uma resistência ao fogo superior a 90 min, uma distribuição regular dos varões ao longo dos lados da secção transversal.

## 5.4 Paredes

### 5.4.1 Paredes de compartimentação não resistentes

(1) No caso da resistência ao fogo de uma parede ser apenas necessária para satisfazer o critério de isolamento térmico I e o critério de estanquidade E, a espessura mínima da parede não deverá ser inferior à indicada no Quadro 5.3. Os requisitos relativos à distância ao eixo não se aplicam nestes casos.

(2) No caso de serem utilizados agregados calcários, a espessura mínima da parede indicada no Quadro 5.3 poderá ser reduzida de 10 %.

(3) Para evitar uma excessiva deformação térmica e uma consequente rotura de continuidade entre a parede e a laje, a relação entre a altura livre da parede e a sua espessura não deverá ser superior a 40.

Quadro 5.3 – Espessura mínima de paredes de compartimentação não resistentes

Resistência ao fogo padrão	Espessura mínima da parede (mm)
1	2
EI 30	60
EI 60	80
EI 90	100
EI 120	120
EI 180	150
EI 240	175

#### 5.4.2 Paredes resistentes maciças

(1) Poderá admitir-se que a resistência ao fogo de paredes resistentes de betão armado é adequada se forem aplicados os valores indicados no Quadro 5.4, assim como as regras seguintes.

(2) Os valores da espessura mínima da parede indicados no Quadro 5.4 também poderão ser utilizados para paredes de betão simples (ver a EN 1992-1-1, secção 12).

(3) O disposto em 5.4.1(2) e (3) também se aplica a paredes resistentes maciças.

**NOTA:** A relação entre a altura livre da parede e a sua espessura é limitada a 40 em 5.4.1(3). A altura livre da parede tem em conta o facto de que os valores tabelados para as paredes são válidos apenas para as estruturas contraventadas; ver a limitação correspondente para pilares indicada em 5.3.1.

Quadro 5.4 – Dimensões e distâncias ao eixo mínimas de paredes resistentes de betão

Resistência ao fogo padrão	Dimensões mínimas (mm)			
	Espessura da parede/distância ao eixo para			
	$\mu_{fi} = 0,35$		$\mu_{fi} = 0,7$	
	parede exposta de um só lado	parede exposta dos dois lados	parede exposta de um só lado	parede exposta dos dois lados
1	2	3	4	5
REI 30	100/10 <sup>*)</sup>	120/10 <sup>*)</sup>	120/10 <sup>*)</sup>	120/10 <sup>*)</sup>
REI 60	110/10 <sup>*)</sup>	120/10 <sup>*)</sup>	130/10 <sup>*)</sup>	140/10 <sup>*)</sup>
REI 90	120/20 <sup>*)</sup>	140/10 <sup>*)</sup>	140/25	170/25
REI 120	150/25	160/25	160/35	220/35
REI 180	180/40	200/45	210/50	270/55
REI 240	230/55	250/55	270/60	350/60
<sup>*)</sup> O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante. <b>NOTA:</b> Para a definição de $\mu_{fi}$ , ver 5.3.2(3).				

### **5.4.3 Paredes corta-fogo**

(1) No caso de uma parede corta-fogo ter de cumprir o requisito de resistência ao impacto (critério M, ver 2.1.2(6)), para além do disposto em 5.4.1 ou 5.4.2, a espessura mínima de betão de massa volúmica normal não deverá ser inferior a:

- 200 mm para uma parede não armada;
- 140 mm para uma parede resistente armada;
- 120 mm para uma parede não resistente armada;

e a distância ao paramento do eixo das armaduras da parede resistente não deverá ser inferior a 25 mm.

### **5.5 Elementos traccionados**

(1) Poderá admitir-se que a resistência ao fogo de elementos traccionados de betão armado ou pré-esforçado é adequada se forem aplicados os valores indicados no Quadro 5.5, assim como as regras seguintes.

(2) No caso de uma extensão excessiva de um elemento traccionado afectar a capacidade resistente da estrutura, poderá ser necessário reduzir para 400 °C a temperatura do aço no elemento traccionado. Em tais situações, as distâncias ao eixo indicadas no Quadro 5.5 deverão ser aumentadas utilizando a expressão (5.3) indicada em 5.2(7). Para a avaliação da extensão reduzida, deverão utilizar-se as propriedades dos materiais especificadas na secção 3.

(3) A secção transversal dos elementos traccionados não deverá ser inferior a  $2b_{\min}^2$ , em que  $b_{\min}$  é a largura mínima do elemento indicada no Quadro 5.5.

### **5.6 Vigas**

#### **5.6.1 Generalidades**

(1) Poderá admitir-se que a resistência ao fogo de vigas de betão armado ou pré-esforçado é adequada se forem aplicados os valores indicados nos Quadros 5.5 a 5.7, assim como as regras seguintes. A espessura da alma é designada segundo as classes WA, WB ou WC.

*NOTA:* A escolha da classe WA, WB ou WC a utilizar num determinado país poderá ser definida no respectivo Anexo Nacional.

(2) Os quadros aplicam-se a vigas que podem estar expostas ao fogo em três lados, isto é, o lado superior está isolado por lajes ou outros elementos que conservam a sua função isoladora durante todo o período de resistência ao fogo. Para as vigas expostas ao fogo em todos os lados, aplica-se o disposto em 5.6.4.

(3) Os valores indicados nos quadros são válidos para as secções transversais representadas na Figura 5.4. As regras de aplicação 5.6.1(5) a (8) asseguram dimensões da secção transversal adequadas à protecção das armaduras.

(4) Para vigas com uma largura variável (ver a Figura 5.4b), o valor mínimo de  $b$  refere-se ao nível do centro de gravidade das armaduras de tracção.

(5) A altura eficaz  $d_{\text{eff}}$  do banzo inferior de vigas em I (ver a Figura 5.4c) não deverá ser inferior a:

$$d_{\text{eff}} = d_1 + 0,5 d_2 \geq b_{\min} \quad (5.9)$$

em que:

$b_{\min}$  valor mínimo da largura da viga, de acordo com o Quadro 5.5.

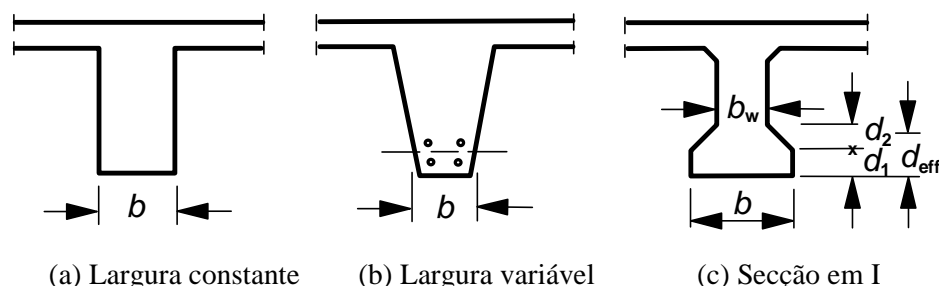


Figura 5.4 – Definição de dimensões para diferentes tipos de secção de viga

Esta regra não se aplica no caso de ser possível inscrever na secção real uma secção transversal imaginária ((C) na Figura 5.5) que preencha os requisitos mínimos no que diz respeito à resistência ao fogo e que contenha toda a armadura.

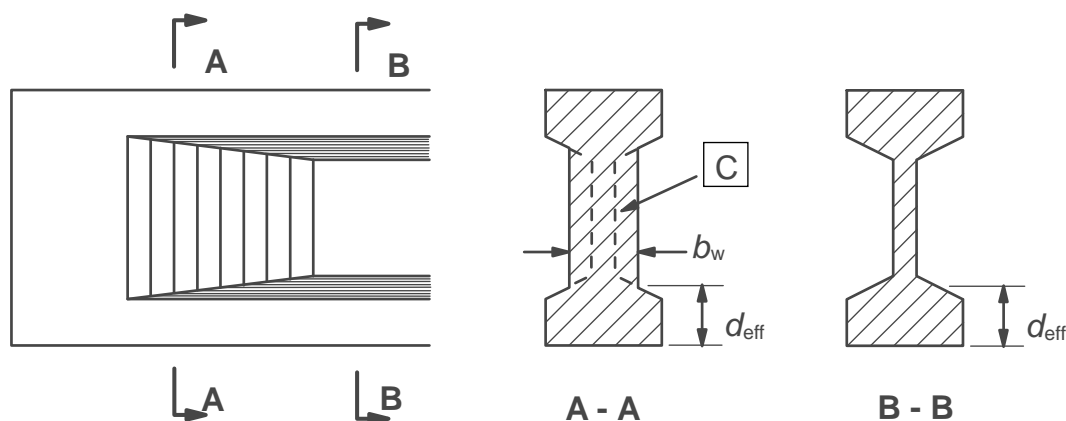
(6) No caso de a largura real do banzo inferior  $b$  exceder o limite  $1,4 b_w$ , ( $b_w$  é a largura real da alma, ver a Figura 5.4c), sendo  $b \cdot d_{\text{eff}} < 2b_{\text{min}}^2$ , a distância ao paramento do eixo do aço para betão armado ou do aço de pré-esforço deverá ser aumentada para:

$$a_{\text{eff}} = a \left( 1,85 - \frac{d_{\text{eff}}}{b_{\text{min}}} \sqrt{\frac{b_w}{b}} \right) \geq a \quad (5.10)$$

em que:

$d_{\text{eff}}$  fornecido pela expressão (5.9);

$b_{\text{min}}$  largura mínima da viga, indicada no Quadro 5.5.



[C]: Secção transversal imaginária

Figura 5.5 – Viga em I com largura da alma  $b_w$  variável satisfazendo os requisitos de uma secção transversal imaginária

(7) Aberturas nas almas de vigas não afectam a resistência ao fogo desde que a área restante da secção transversal do elemento na zona traccionada não seja inferior a  $A_c = 2b_{\text{min}}^2$  em que  $b_{\text{min}}$  é indicado no Quadro 5.5.

(8) Concentrações de temperatura ocorrem nos cantos inferiores das vigas. Por este motivo e para a resistência ao fogo padrão considerada, a distância  $a_{\text{sd}}$  (ver a Figura 5.2) entre a face da viga e o eixo dos

varões (cabos ou fios) nos cantos inferiores de vigas com varões dispostos apenas numa camada deverá ser aumentada de 10 mm. Esta disposição aplica-se às vigas simplesmente apoiadas com larguras inferiores às indicadas na coluna 4 do Quadro 5.5 e às vigas contínuas com larguras inferiores às indicadas na coluna 3 do Quadro 5.6.

### **5.6.2 Vigas simplesmente apoiadas**

(1) O Quadro 5.5 indica os valores mínimos da distância do eixo das armaduras à face inferior e aos lados de vigas simplesmente apoiadas, assim como os valores mínimos das larguras de viga, para resistências ao fogo padrão de R 30 a R 240.

### **5.6.3 Vigas contínuas**

(1) O Quadro 5.6 indica os valores mínimos da distância do eixo das armaduras à face inferior e aos lados de vigas contínuas, assim como os valores mínimos das larguras de viga, para resistências ao fogo padrão de R 30 a R 240.

(2) Os valores indicados no Quadro 5.6 são válidos apenas se:

- a) forem respeitadas as regras construtivas indicadas;
- b) a redistribuição de momentos flectores para o cálculo à temperatura normal não exceder 15 %.

Caso contrário, as vigas deverão ser consideradas como simplesmente apoiadas.

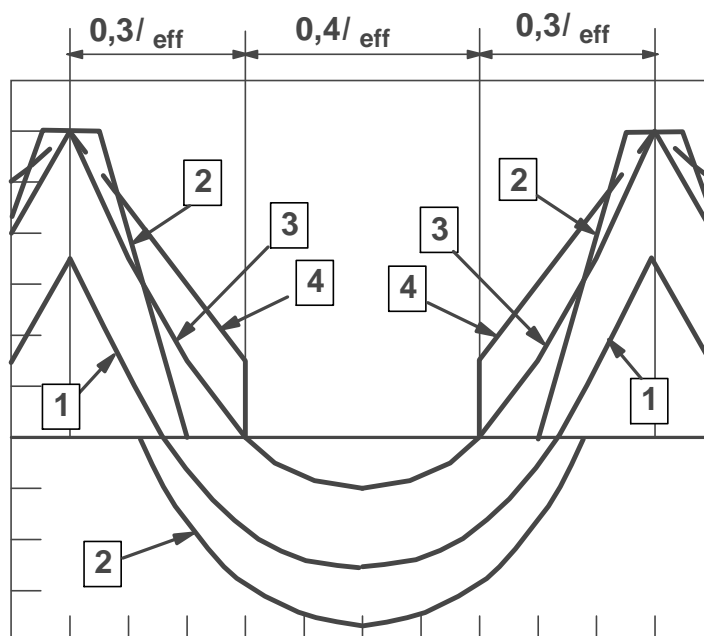
*NOTA: O Quadro 5.6 poderá ser aplicado para vigas contínuas em que a redistribuição de momentos seja superior a 15 %, desde que a capacidade de rotação dos apoios seja suficiente para a situação de exposição ao fogo requerida. Cálculos mais rigorosos poderão basear-se em métodos de cálculo simplificados (por exemplo, Anexo E), nos casos aplicáveis, na determinação de valores mais precisos da distância ao eixo e dos comprimentos de dispensa das armaduras superiores e inferiores.*

(3) Para resistências ao fogo padrão não inferiores a R 90, a área da secção das armaduras superiores em cada apoio intermédio numa distância de  $0,3l_{\text{eff}}$ , medida a partir do eixo do apoio (conforme definido na secção 5 da EN 1992-1-1), não deverá ser inferior a (ver a Figura 5.6):

$$A_{s,\text{req}}(x) = A_{s,\text{req}}(0) \cdot (1 - 2,5x/l_{\text{eff}}) \quad (5.11)$$

em que:

- $x$  distância da secção considerada ao eixo do apoio, com  $x \leq 0,3l_{\text{eff}}$ ;
- $A_{s,\text{req}}(0)$  área da secção das armaduras superiores necessárias no apoio, de acordo com a EN 1992-1-1;
- $A_{s,\text{req}}(x)$  área mínima da secção de armaduras superiores necessárias na secção à distância ( $x$ ) do eixo do apoio considerado, não inferior à área  $A_s(x)$  especificada na EN 1992-1-1;
- $l_{\text{eff}}$  comprimento efectivo do vão. Se o comprimento efectivo dos vãos adjacentes for superior, deverá utilizar-se esse valor.



**Legenda:**

- 1 : Diagrama de momentos flectores devidos às acções em situação de incêndio no instante  $t = 0$
- 2 : Linha envolvente dos momentos flectores actuantes que serão equilibrados pelas armaduras de tracção de acordo com o disposto na EN 1992-1-1
- 3 : Diagrama de momentos flectores em situação de incêndio
- 4 : Linha envolvente dos momentos flectores resistentes de acordo com a expressão (5.11)

Figura 5.6 – Envolvente dos momentos flectores resistentes nos apoios em situação de incêndio

Quadro 5.5 – Dimensões e distâncias mínimas ao eixo de vigas simplesmente apoiadas de betão armado ou pré-esforçado

Resistência ao fogo padrão	Dimensões mínimas (mm)						
	Combinações possíveis de $a$ e $b_{\min}$ em que $a$ é a distância média ao eixo e $b_{\min}$ é a largura da viga				Espessura da alma $b_w$		
					Classe WA	Classe WB	Classe WC
1	2	3	4	5	6	7	8
R 30	$b_{\min} = 80$ $a = 25$	120 20	160 15 <sup>*)</sup>	200 15 <sup>*)</sup>	80	80	80
R 60	$b_{\min} = 120$ $a = 40$	160 35	200 30	300 25	100	80	100
R 90	$b_{\min} = 150$ $a = 55$	200 45	300 40	400 35	110	100	100
R 120	$b_{\min} = 200$ $a = 65$	240 60	300 55	500 50	130	120	120
R 180	$b_{\min} = 240$ $a = 80$	300 70	400 65	600 60	150	150	140
R 240	$b_{\min} = 280$ $a = 90$	350 80	500 75	700 70	170	170	160

$a_{sd} = a + 10 \text{ mm}$  (ver nota seguinte)

Para vigas pré-esforçadas, deverá aumentar-se a distância ao eixo de acordo com 5.2(5).  
 $a_{sd}$  é a distância entre a face da viga e o eixo dos varões (cabos ou fios) colocados nos cantos inferiores de vigas com apenas uma camada de armaduras. Para valores de  $b_{\min}$  superiores aos indicados na coluna 4 não é necessário qualquer aumento de  $a_{sd}$ .

<sup>\*)</sup> O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.



Quadro 5.6 – Dimensões e distâncias mínimas ao eixo de vigas contínuas de betão armado ou pré-esforçado (ver também o Quadro 5.7)

Resistência ao fogo padrão	Dimensões mínimas (mm)						
	Combinações possíveis de $a$ e $b_{\min}$ em que $a$ é a distância média ao eixo e $b_{\min}$ é a largura da viga				Espessura da alma $b_w$		
					Classe WA	Classe WB	Classe WC
1	2	3	4	5	6	7	8
R 30	$b_{\min} = 80$ $a = 15^{*)}$	160 12 <sup>*)</sup>			80	80	80
R 60	$b_{\min} = 120$ $a = 25$	200 12 <sup>*)</sup>			100	80	100
R 90	$b_{\min} = 150$ $a = 35$	250 25			110	100	100
R 120	$b_{\min} = 200$ $a = 45$	300 35	450 35	500 30	130	120	120
R 180	$b_{\min} = 240$ $a = 60$	400 50	550 50	600 40	150	150	140
R 240	$b_{\min} = 280$ $a = 75$	500 60	650 60	700 50	170	170	160
$a_{sd} = a + 10 \text{ mm}$ (ver nota seguinte)							
<p>Para vigas pré-esforçadas, deverá aumentar-se a distância ao eixo de acordo com 5.2(5).  <math>a_{sd}</math> é a distância entre a face da viga e o eixo dos varões (cabos ou fios) colocados nos cantos inferiores de vigas com apenas uma camada de armaduras. Para valores de <math>b_{\min}</math> superiores aos indicados na coluna 3 não é necessário qualquer aumento de <math>a_{sd}</math>.  <sup>*)</sup> O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.</p>							

(4) O Quadro 5.6 aplica-se a vigas contínuas com cabos não aderentes, apenas se o momento negativo total sobre os apoios intermédios em situação de incêndio for equilibrado por armaduras aderentes.

(5) A espessura  $b_w$  da alma de vigas contínuas em I (ver a Figura 5.4c) não deverá ser, numa distância de  $2h$  contada a partir de um apoio intermédio, inferior ao valor mínimo  $b_{\min}$  indicado no Quadro 5.6, coluna 2, excepto se se demonstrar que não ocorre destacamento explosivo do betão (ver 4.5).

(6) Para evitar, no primeiro apoio intermédio de uma viga contínua, uma rotura por compressão do betão ou uma rotura por esforço transversal, a largura da viga e a espessura da alma deverão ser aumentadas para as resistências ao fogo padrão, R 120 - R 240, de acordo com o Quadro 5.7, se se verificarem ambas as condições seguintes:

(a) o apoio de extremidade não tem qualquer resistência à flexão, seja pela sua ligação seja pela viga (para efeitos desta secção, o disposto em 9.2.1.2(1) da EN 1992-1-1 assegura, de facto, uma resistência à flexão no caso de uma ligação com encastramento parcial);

(b)  $V_{Ed} > 2/3 V_{Rd,max}$  no primeiro apoio intermédio, em que  $V_{Ed}$  é o valor de cálculo do esforço transversal actuante à temperatura normal e  $V_{Rd,max}$  é o valor de cálculo do esforço transversal resistente das escoras conforme a secção 6 da EN 1992-1-1.

Quadro 5.7 – Vigas contínuas em I de betão armado ou pré-esforçado;  
aumento da largura da viga e da espessura da alma para efeitos de 5.6.3(6)

Resistência ao fogo padrão	Largura mínima da viga $b_{min}$ (mm) e espessura mínima da alma $b_w$ (mm)
1	2
R 120	220
R 180	380
R 240	480

#### 5.6.4 Vigas expostas ao fogo por todos os lados

(1) Aplicam-se os Quadros 5.5, 5.6 e 5.7; no entanto:

- a altura da viga não deverá ser inferior à largura mínima requerida pela duração de resistência ao fogo considerada;
- a área da secção transversal da viga não deverá ser inferior a:

$$A_c = 2b_{min}^2 \quad (5.12)$$

em que  $b_{min}$  é indicado nos Quadros 5.5 a 5.7.

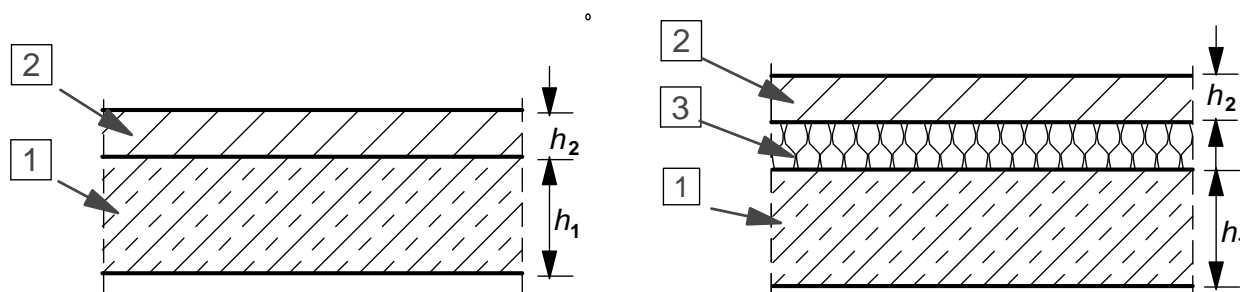
### 5.7 Lajes

#### 5.7.1 Generalidades

(1) Poderá considerar-se que a resistência ao fogo das lajes de betão armado ou pré-esforçado é adequada se forem aplicados os valores indicados no Quadro 5.8, assim como as regras seguintes.

(2) A espessura mínima da laje  $h_s$  indicada no Quadro 5.8 garante uma adequada função de compartimentação (critérios E e I). Os acabamentos do pavimento contribuirão para a função de compartimentação em proporção da sua espessura (ver a Figura 5.7). Se a função resistente (critério R) for requerida, apenas poderá ser considerada a espessura da laje necessária adoptada no projecto de acordo com a EN 1992-1-1.

(3) As regras indicadas em 5.7.2 e 5.7.3 também se aplicam aos banzos de vigas de secção em T ou TT.



**Legenda:**

- [1] Laje de betão [2] Revestimento (não combustível) [3] Isolamento acústico (possivelmente combustível)

$$h_s = h_1 + h_2 \text{ (ver o Quadro 5.9)}$$

Figura 5.7 – Laje de betão com acabamentos de pavimento

**5.7.2 Lajes maciças simplesmente apoiadas**

(1) O Quadro 5.8 indica os valores mínimos da distância do eixo das armaduras à face inferior de lajes simplesmente apoiadas para resistências ao fogo padrão de R 30 a R 240.

(2) Para as lajes armadas em duas direcções,  $a$  refere-se à distância do eixo das armaduras da camada inferior.

Quadro 5.8 – Dimensões e distâncias mínimas ao eixo de lajes maciças simplesmente apoiadas de betão armado ou pré-esforçado armadas numa direcção e em duas direcções

Resistência ao fogo padrão	Dimensões mínimas (mm)			
	espessura da laje $h_s$ (mm)	distância ao eixo $a$		
		lajes armadas numa só direcção	lajes armadas em duas direcções:	
			$l_y/l_x \leq 1,5$	$1,5 < l_y/l_x \leq 2$
1	2	3	4	5
REI 30	60	10 <sup>*)</sup>	10 <sup>*)</sup>	10 <sup>*)</sup>
REI 60	80	20	10 <sup>*)</sup>	15 <sup>*)</sup>
REI 90	100	30	15 <sup>*)</sup>	20
REI 120	120	40	20	25
REI 180	150	55	30	40
REI 240	175	65	40	50

$l_x$  e  $l_y$  são os vãos de uma laje armada em duas direcções (perpendiculares) em que  $l_y$  é o maior vão.

Para lajes pré-esforçadas, deverá aumentar-se a distância ao eixo de acordo com 5.2(5).

A distância ao eixo  $a$ , indicada nas colunas 4 e 5 para lajes armadas em duas direcções, refere-se a lajes apoiadas nos quatro lados. Caso contrário, essas lajes deverão ser tratadas como lajes armadas numa só direcção.

<sup>\*)</sup> O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.

### 5.7.3 Lajes maciças contínuas

(1) Os valores indicados no Quadro 5.8 (colunas 2 e 4) também se aplicam a lajes contínuas armadas numa só direcção ou em duas direcções.

(2) O Quadro 5.8 e as regras seguintes aplicam-se a lajes no caso em que a redistribuição de momentos não excede 15 % para o cálculo à temperatura normal. Na ausência de um cálculo mais rigoroso e quando a redistribuição excede 15 % ou quando as regras construtivas da presente Norma não são seguidas, cada vão da laje contínua deverá ser avaliado como uma laje simplesmente apoiada utilizando o Quadro 5.8 (colunas 2, 3, 4 ou 5, respectivamente).

As regras indicadas em 5.6.3(3) para vigas contínuas também se aplicam a lajes contínuas. Se estas regras não forem seguidas, cada vão da laje contínua deverá ser avaliado como simplesmente apoiado, como acima se especifica.

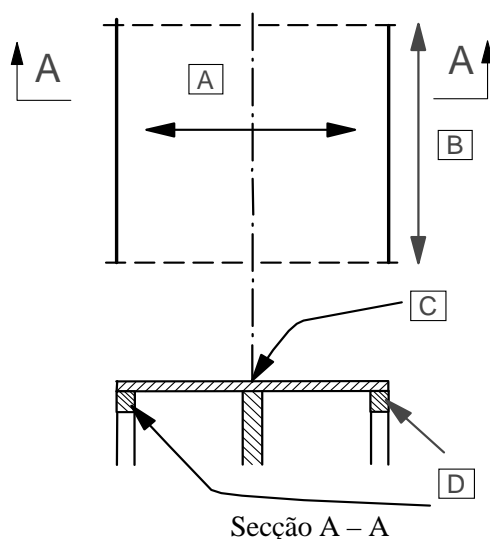
**NOTA:** No Anexo Nacional poderão ser indicadas regras adicionais relativas à capacidade de rotação nos apoios.

(3) Deverá utilizar-se, no apoio intermédio, uma armadura superior mínima,  $A_s \geq 0,005 A_c$ , nos seguintes casos:

a) o aço das armaduras é um aço endurecido a frio;

b) lajes contínuas de dois vãos, nas quais não é conferida resistência à flexão nos apoios extremos, resultante de cálculo de acordo com a EN 1992-1-1 e/ou através de disposições construtivas adequadas (ver, por exemplo, a secção 9 da EN 1992-1-1);

c) não existe possibilidade de redistribuição dos efeitos de acções transversais à direcção do vão, como, por exemplo, através de paredes intermédias ou de outros apoios dispostos na direcção do vão e não considerados no dimensionamento (ver a Figura 5.8).



#### Legenda:

- A Direcção do vão  $l$
- B Extensão do sistema sem paredes ou vigas transversais,  $> l$
- C Risco de rotura frágil
- D Livre rotação

Figura 5.8 – Sistemas de laje para os quais deverá ser providenciada armadura mínima de acordo com 5.7.3(3)

#### 5.7.4 Lajes fungiformes

- (1) As regras seguintes aplicam-se a lajes fungiformes nas quais a redistribuição de momentos de acordo com a secção 5 da EN 1992-1-1 não excede 15 %. Caso contrário, as distâncias ao eixo deverão ser consideradas como no caso das lajes armadas numa só direcção (coluna 3 do Quadro 5.8) e a espessura mínima será a especificada no Quadro 5.9.
- (2) Para classes de resistência ao fogo iguais e superiores a REI 90, pelo menos 20 % da armadura superior total em cada direcção sobre os apoios intermédios, especificada na EN 1992-1-1, deverá ser prolongada ao longo de todo o vão. Esta armadura deverá ser colocada na faixa sobre os pilares.
- (3) A espessura mínima da laje não deverá ser reduzida (por exemplo, tomando em consideração os acabamentos de pavimento).
- (4) A distância ao eixo  $a$  refere-se à distância do eixo das armaduras da camada inferior.

Quadro 5.9 – Dimensões e distâncias mínimas ao eixo de lajes fungiformes maciças de betão armado ou pré-esforçado

Resistência ao fogo padrão	Dimensões mínimas (mm)	
	espessura da laje $h_s$	distância ao eixo $a$
1	2	3
REI 30	150	10 <sup>*)</sup>
REI 60	180	15 <sup>*)</sup>
REI 90	200	25
REI 120	200	35
REI 180	200	45
REI 240	200	50

<sup>\*)</sup> O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.

#### 5.7.5 Lajes nervuradas

- (1) Para a avaliação da resistência ao fogo de lajes nervuradas de betão armado ou pré-esforçado, armadas numa só direcção, aplica-se o disposto em 5.6.2 e 5.6.3 para as nervuras e o disposto em 5.7.3, Quadro 5.8, colunas 2 e 5, para os banzos.
- (2) Poderá admitir-se que a resistência ao fogo de lajes nervuradas de betão armado ou pré-esforçado, armadas em duas direcções, é adequada se forem aplicados os valores indicados nos Quadros 5.10 e 5.11, assim como as regras seguintes.
- (3) Os valores indicados nos Quadros 5.10 e 5.11 são válidos para lajes nervuradas sujeitas predominantemente a cargas uniformemente distribuídas.
- (4) Para lajes nervuradas com armaduras dispostas em várias camadas, aplica-se o disposto em 5.2(15).
- (5) Em lajes nervuradas contínuas, a armadura superior deverá ser colocada na metade superior do banzo.
- (6) O Quadro 5.10 é válido para lajes nervuradas simplesmente apoiadas, armadas em duas direcções. Também é válido no caso de lajes nervuradas armadas em duas direcções com pelo menos um bordo

encastrado e resistências ao fogo padrão inferiores a REI 180, nas quais as disposições construtivas relativas à armadura superior não satisfazem os requisitos estipulados em 5.6.3(3).

(7) O Quadro 5.11 é válido para lajes nervuradas armadas em duas direcções com pelo menos um bordo encastrado. No que se refere às disposições construtivas relativas à armadura superior, aplica-se o disposto em 5.6.3(3) para todas as resistências ao fogo padrão.

Quadro 5.10 – Dimensões e distâncias mínimas ao eixo de lajes nervuradas simplesmente apoiadas, armadas em duas direcções, de betão armado ou pré-esforçado

Resistência ao fogo padrão	Dimensões mínimas (mm)			
	Combinações possíveis da largura das nervuras $b_{\min}$ e da distância ao eixo $a$			Espessura do banzo da laje $h_s$ e distância ao eixo $a$ no banzo
1	2	3	4	5
REI 30	$b_{\min} = 80$ $a = 15^{*)}$			$h_s = 80$ $a = 10^{*)}$
REI 60	$b_{\min} = 100$ $a = 35$	120 25	$\geq 200$ $15^{*)}$	$h_s = 80$ $a = 10^{*)}$
REI 90	$b_{\min} = 120$ $a = 45$	160 40	$\geq 250$ 30	$h_s = 100$ $a = 15^{*)}$
REI 120	$b_{\min} = 160$ $a = 60$	190 55	$\geq 300$ 40	$h_s = 120$ $a = 20$
REI 180	$b_{\min} = 220$ $a = 75$	260 70	$\geq 410$ 60	$h_s = 150$ $a = 30$
REI 240	$b_{\min} = 280$ $a = 90$	350 75	$\geq 500$ 70	$h_s = 175$ $a = 40$
$a_{sd} = a + 10$				
Para lajes nervuradas pré-esforçadas, a distância ao eixo $a$ deverá ser aumentada de acordo com 5.2(5). $a_{sd}$ representa a distância medida entre o eixo das armaduras e a superfície lateral da nervura exposta ao fogo. <sup>*)</sup> O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.				

Quadro 5.11 – Dimensões e distâncias mínimas ao eixo de lajes nervuradas armadas em duas direcções de betão armado ou pré-esforçado com pelo menos um bordo encastrado

Resistência ao fogo padrão	Dimensões mínimas (mm)			
	Combinações possíveis da largura das nervuras $b_{\min}$ e da distância ao eixo $a$			Espessura do banzo da laje $h_s$ e distância ao eixo $a$ no banzo
1	2	3	4	5
REI 30	$b_{\min} = 80$ $a = 10^{*)}$			$h_s = 80$ $a = 10^{*)}$
REI 60	$b_{\min} = 100$ $a = 25$	120 15 <sup>*)</sup>	$\geq 200$ 10 <sup>*)</sup>	$h_s = 80$ $a = 10^{*)}$
REI 90	$b_{\min} = 120$ $a = 35$	160 25	$\geq 250$ 15 <sup>*)</sup>	$h_s = 100$ $a = 15^{*)}$
REI 120	$b_{\min} = 160$ $a = 45$	190 40	$\geq 300$ 30	$h_s = 120$ $a = 20$
REI 180	$b_{\min} = 310$ $a = 60$	600 50		$h_s = 150$ $a = 30$
REI 240	$b_{\min} = 450$ $a = 70$	700 60		$h_s = 175$ $a = 40$
$a_{sd} = a + 10$				
Para lajes nervuradas pré-esforçadas, a distância ao eixo $a$ deverá ser aumentada de acordo com 5.2(5). $a_{sd}$ representa a distância medida entre o eixo das armaduras e a superfície lateral da nervura exposta ao fogo.				
*) O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.				

## 6 Betão de alta resistência (HSC)

### 6.1 Generalidades

- (1)P Esta secção 6 estabelece requisitos adicionais para o betão de alta resistência (HSC).
  - (2)P O cálculo de elementos estruturais a temperatura elevada deve ser feito com as propriedades daquele tipo de betão e considerando o risco de destacamento do betão.
  - (3) São indicadas as propriedades de resistência para três classes, assim como recomendações para limitar o destacamento do betão para duas gamas de betão de alta resistência.
- NOTA:** No caso de o valor característico real da resistência do betão ser de uma classe superior à especificada no projecto, deverá utilizar-se a redução relativa da resistência dessa classe superior no projecto de resistência ao fogo.
- (4) As propriedades e recomendações são indicadas unicamente para uma exposição ao fogo correspondente à curva de incêndio padrão.
  - (5) Deverá efectuar-se uma redução da resistência,  $f_{c,\theta}/f_{ck}$ , a temperaturas elevadas.

**NOTA:** Os valores de  $f_{c,\theta}/f_{ck}$  a utilizar num determinado país poderão ser indicados no respectivo Anexo Nacional. No Quadro 6.1N são indicadas três classes. No entanto, os valores indicados para cada uma das classes baseiam-se numa quantidade limitada de resultados de ensaios. A escolha e a limitação do uso dessas classes em relação a determinadas classes de resistência ou a determinados tipos de betão a utilizar num determinado país poderão ser definidos no respectivo Anexo Nacional. A classe

recomendada para o betão C55/67 e C60/75 é a Classe 1, para o betão C70/85 e C80/95 é a Classe 2 e para o betão C90/105 é a Classe 3. Ver também as notas em 6.4.2.1(3) e 6.4.2.2(2).

Quadro 6.1N – Redução da resistência a temperaturas elevadas

Temperatura do betão $\theta$ °C	$f_{c,\theta}/f_{ck}$		
	Classe 1	Classe 2	Classe 3
20	1,00	1,0	1,0
50	1,00	1,0	1,0
100	0,90	0,75	0,75
200			0,70
250	0,90		
300	0,85		0,65
400	0,75	0,75	0,45
500			0,30
600			0,25
700			
800	0,15	0,15	0,15
900	0,08		0,08
1000	0,04		0,04
1100	0,01		0,01
1200	0,00	0,00	0,00

## 6.2 Destacamento do betão

(1) Para as classes de betão C55/67 a C80/95, aplicam-se as regras indicadas em 4.5 desde que o teor máximo de sílica de fumo seja inferior a 6 % em massa de cimento. Para teores mais elevados de sílica de fumo aplicam-se as regras indicadas em (2).

(2) Para as classes de betão  $80/95 < C \leq 90/105$ , deverá aplicar-se, pelo menos, um dos métodos seguintes:

Método A: Uma rede de armaduras com um recobrimento nominal de 15 mm. Esta rede deverá ser constituída por fios de diâmetro  $\geq 2$  mm e com um afastamento  $\leq 50$  mm  $\times$  50 mm. O recobrimento nominal da armadura principal deverá ser  $\geq 40$  mm.

Método B: Um tipo de betão para o qual tenha sido demonstrado (por experiência local ou por meio de ensaios) que não ocorre destacamento do betão exposto ao fogo.

Método C: Camadas de protecção para as quais tenha sido demonstrado que não ocorre destacamento do betão exposto ao fogo.

Método D: Incluir na composição do betão mais de 2 kg/m<sup>3</sup> de fibras de monofilamentos de propileno.

**NOTA:** A escolha dos métodos a utilizar num determinado país poderá ser definida no respectivo Anexo Nacional.

## 6.3 Propriedades térmicas

(1) Os valores indicados em 3.3 também poderão ser aplicados ao betão de alta resistência.

**NOTA 1:** O valor da condutibilidade térmica do betão de alta resistência a utilizar num determinado país poderá ser indicado no respectivo Anexo Nacional, no intervalo definido pelos limites inferior e superior indicados em 3.3.3.

**NOTA 2:** A condutibilidade térmica do betão de alta resistência poderá ser mais elevada do que a do betão de resistência normal.

## 6.4 Cálculo estrutural

### 6.4.1 Cálculo da capacidade resistente

(1)P A capacidade resistente em situação de incêndio deve ser determinada tendo em conta o seguinte:



- a exposição térmica e o resultante campo de temperatura no elemento;
- a redução da resistência dos materiais devida às temperaturas elevadas;
- os esforços devidos ao impedimento da dilatação térmica;
- os efeitos de segunda ordem.

(2) Esta verificação poderá ser efectuada por meio de uma análise global da estrutura ou de um cálculo simplificado por elementos. A análise global da estrutura deverá basear-se em informações verificadas. Os métodos de cálculo simplificados para pilares, paredes, vigas e lajes são descritos a seguir.

#### **6.4.2 Métodos de cálculo simplificados**

(1) Os métodos de cálculo simplificados apresentados no Anexo B aplicam-se ao betão de alta resistência.

##### **6.4.2.1 Pilares e paredes**

(1) A verificação da capacidade resistente de pilares e de paredes em situação de incêndio poderá ser efectuada para uma secção transversal reduzida utilizando os métodos de cálculo aplicáveis na situação normal, por exemplo os indicados em B.1.

(2) A secção transversal reduzida deverá ser determinada com base no método simplificado indicado no Anexo B, considerando, ainda, uma redução adicional do betão sem resistência mecânica, dada a influência dos efeitos de segunda ordem.

(3) No cálculo da secção transversal reduzida, a espessura reduzida do betão é calculada a partir da profundidade da isotérmica de 500 °C,  $a_{500}$ , majorada de um coeficiente  $k$ . Assim, no cálculo da secção transversal reduzida de pilares e paredes, deverá utilizar-se a expressão (6.4):

$$a_z = k a_{z,500} \quad (6.4)$$

**NOTA:** O coeficiente  $k$  permite converter a profundidade da isotérmica de 500 °C para a de 460 °C para a Classe 1 no Quadro 6.1N, e para a profundidade da isotérmica de 400 °C para a Classe 2 no Quadro 6.1N. O valor de  $k$  a utilizar num determinado país poderá ser indicado no respectivo Anexo Nacional. O valor recomendado é 1,1 para a Classe 1 e 1,3 para a Classe 2. Para a Classe 3, são recomendados métodos mais precisos.

(4) O momento resistente das secções transversais em flexão composta poderá ser calculado utilizando o método das zonas, B.2, considerando  $E_{c,fi}(\theta) = k_c^2(\theta) \cdot E_c$ , caso seja relevante.

(5) Os regimes de incêndio que não cumpram os requisitos do método simplificado requerem uma análise separada e pormenorizada que considere a resistência relativa do betão em função da temperatura.

##### **6.4.2.2 Vigas e lajes**

(1) O momento resistente das vigas e das lajes em situação de incêndio poderá ser calculado com base na secção transversal reduzida, como definida em B.1, utilizando os métodos de cálculo aplicáveis na situação normal.

(2) Deverá ser feita uma redução adicional do momento resistente assim calculado:

$$M_{d,fi} = M_{500} \cdot k_m \quad (6.5)$$

em que:

$M_{d,fi}$  valor de cálculo do momento resistente em situação de incêndio;

$M_{500}$  momento resistente calculado com base na secção transversal reduzida, definido pela isotérmica de 500 °C;

$k_m$  coeficiente de redução.

**NOTA:** O valor de  $k_m$ , que depende da redução da resistência definida no Quadro 6.1N, a utilizar num determinado país poderá ser indicado no respectivo Anexo Nacional. O valor recomendado é indicado no Quadro 6.2N. Para a Classe 3, são recomendados métodos mais precisos.

Quadro 6.2N – Coeficientes de redução do momento resistente para vigas e lajes

Tipo de elemento	$k_m$	
	Classe 1	Classe 2
Vigas	0,98	0,95
Lajes expostas ao fogo na zona de compressão	0,98	0,95
Lajes expostas ao fogo no lado traccionado, $h_1 \geq 120$ mm	0,98	0,95
Lajes expostas ao fogo no lado traccionado, $h_1 = 50$ mm	0,95	0,85
$h_1$ é a espessura da laje de betão (ver a Figura 5.7)		

(3) Para espessuras de laje entre 50 mm e 120 mm, expostas ao fogo no lado traccionado, o coeficiente de redução poderá ser obtido por interpolação linear.

(4) Os regimes de incêndio que não cumpram os requisitos do método simplificado deverão ser justificados através de uma análise separada e pormenorizada que considere a resistência relativa do betão em função da temperatura.

#### 6.4.3 Valores tabelados

(1) O método dos valores tabelados indicado na secção 5 também poderá ser utilizado para o betão de alta resistência se as dimensões mínimas da secção transversal forem aumentadas de:

- $(k-1)a$  para paredes e lajes expostas apenas numa face;
- $2(k-1)a$  para todos os restantes elementos estruturais e sendo a distância ao eixo multiplicada por  $k$ ;

em que:

$k$  coeficiente referido em 6.4.2.1(3);

$a$  distância ao eixo especificada na secção 5.

**NOTA:** Para os pilares, o nível de carregamento em situação de incêndio,  $\mu_{fi}$  ou o nível de carregamento de um pilar à temperatura normal,  $n$ , deverão ser definidos antes de efectuar o aumento das dimensões da secção transversal através de  $2(k-1)a$ .

## Anexo A

(informativo)

### Perfis de temperatura

(1) O presente Anexo apresenta perfis de temperatura para lajes (ver a Figura A.2), vigas (ver as Figuras A.3 - A.10) e pilares (ver as Figuras A.11 - A.20). A Figura A.2, para lajes, aplica-se igualmente a paredes expostas numa face.

(2) As figuras baseiam-se nos seguintes valores:

- calor específico do betão tal como dedinido em 3.3.2 com um teor de água de 1,5 %. Os gráficos de temperatura são conservativos para teores de água superiores a 1,5 %;
- o limite inferior da condutibilidade térmica do betão é o indicado em 3.3.3;

**NOTA:** O limite inferior da condutibilidade térmica foi determinado com base em comparações com temperaturas medidas em ensaios de resistência ao fogo de diferentes tipos de estruturas de betão. O limite inferior fornece temperaturas mais realistas para as estruturas de betão do que o limite superior, determinado com base em ensaios de estruturas mistas aço/betão.

– a emissividade da superfície de betão 0,7 é a indicada em 2.2;

– o coeficiente de convecção é  $25 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

(3) A Figura A.1 mostra, tendo em conta a simetria, como os perfis de temperatura representam a temperatura na secção transversal de vigas e de pilares.

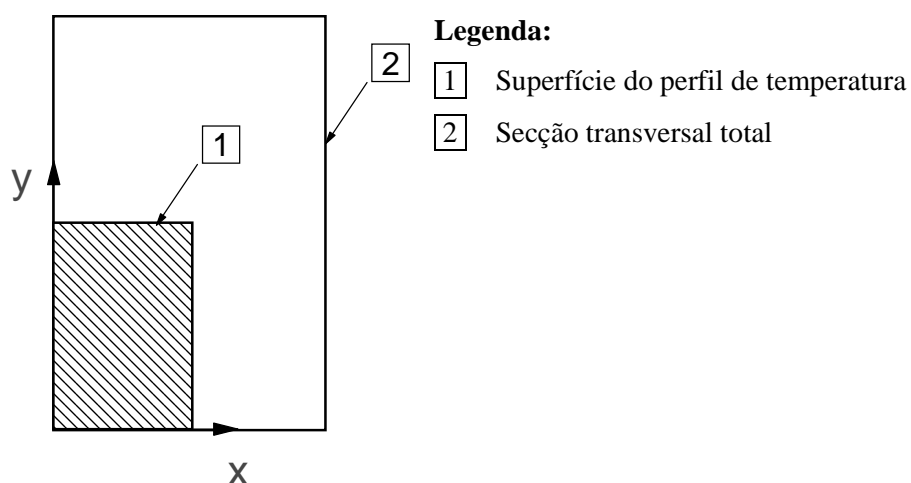
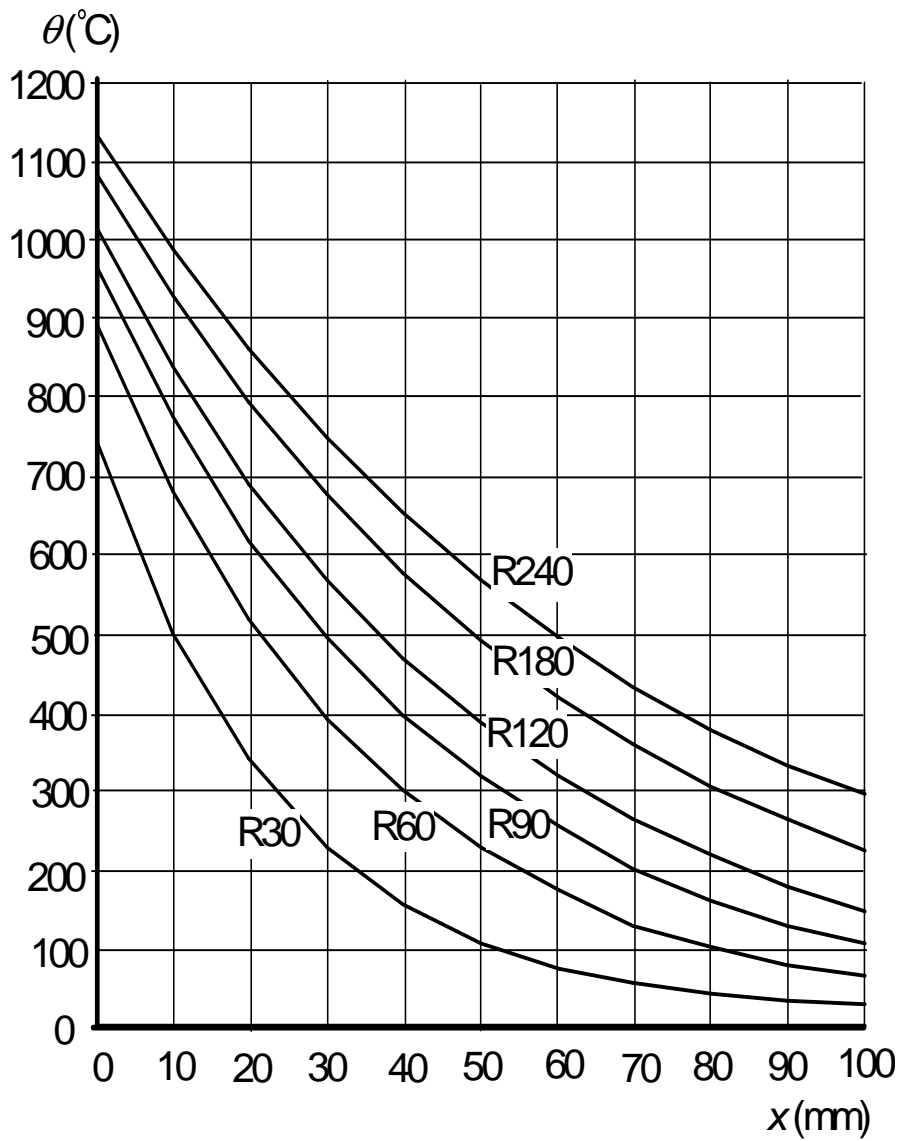


Figura A.1 – Superfície da secção transversal para a qual são apresentados os perfis de temperatura



$x$  distância a partir da superfície exposta

Figura A.2 – Perfis de temperatura para lajes (espessura  $h = 200$ ) para R 30 – R 240

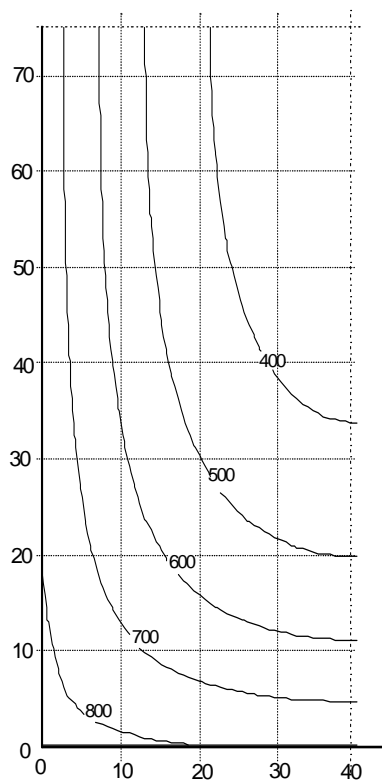
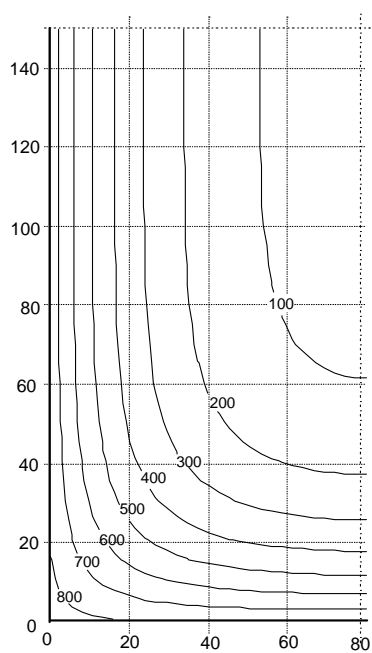
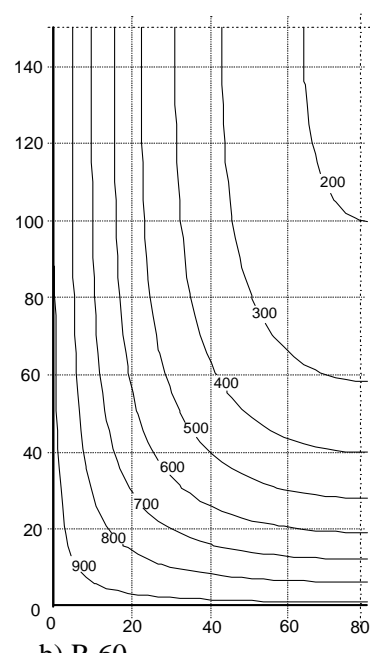


Figura A.3 – Perfis de temperatura (°C) para uma viga,  $h \times b = 150 \times 80$  – R 30

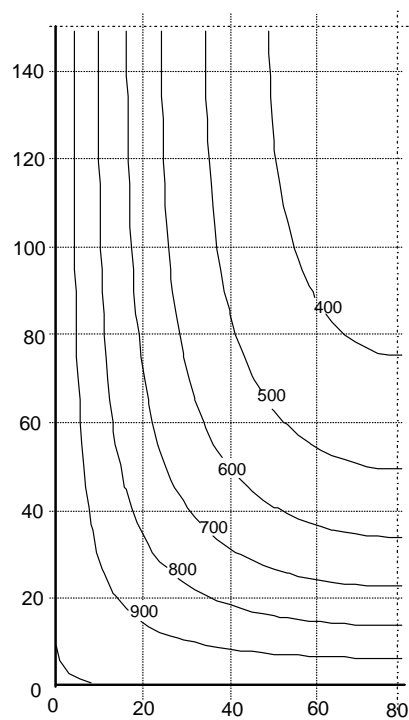


a) R 30



b) R 60

Figura A.4 – Perfis de temperatura (°C) para uma viga,  $h \times b = 300 \times 160$



a) R 90

Figura A.5 – Perfis de temperatura (°C)  
para uma viga,  $h \times b = 300 \times 160$

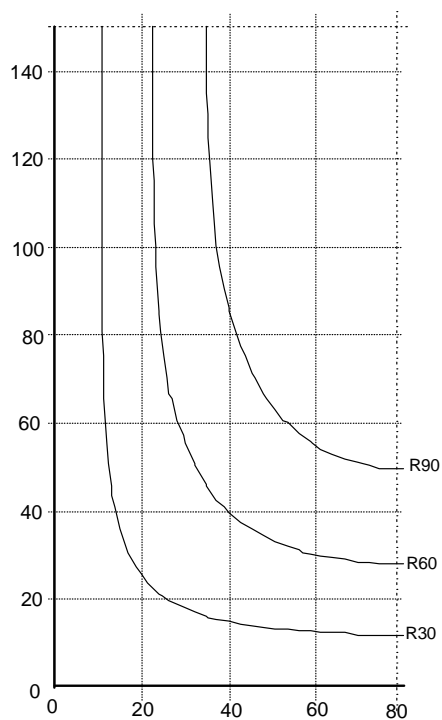
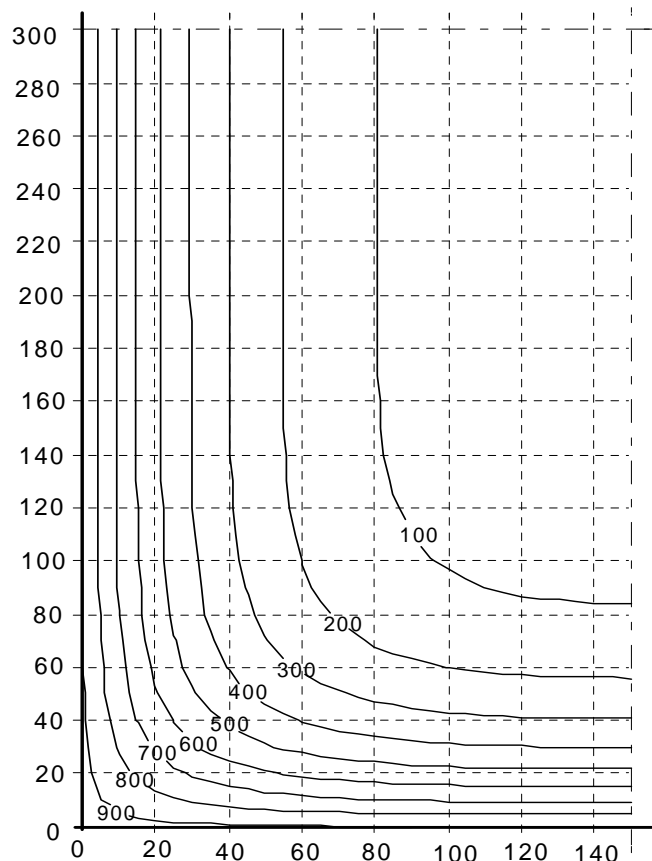
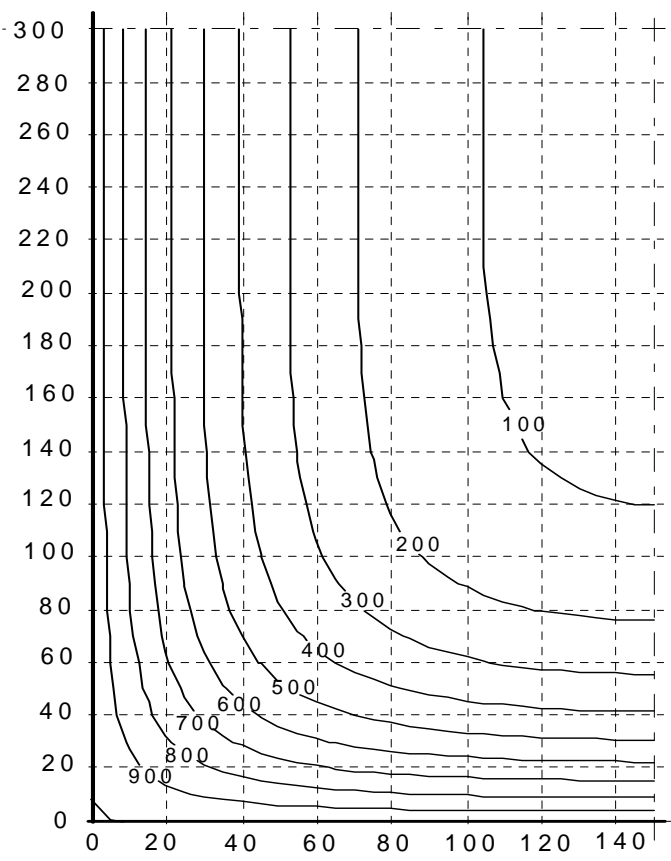


Figura A.6 – Isotérmicas de 500 °C  
para uma viga,  $h \times b = 300 \times 160$



a) R 60



b) R 90

Figura A.7 – Perfis de temperatura (°C) para uma viga,  $h \times b = 600 \times 300$

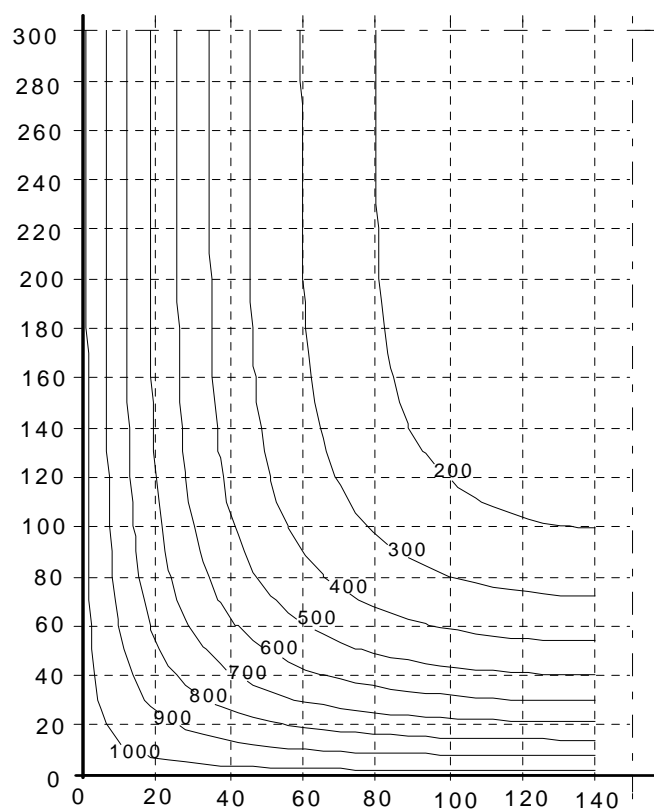
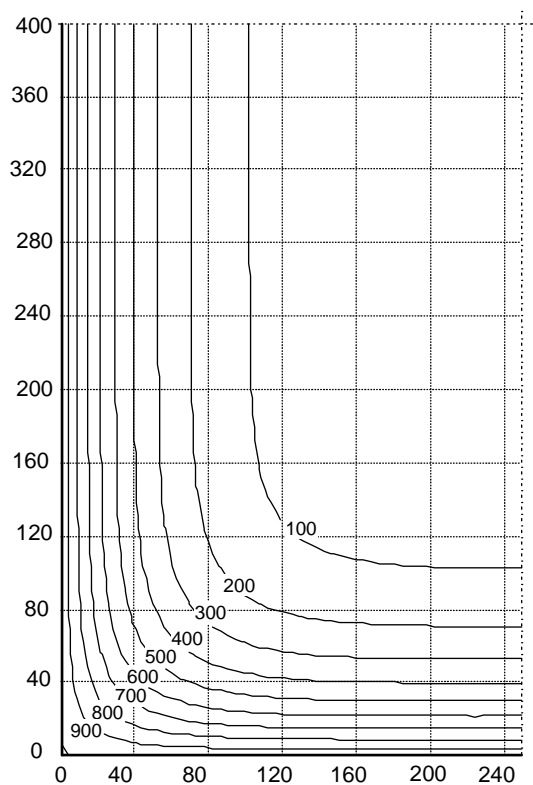
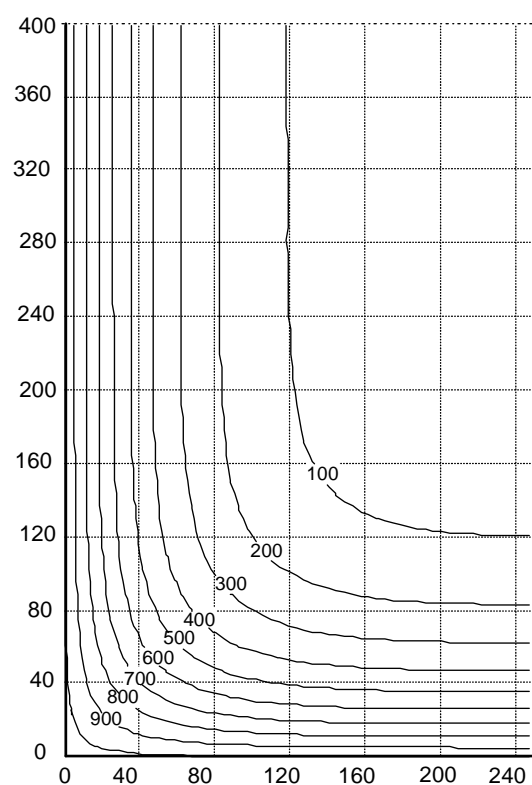


Figura A.8 – Perfis de temperatura (°C) para uma viga,  $h \times b = 600 \times 300$  - R 120



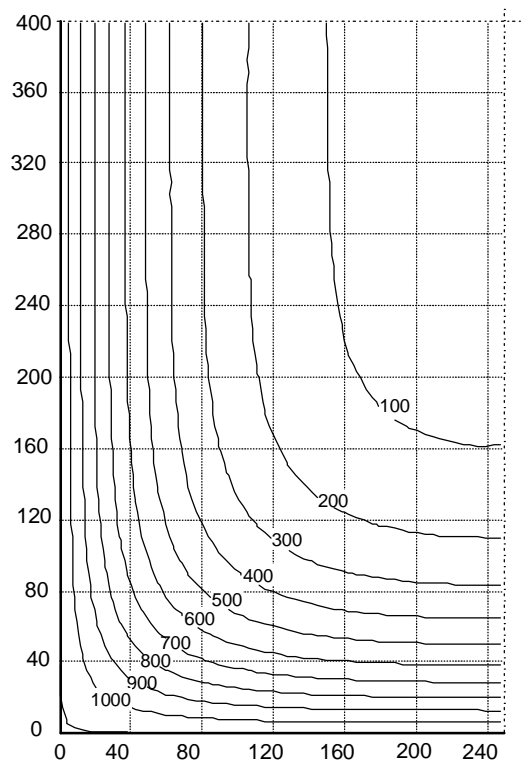


a) R 90

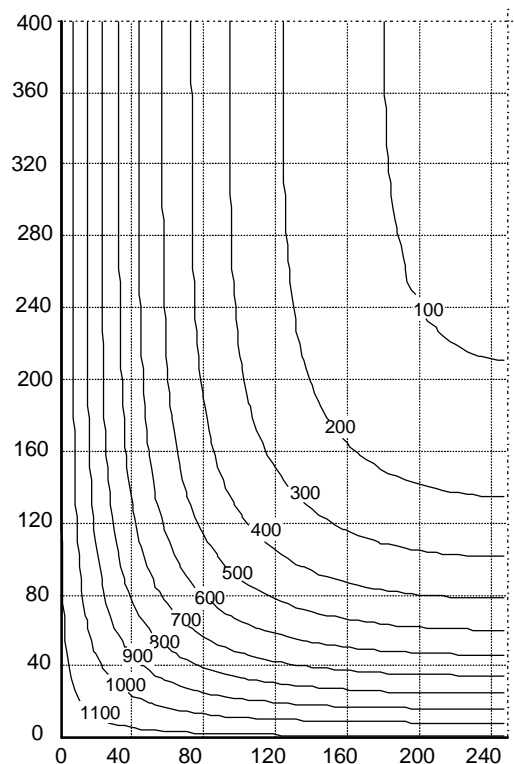


b) R 120

Figura A.9 – Perfis de temperatura (°C) para uma viga,  $h \times b = 800 \times 500$



a) R 180



b) R 240

Figura A.10 – Perfis de temperatura (°C) para uma viga,  $h \times b = 800 \times 500$

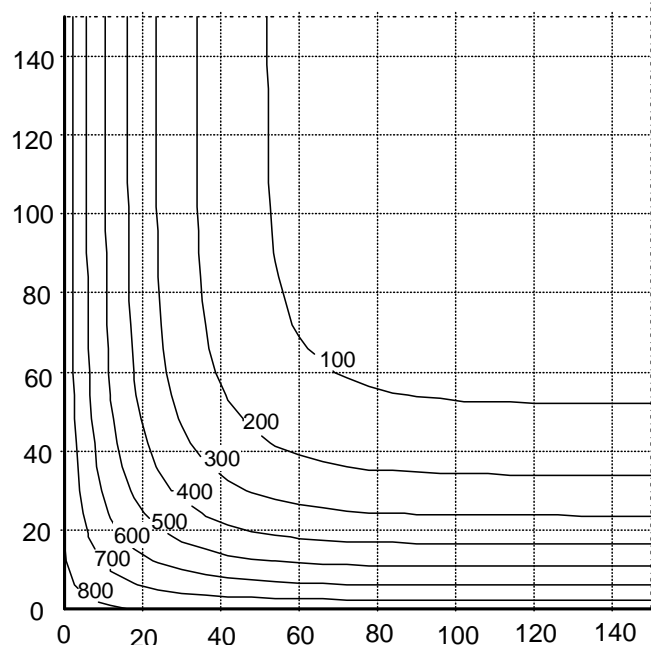


Figura A.11 – Perfis de temperatura (°C)  
para um pilar,  $h \times b = 300 \times 300$  – R 30

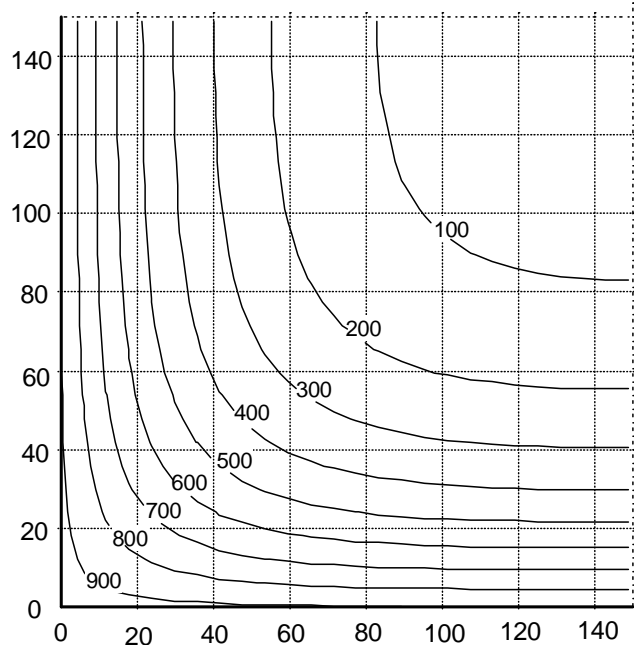


Figura A.12 – Perfis de temperatura (°C)  
para um pilar,  $h \times b = 300 \times 300$  – R 60

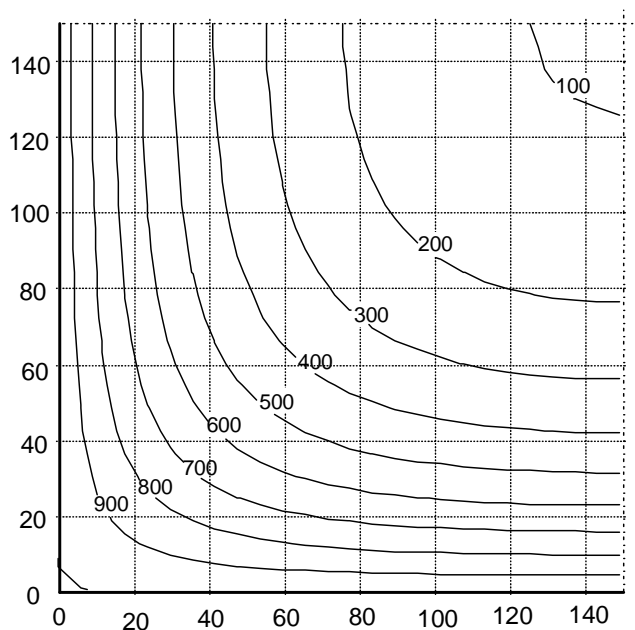


Figura A.13 – Perfis de temperatura (°C)  
para um pilar,  $h \times b = 300 \times 300$  – R 90

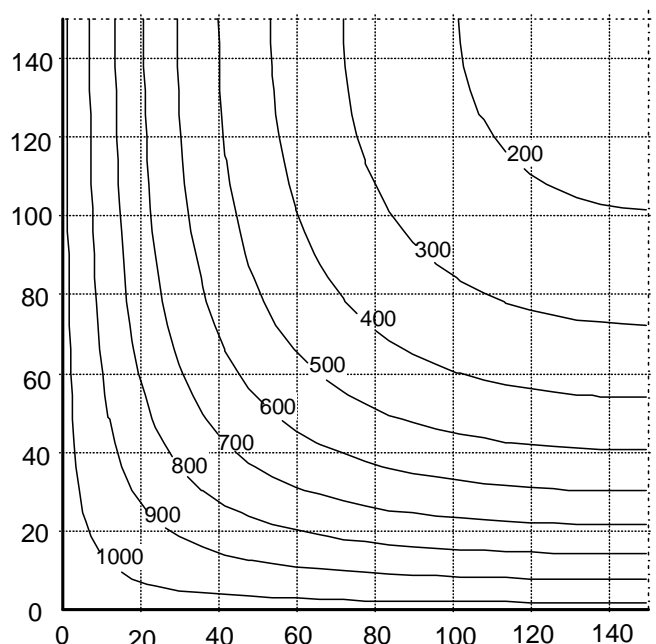


Figura A.14 – Perfis de temperatura (°C)  
para um pilar,  $h \times b = 300 \times 300$  – R 120

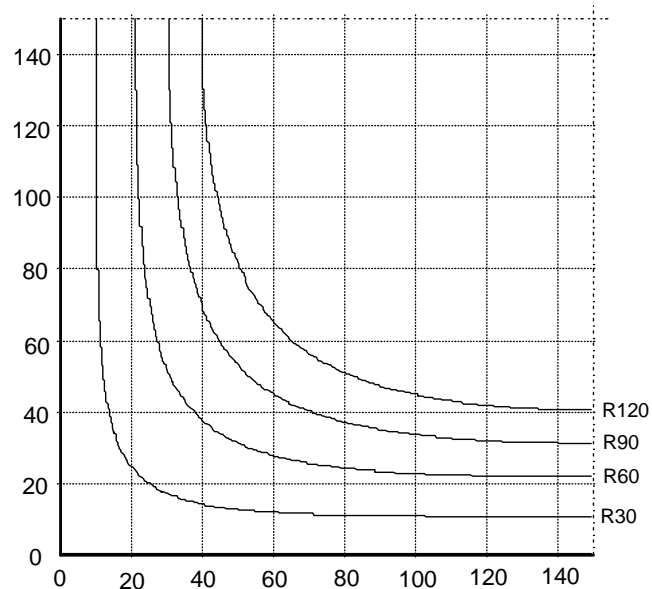


Figura A.15 – Isotérmicas de 500 °C para um pilar,  $h \times b = 300 \times 300$

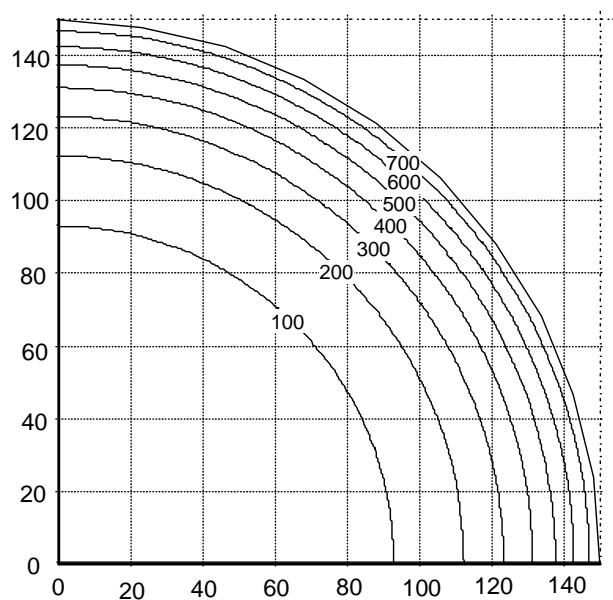


Figura A.16 – Perfis de temperatura (°C)  
para um pilar circular, diâmetro 300 – R 30

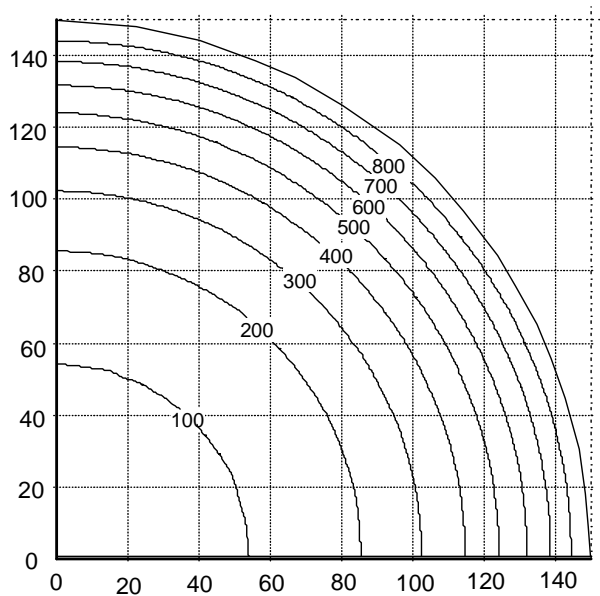


Figura A.17 – Perfis de temperatura (°C)  
para um pilar circular, diâmetro 300 – R 60

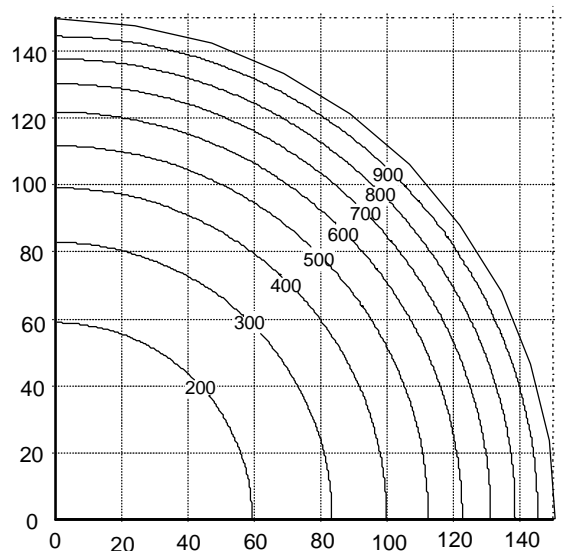


Figura A.18 – Perfis de temperatura (°C) para um pilar circular, diâmetro 300 – R 90

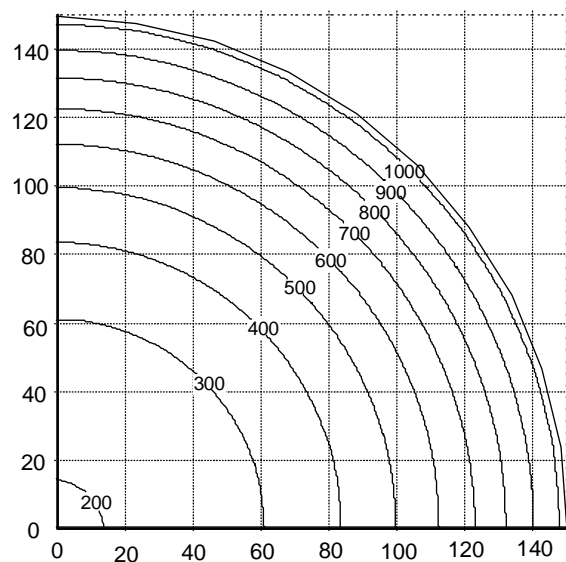


Figura A.19 – Perfis de temperatura (°C) para um pilar circular, diâmetro 300 – R 120

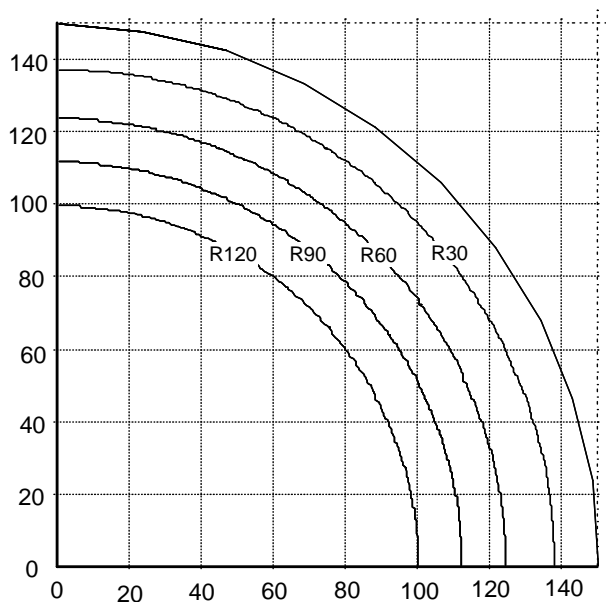


Figura A.20 – Isotérmicas de 500 °C para um pilar circular, diâmetro 300

## Anexo B

(informativo)

### Métodos de cálculo simplificados

#### B.1 Método da isotérmica de 500 °C

##### B.1.1 Princípio e campo de aplicação

(1) Este método aplica-se a uma exposição ao fogo padrão e a qualquer outro regime de incêndio, que provoque campos de temperatura semelhantes no elemento exposto ao fogo. Os regimes de incêndio que não obedeçam a este critério requerem uma análise separada e pormenorizada que considere a resistência relativa do betão em função da temperatura.

(2) Este método é válido para as larguras mínimas de secção transversal indicadas no Quadro B1:

a) para uma exposição ao fogo padrão dependente da resistência ao fogo;

b) para uma exposição ao fogo paramétrico com um factor de abertura  $O \geq 0,14 \text{ m}^{1/2}$  (ver a EN 1991-1-2, Anexo A).

Quadro B1 – Largura mínima da secção transversal em função da resistência ao fogo  
(para a exposição ao fogo padrão) e da densidade de carga de incêndio  
(para a exposição ao fogo paramétrico)

a) Resistência ao fogo

Resistência ao fogo	R 60	R 90	R 120	R 180	R 240
Largura mínima da secção transversal (mm)	90	120	160	200	280

b) Densidade de carga de incêndio

Densidade de carga de incêndio (MJ/m <sup>2</sup> )	200	300	400	600	800
Largura mínima da secção transversal (mm)	100	140	160	200	240

(3) O método de cálculo simplificado inclui uma redução geral das dimensões da secção transversal segundo uma zona danificada pelo calor nas superfícies de betão. A espessura do betão danificado,  $a_{500}$ , é considerada como igual à profundidade média da isotérmica de 500 °C na zona de compressão da secção transversal.

(4) Considera-se que o betão danificado, ou seja, o betão com temperaturas superiores a 500 °C, não contribui para a capacidade resistente do elemento, enquanto a secção transversal residual de betão mantém os seus valores iniciais de resistência e de módulo de elasticidade.

(5) Para uma viga rectangular exposta ao fogo em três lados, a secção transversal reduzida em situação de incêndio será conforme a Figura B1.

### B.1.2 Método de cálculo de uma secção transversal de betão armado sujeita a flexão composta

(1) Com base no método da secção transversal reduzida acima referido, o cálculo da resistência de uma secção transversal de betão armado em situação de incêndio poderá ser efectuado de acordo com o seguinte procedimento:

- determinação da isotérmica de 500 °C para a exposição ao fogo especificada, ao fogo padrão ou ao fogo paramétrico;
- determinação de uma nova largura,  $b_{fi}$ , e de uma nova altura efectiva,  $d_{fi}$ , da secção transversal excluindo o betão exterior à isotérmica de 500 °C (ver a Figura B.1). Os cantos arredondados das isotérmicas podem ser considerados assemelhando a forma real da isotérmica a um rectângulo ou um quadrado, como indicado na Figura B.1;

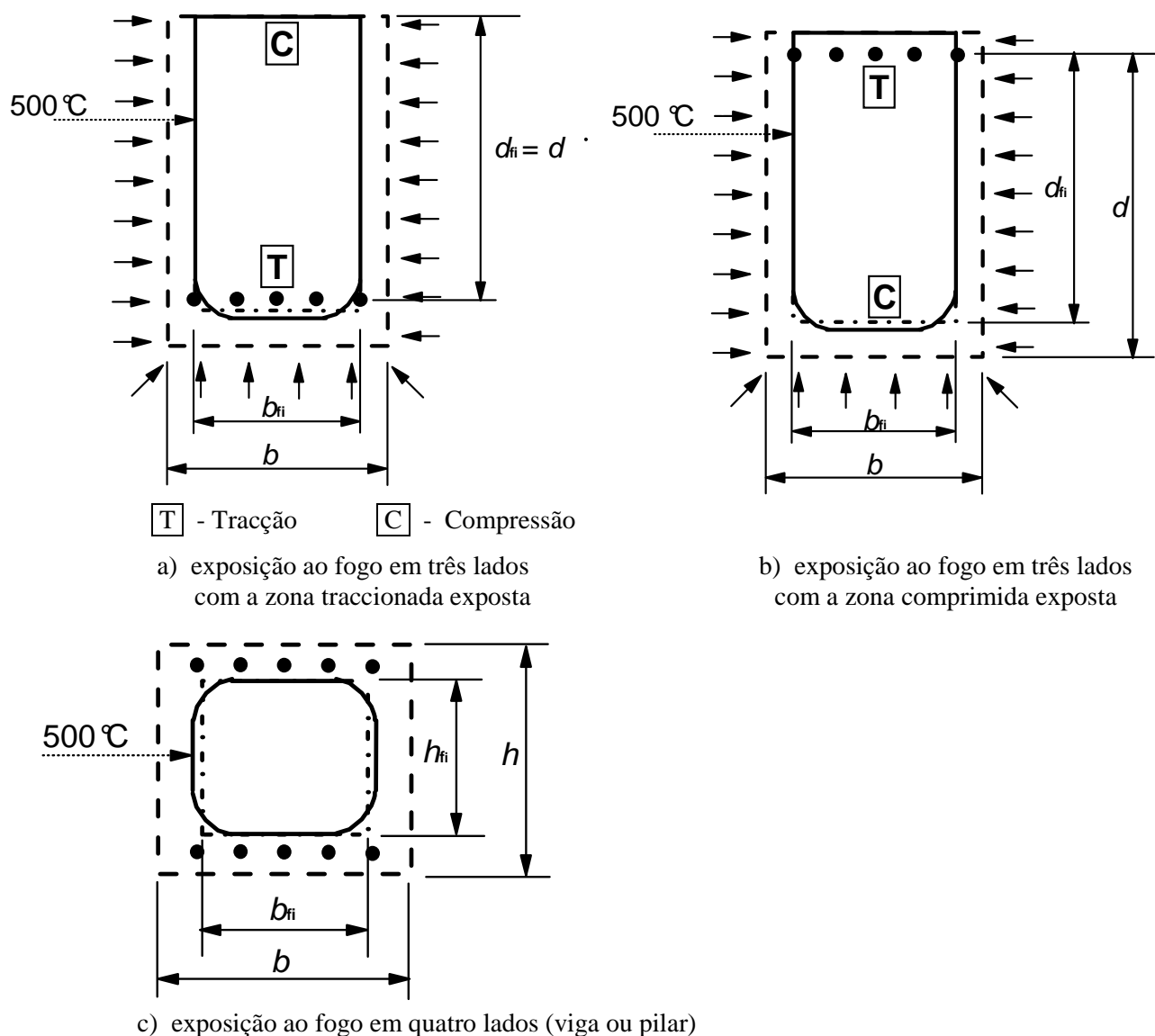


Figura B.1 – Secção transversal reduzida de viga ou de pilar de betão armado

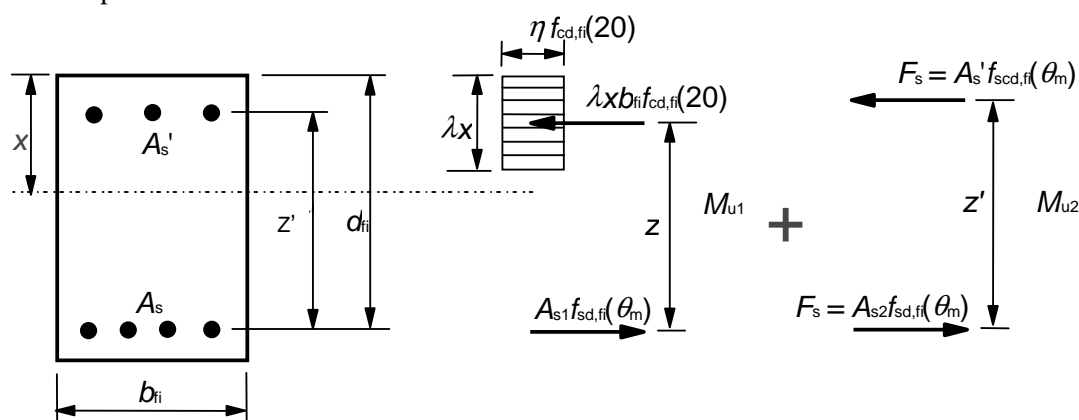
(c) determinação da temperatura dos varões das armaduras nas zonas traccionadas e comprimidas. A temperatura de um varão pode ser avaliada a partir dos perfis de temperatura indicados no Anexo A ou em manuais e é considerada como sendo a temperatura no centro do varão. Alguns dos varões da armadura poderão não ficar incluídos na secção transversal reduzida, como representado na Figura B.1; no entanto, poderão ser considerados no cálculo da capacidade resistente última da secção transversal exposta ao fogo;

(d) determinação da resistência reduzida da armadura devida à temperatura, de acordo com 4.2.4.3;

(e) utilização dos métodos de cálculo convencionais para a secção transversal reduzida para a determinação da capacidade resistente última, adoptando a resistência dos varões da armadura obtida em (d); e

(f) comparação da capacidade resistente última com o valor de cálculo da acção ou, em alternativa, a resistência ao fogo calculada com a resistência requerida.

(2) A Figura B.2 apresenta o cálculo da capacidade resistente de uma secção transversal com armaduras de tracção e de compressão.



$b_{fi}$  largura da secção transversal reduzida;

$d_{fi}$  altura efectiva da secção transversal reduzida;

$z$  braço do binário entre as armaduras de tracção e o betão;

$z'$  braço do binário entre as armaduras de tracção e de compressão;

$A_s$  área da secção das armaduras de tracção;

$A_{s1}$  parte das armaduras de tracção em equilíbrio com o betão comprimido;

$A_{s2}$  parte das armaduras de tracção em equilíbrio com as armaduras de compressão;

$A_s'$  área das armaduras de compressão;

$f_{cd,fi}(20)$  valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão em situação de incêndio à temperatura normal;  
 $= f_{ck}/\gamma_{c,fi}$

$f_{sd,fi}(\theta_m)$  valor de cálculo da resistência das armaduras de tracção em situação de incêndio à temperatura média  $\theta_m$  da camada;

$f_{scd,fi}(\theta_m)$  valor de cálculo da resistência das armaduras de compressão em situação de incêndio à temperatura média  $\theta_m$  da camada;

**NOTA:**  $f_{sd,fi}(\theta_m)$  e  $f_{scd,fi}(\theta_m)$  poderão ter valores diferentes (ver 4.2.4.3).

$F_s$  força total na armadura de compressão em situação de incêndio, igual a parte da força total na armadura de tracção;

$\lambda$ ,  $\eta$  e  $x$  definidos na EN 1992-1-1.

Figura B.2 – Distribuição de tensões no estado limite último para uma secção rectangular de betão com armaduras de compressão



(3) Se todos os varões da armadura estiverem dispostos em camadas e tiverem a mesma área, poderão utilizar-se as expressões seguintes no cálculo da distância ao eixo,  $a$ .

A resistência reduzida média de uma camada de armaduras em função do aumento da temperatura é calculada de acordo com a expressão (B.1):

$$k_v(\theta) = \frac{\sum k(\theta_i)}{n_v} \quad (\text{B.1})$$

em que:

$\theta$  temperatura no varão  $i$ ;

$k(\theta_i)$  redução da resistência do varão  $i$  devida à temperatura  $\theta_i$  que se obtém da Figura 4.11<sup>\*)</sup>;

$k_v(\theta)$  redução média da resistência da camada de armaduras  $v$ ;

$n_v$  número de varões da camada  $v$ .

(4) A distância ao eixo,  $a$ , do centro de gravidade das camadas de armadura poderá ser calculada utilizando a expressão (B.2):

$$a = \frac{\sum a_v k_v(\theta)}{\sum k_v(\theta)} \quad (\text{B.2})$$

em que:

$a_v$  distância da face inferior da secção transversal reduzida ao eixo da camada de armaduras  $v$ .

(5) Se existirem apenas duas camadas de armaduras, a distância ao eixo poderá ser calculada utilizando a expressão (B.3):

$$a = \sqrt{a_1 a_2} \quad (\text{B.3})$$

(6) Se os varões da armadura tiverem áreas diferentes e tiverem uma distribuição arbitrária, deverá utilizar-se o método seguinte.

A resistência média do aço de um conjunto de varões,  $k(\varphi) f_{sd,fi}$ , em função do aumento da temperatura, poderá ser calculada utilizando a expressão (B.4):

$$k(\varphi) f_{sd,fi} = \frac{\sum_i [k_s(\theta_i) f_{sd,i} A_i]}{\sum_i A_i} \quad (\text{B.4})$$

em que:

$k_s(\theta_i)$  redução da resistência do varão  $i$ ;

$f_{sd,i}$  valor de cálculo da resistência do varão  $i$ ;

$A_i$  área da secção transversal do varão  $i$ .

---

<sup>\*)</sup> A EN 1992-1-2 refere “Figura 4.11”; considera-se que é um lapso, devendo referir “Figuras 4.2a) e b)” (nota nacional).

A distância,  $a$ , ao centro de gravidade do conjunto de varões é calculada de acordo com a expressão (B.5):

$$a = \frac{\sum_i [a_i k_s(\theta_i) f_{sd,i} A_i]}{\sum_i [k_s(\theta_i) f_{sd,i} A_i]} \quad (\text{B.5})$$

em que:

$a_i$  distância entre a face da secção transversal reduzida e o varão  $i$ .

(7) O cálculo dos momentos flectores da secção transversal é representado como segue:

$$M_{u1} = A_{s1} f_{sd,fi}(\theta_m) z \quad (\text{B.6})$$

$$\omega_k = \frac{A_{s1} f_{sd,fi}(\theta_m)}{b_{fi} d_{fi} f_{cd,fi}(20)} \quad (\text{B.7})$$

$$M_{u2} = A_{s2} f_{scd,fi}(\theta_m) z' \quad (\text{B.8})$$

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \quad (\text{B.9})$$

em que:

$A_s$  área total das armaduras;

$f_{sd,fi}$  valor de cálculo da tensão de rotura à tracção do aço das armaduras;

$f_{scd,fi}$  valor de cálculo da resistência das armaduras de compressão;

$\omega_k$  taxa mecânica de armaduras da secção transversal exposta ao fogo;

$b_{fi}$  largura da secção transversal exposta ao fogo;

$d_{fi}$  altura efectiva da secção transversal exposta ao fogo;

$f_{cd,fi}(20)$  valor de cálculo da tensão de rotura do betão à compressão (à temperatura normal);

$z$  braço do binário entre as armaduras de tracção e o betão;

$z'$  braço do binário entre as armaduras de tracção e de compressão;

$\theta_m$  temperatura média da camada de armaduras.

Quando as contribuições dos momentos são calculadas da forma anterior, o momento resistente total é obtido por:

$$M_u = M_{u1} + M_{u2} \quad (\text{B.10})$$

## **B.2 Método das zonas**

(1) O método de divisão da secção transversal em várias zonas é descrito a seguir. Este método, embora mais trabalhoso, é mais rigoroso do que o método da isotérmica de 500 °C, em particular para pilares. Este método é aplicável a qualquer curva de incêndio totalmente desenvolvido, mas, nesta Norma, são unicamente fornecidos os dados para a curva de incêndio padrão.

(2) A secção transversal é dividida num número ( $n \geq 3$ ) de zonas paralelas de igual espessura (elementos rectangulares), para cada uma das quais é calculada a temperatura média bem como a correspondente resistência à compressão média,  $f_{cd}(\theta)$ , e o módulo de elasticidade (caso tal se aplique).

(3) A secção transversal danificada pelo fogo é representada por uma secção transversal reduzida, não se considerando uma zona danificada de espessura  $a_z$  nas faces expostas ao fogo, ver a Figura B.3. É feita referência a uma parede equivalente (ver as Figuras B.3a e d). O ponto M é um ponto arbitrário da linha média da parede equivalente, utilizado para determinar a resistência à compressão reduzida de toda a secção transversal reduzida. Quando duas faces opostas estão expostas ao fogo, considera-se que a largura é  $2w$  (ver a Figura B.3a). Para uma secção transversal rectangular exposta ao fogo apenas numa face, considera-se que a largura é  $w$  (ver a Figura B.3c). Uma parede espessa é representada por uma parede com uma largura igual a  $2w$  (ver a Figura B.3d). O banzo da Figura B.3f está relacionado com a laje equivalente da Figura B.3c, e a alma com a parede equivalente da Figura B.3a.

(4) Para a parte inferior e para as extremidades de elementos rectangulares expostos ao fogo, nos quais a largura é inferior à altura, considera-se que o valor de  $a_z$  é igual ao calculado para os lados, ver as Figuras B.3b, e, f.

A redução da secção transversal baseia-se na espessura  $a_z$  de uma zona danificada nas superfícies expostas ao fogo, calculada da seguinte forma.

(5) A zona danificada,  $a_z$ , para uma parede equivalente exposta de ambos os lados, é avaliada como segue:

- a) divide-se a meia espessura da parede em  $n$  zonas paralelas de espessura igual, com  $n \geq 3$  (ver a Figura B.4);
- b) calcula-se a temperatura no centro de cada zona;
- c) determina-se o correspondente coeficiente de redução da resistência à compressão,  $k_c(\theta)$  (ver a Figura B.5)\*).

---

\*) Esclarece-se que a Figura B.5 apenas permite determinar  $k_c(\theta_M)$  (nota nacional).

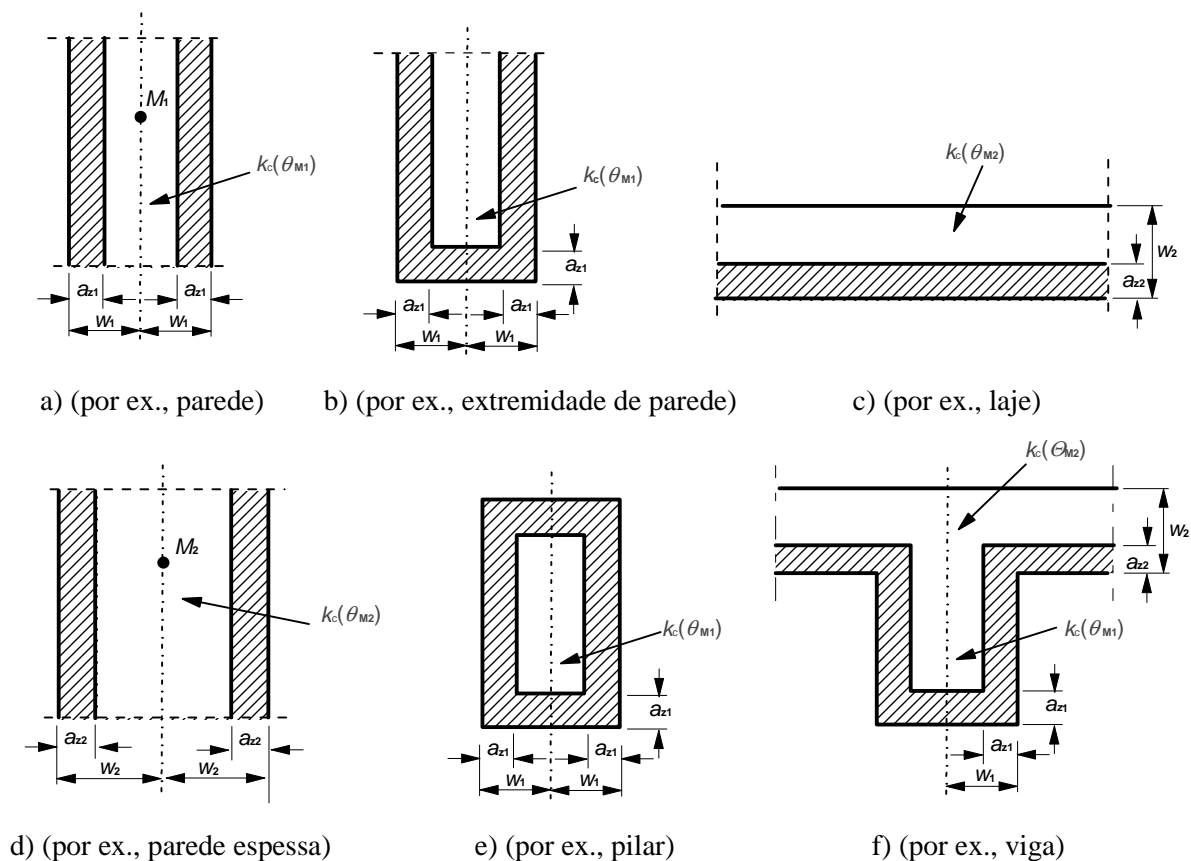


Figura B.3 – Redução da resistência e da secção transversal para secções expostas ao fogo

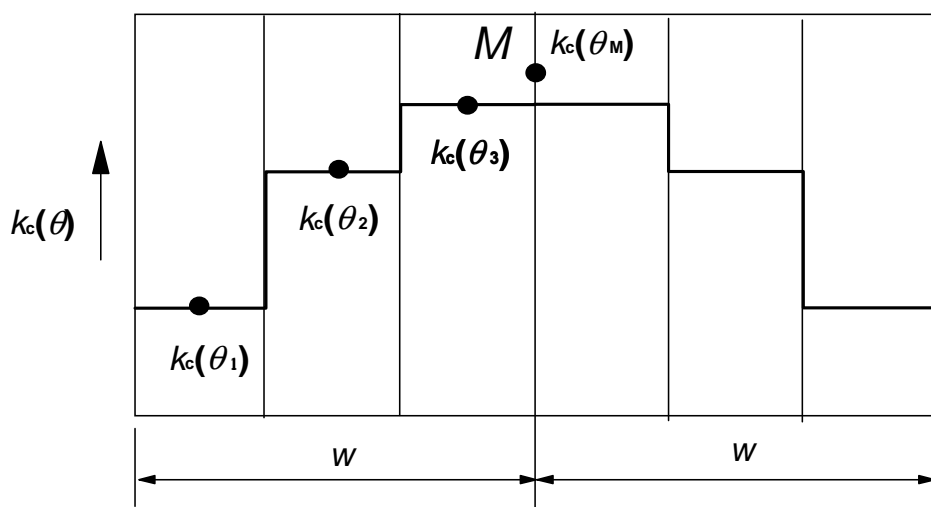


Figura B.4 – Divisão em zonas de uma parede exposta ao fogo de ambos os lados para o cálculo da redução da resistência e dos valores de  $a_z$

(6) O coeficiente de redução médio para uma determinada secção, incluindo um factor  $(1 - 0,2/n)$  a fim de ter em conta a variação da temperatura em cada zona, poderá ser calculado utilizando a expressão (B.11):

$$k_{c,m} = \frac{(1 - 0,2/n)}{n} \sum_{i=1}^n k_c(\theta_i) \quad (\text{B.11})$$

em que:

$n$  número de zonas paralelas na largura  $w$ ;

$w$  metade da largura total;

$m$  número da zona.

(7) A largura da zona danificada para vigas, lajes e placas poderá ser calculada pela expressão (B.12):

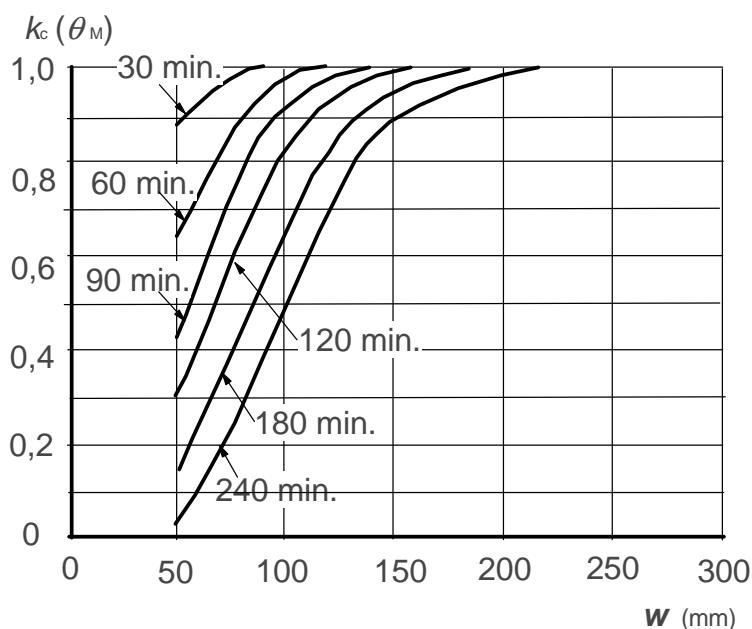
$$a_z = w \left[ 1 - \frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)} \right] \quad (\text{B.12})$$

em que  $k_c(\theta_M)$  é o coeficiente de redução do betão no ponto  $M$ .

(8) Para pilares, paredes e outras construções, em que efeitos de segunda ordem ocorram, a largura da zona danificada poderá ser obtida pela expressão (B.13):

$$a_z = w \left[ 1 - \left( \frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)} \right)^{1,3} \right] \quad (\text{B.13})$$

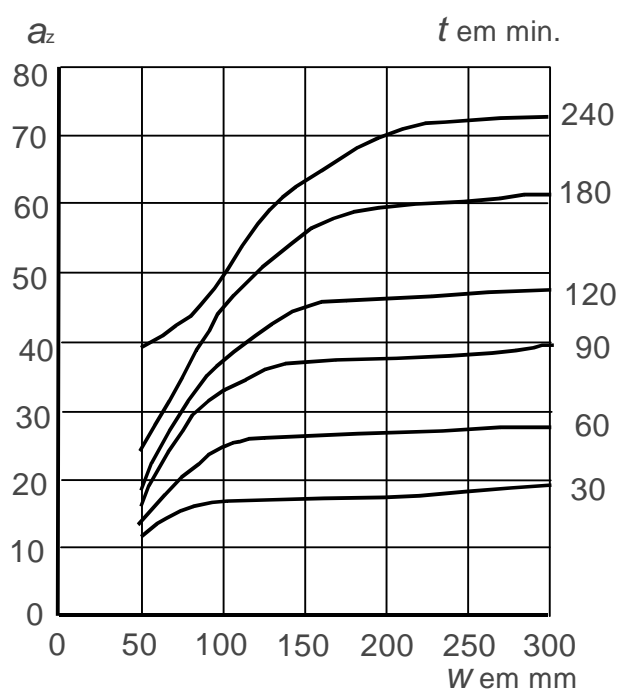
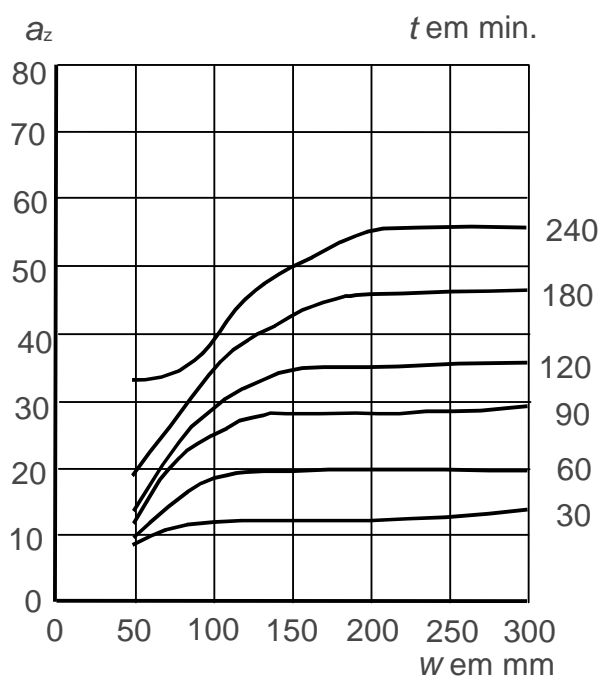
(9) Quando a secção transversal reduzida é definida e são determinados a resistência e o módulo de elasticidade para a situação de incêndio, o projecto de resistência ao fogo segue o método de cálculo à temperatura normal, semelhante ao representado na Figura B.2, utilizando os valores de  $\gamma_{M,fi}$ .



$w$  representa:

- a espessura de uma laje,
- a espessura de uma parede ou de um pilar expostos apenas de um lado,
- metade da espessura da alma de uma viga,
- metade da espessura de uma parede ou de um pilar expostos em dois lados ou
- metade da menor dimensão de um pilar exposto em quatro lados.

a) Redução da resistência à compressão para uma secção transversal reduzida de betão com agregados siliciosos



b) Redução da secção transversal,  $a_z$ , de uma viga ou laje de betão com agregados siliciosos

c) Redução da secção transversal,  $a_z$ , de um pilar ou de uma parede de betão com agregados siliciosos

**NOTA:** Os valores para o betão com agregados siliciosos são conservativos para a maioria dos outros agregados.

Figura B.5 – Redução da secção transversal e da resistência do betão para uma curva de incêndio padrão

## B.3 Avaliação de uma secção transversal de betão armado sujeita a flexão composta pelo método baseado na estimativa da curvatura

### B.3.1 Encurvadura de pilares em situação de incêndio

- (1) Esta secção contempla os pilares para os quais o comportamento estrutural é significativamente influenciado por efeitos de segunda ordem em situação de incêndio.
- (2) Em situação de incêndio, a combinação da danificação das camadas exteriores do elemento devida às temperaturas elevadas com a redução do módulo de elasticidade nas camadas interiores, resulta numa diminuição da rigidez dos elementos estruturais. Por este motivo, os efeitos de segunda ordem podem ser significativos para pilares em situação de incêndio, embora o seu efeito seja desprezável à temperatura normal.
- (3) A avaliação de um pilar numa situação de incêndio enquanto elemento isolado poderá ser efectuada utilizando um método baseado na estimativa da curvatura (ver a secção 5 da EN 1992-1-1), se forem aplicadas as regras seguintes.
- (4) Para estruturas de edifícios contraventadas, não é necessário considerar as acções indirectas do incêndio se não for tida em conta a diminuição dos momentos de primeira ordem devida à diminuição da rigidez do pilar.
- (5) O comprimento efectivo em situação de incêndio,  $l_{0,fi}$ , poderá ser considerado, como simplificação do lado da segurança, igual a  $l_0$  à temperatura normal. Para um cálculo mais preciso, pode ser considerado o impedimento das extremidades do pilar, devido à diminuição da sua rigidez. Para este efeito, poderá utilizar-se uma secção transversal reduzida do pilar como definida em B.2. Note-se que, neste caso, a rigidez equivalente da secção reduzida de betão deverá ser:

$$(EI)_z = [k_c(\theta_M)]^2 \cdot E_c \cdot I_z$$

em que:

$k_c(\theta_M)$  coeficiente de redução do betão no ponto M (ver B.2);

$E_c$  módulo de elasticidade do betão à temperatura normal;

$I_z$  momento de inércia da secção reduzida;

O módulo de elasticidade da armadura é  $E_{s,\theta}$  (ver o Quadro 3.2).

### B.3.2 Método para avaliação da resistência ao fogo de secções de pilares

- (1) Este método é válido apenas para a avaliação de pilares em estruturas contraventadas.
- (2) Determinar as curvas isotérmicas para a situação de exposição ao fogo especificada, ao fogo padrão ou ao fogo paramétrico.
- (3) Dividir a secção transversal em zonas com uma temperatura média aproximada de 20 °C, 100 °C, 200 °C, 300 °C ... até 1100 °C (ver a Figura B.6).
- (4) Determinar a largura  $w_{ij}$ , a área  $A_{cij}$  e as coordenadas do centro de cada zona  $x_{ij}$ ,  $y_{ij}$ .
- (5) Determinar a temperatura dos varões da armadura. A temperatura de cada varão pode ser avaliada a partir dos perfis de temperatura indicados no Anexo A ou em manuais, e é considerada como sendo a temperatura no centro do varão.

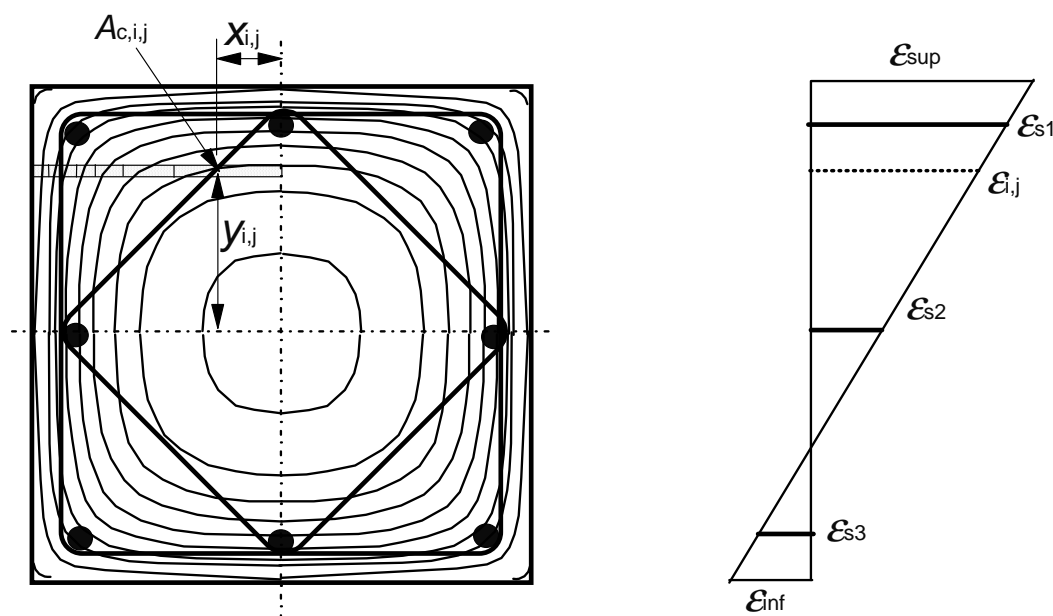
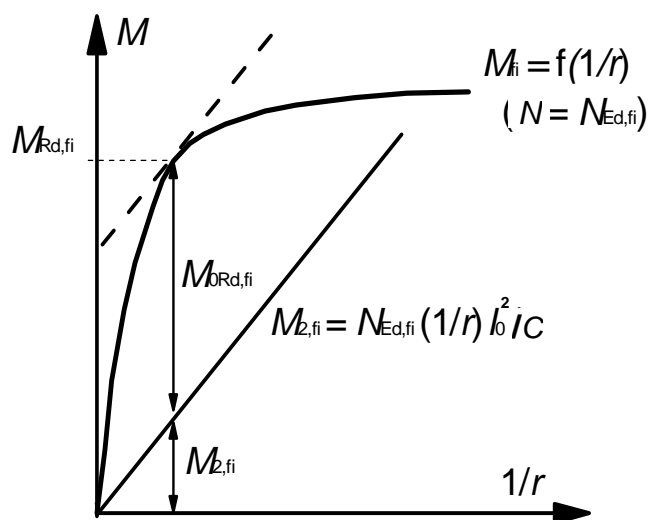


Figura B.6 – Divisão da secção transversal do pilar em zonas com temperatura uniforme aproximada

- (6) Determinar o diagrama momentos-curvaturas para  $N_{Ed,fi}$ , utilizando, para cada varão e para cada zona de betão, o diagrama tensões-extensões aplicável de acordo com 3.2.2.1 (ver a Figura 3.1 e o Quadro 3.1), 3.2.3 (ver a Figura 3.3 e o Quadro 3.2) e, quando apropriado, 3.2.4 (ver o Quadro 3.3) e 3.2.2.2.
- (7) Utilizar métodos convencionais de cálculo na determinação do momento resistente último,  $M_{Rd,fi}$ , para  $N_{Ed,fi}$  e do momento nominal de segunda ordem,  $M_{2,fi}$ , para a curvatura correspondente ao momento resistente último.
- (8) Determinar o momento resistente último de primeira ordem,  $M_{0Rd,fi}$ , para a exposição ao fogo especificada e  $N_{Ed,fi}$  como a diferença entre o momento resistente último,  $M_{Rd,fi}$ , e o momento nominal de segunda ordem,  $M_{2,fi}$ , assim calculado. Ver a Figura B.7.
- (9) Comparar o momento resistente último de primeira ordem,  $M_{0Rd,fi}$ , com o valor de cálculo do momento flector de primeira ordem em situação de incêndio,  $M_{0Ed,fi}$ .





em que  $c$  é um coeficiente ( $\approx 10$ ) função da distribuição da curvatura (ver a EN 1992-1-1, secção 5.8).

$$M_{0Rd,fi} \geq M_{0Ed,fi}$$

Figura B.7 – Determinação do momento resistente último ( $M_{Rd,fi}$ ), do momento de segunda ordem ( $M_{2,fi}$ ) e do momento resistente último de primeira ordem ( $M_{0Rd,fi}$ )

## **Anexo C**

(informativo)

### **Encurvadura de pilares em situação de incêndio**

(1) Nos Quadros C.1 a C.9 fornecem-se informações para a avaliação de pilares em estruturas contraventadas, com uma largura até 600 mm e uma esbelteza até  $\lambda = 80$ , para a exposição ao fogo padrão. Os quadros baseiam-se no método indicado em B.3. As notações são as mesmas de 5.3.3. Ver também as notas 1 e 2 em 5.3.3(3).

(2) É permitida a interpolação linear entre as diferentes colunas dos quadros deste Anexo.

Quadro C.1 – Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares de betão armado; secção rectangular e circular.  
Taxa mecânica de armadura  $\omega = 0,1$ . Momento de primeira ordem baixo:  $e = 0,025b$  com  $e \geq 10$  mm

Resistência ao fogo padrão	$\lambda$	Dimensões mínimas (mm) Largura do pilar $b_{\min}$ /distância ao eixo $a$			
		Pilar exposto em mais de um lado			
		$n = 0,15$	$n = 0,3$	$n = 0,5$	$n = 0,7$
1	2	3	4	5	6
R 30	30	150/25*	150/25*	150/25*	150/25*
	40	150/25*	150/25*	150/25*	150/25*
	50	150/25*	150/25*	150/25*	200/25*
	60	150/25*	150/25*	200/25*	250/25*
	70	150/25*	150/25*	250/25*	300/25*
	80	150/25*	200/25*	250/30:300/25*	350/25*
R 60	30	150/25*	150/25*	200/25*	200/30:250/25*
	40	150/25*	150/25*	200/25*	250/25*
	50	150/25*	200/25*	250/25*	300/25
	60	150/25*	200/40:250/25*	250/40:300/25*	350/30:400/25*
	70	200/25*	250/30:300/25*	300/40:350/25*	450/35:550/25*
	80	200/30:250/25*	250/40:300/25*	400/30:450/25*	550/60:600/35
R 90	30	150/25*	200/25*	200/50:250/25*	250/30:300/25*
	40	150/35:200/25*	200/30:250/25*	250/25*	300/25
	50	200/25*	250/25*	300/25*	350/50:400/25*
	60	200/35:250/25*	250/40:300/25*	350/35:400/25*	450/50:550/25*
	70	250/25*	300/35:350/25*	400/45:550/25*	600/40
	80	250/30:300/25*	350/35:400/25*	550/40:600/25*	(1)
R 120	30	200/25*	250/25*	250/25*	300/45:350/25
	40	250/25*	250/25*	300/25*	400/25*
	50	250/25*	300/25*	350/50:400/25*	450/50:500/25*
	60	250/25*	350/25*	450/400:500/25*	550/50
	70	250/50:300/25*	400/25*	500/60:550/25*	(1)
	80	300/25*	450/40:500/25*	600/45	(1)
R 180	30	250/25*	250/25*	350/25*	400/50:450/25*
	40	250/25*	300/30:350/25*	400/25*	450/50:500/25*
	50	250/50:300/25*	350/50:400/25*	450/40:500/25*	550/60:600/35
	60	300/40:350/25*	450/25*	550/40:600/25	(1)
	70	350/30:400/25*	500/25*	600/80	(1)
	80	400/30:450/25*	550/45:600/25*	(1)	(1)
R 240	30	250/25*	350/25*	450/25*	500/40:550/25*
	40	300/25*	400/25*	500/25*	600/25*
	50	350/25*	450/25*	550/50:600/25*	(1)
	60	400/25*	500/60:550/25*	600/80	(1)
	70	450/25*	600/25*	(1)	(1)
	80	500/25*	600/80	(1)	(1)

\* O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.

(1) Requer uma largura superior a 600 mm. É necessária uma avaliação específica da encurvadura.

Quadro C.2 – Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares de betão armado; secção rectangular e circular.  
Taxa mecânica de armadura  $\omega = 0,1$ . Momento de primeira ordem moderado:  $e = 0,25b$  com  $e \leq 100$  mm

Resistência ao fogo padrão	$\lambda$	Dimensões mínimas (mm) Largura do pilar $b_{\min}$ /distância ao eixo $a$			
		Pilar exposto em mais de um lado			
		$n = 0,15$	$n = 0,3$	$n = 0,5$	$n = 0,7$
1	2	3	4	5	6
R 30	30	150/25*	150/25*	200/30:250/25*	300/30:350/25*
	40	150/25*	150/30:200/25*	300/25*	500/40:550/25*
	50	150/25	200/40:250/25*	350/40:500/25*	550/25*
	60	150/25*	300/25*	550/25*	600/30
	70	200/25*	350/40:500/25*	550/30:600/25*	(1)
	80	250/25*	550/25*	(1)	(1)
R 60	30	150/30:200/25*	200/40:300/25*	300/40:500/25*	500/25*
	40	200/30:250/25*	300/35:350/25*	450/50:550/25*	550/40:600/25*
	50	200/40:300/25*	350/45:550/25*	550/30:600/30	600/55
	60	250/35:400/25*	450/50:550/25*	600/35	(1)
	70	300/40:500/25*	550/30:600/25*	600/80	(1)
	80	400/40:550/25*	600/30	(1)	(1)
R 90	30	200/40:250/25*	300/40:400/25*	500/50:550/25*	550/40:600/25*
	40	250/40:350/25*	350/50:550/25*	550/35:600/25*	600/50
	50	300/40:500/25*	500/60:550/25*	600/40	(1)
	60	300/50:550/25*	550/45:600/25*	(1)	(1)
	70	400/50:550/25*	600/45	(1)	(1)
	80	500/60:600/25*	(1)	(1)	(1)
R 120	30	250/50:350/25*	400/50:550/25*	550/25*	550/60:600/45
	40	300/50:500/25*	500/50:550/25*	550/50:600/25	(1)
	50	400/50:550/25*	550/50:600/25*	600/60	(1)
	60	500/50:550/25*	550/55:600/50	(1)	(1)
	70	500/60:600/25*	600/60	(1)	(1)
	80	550/50:600/25*	(1)	(1)	(1)
R 180	30	400/50:500/25*	500/60:550/25*	550/60:600/30	(1)
	40	500/50:550/25*	550/50:600/25*	600/80	(1)
	50	550/25*	600/60	(1)	(1)
	60	550/50:600/25*	600/80	(1)	(1)
	70	600/55	(1)	(1)	(1)
	80	600/70	(1)	(1)	(1)
R 240	30	500/60:550/25*	550/40:600/25*	600/75	(1)
	40	550/25*	600/60	(1)	(1)
	50	550/60:600/25*	600/80	(1)	(1)
	60	600/60	(1)	(1)	(1)
	70	600/80	(1)	(1)	(1)
	80	(1)	(1)	(1)	(1)

\* O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.

(1) Requer uma largura superior a 600 mm. É necessária uma avaliação específica da encurvadura.

Quadro C.3 – Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares de betão armado; secção rectangular e circular.  
Taxa mecânica de armadura  $\omega = 0,1$ . Momento de primeira ordem elevado:  $e = 0,5b$  com  $e \leq 200$  mm

Resistência ao fogo padrão	$\lambda$	Dimensões mínimas (mm) Largura do pilar $b_{\min}$ /distância ao eixo $a$			
		Pilar exposto em mais de um lado			
		$n = 0,15$	$n = 0,3$	$n = 0,5$	$n = 0,7$
1	2	3	4	5	6
R 30	30	150/25*	400/40:550/25*	550/25*	(1)
	40	200/25*	550/25*	550/35:600/30	(1)
	50	250/30:300/25*	550/30:600/25*	(1)	(1)
	60	300/40:550/25*	600/50	(1)	(1)
	70	400/40:550/25*	(1)	(1)	(1)
	80	550/25	(1)	(1)	(1)
R 60	30	300/35:500/25*	500/50:550/25*	550/50:600/40	(1)
	40	350/40:550/25*	550/40:600/30	(1)	(1)
	50	450/50:550/25*	550/50:600/40	(1)	(1)
	60	550/30	600/80	(1)	(1)
	70	550/35	(1)	(1)	(1)
	80	550/40	(1)	(1)	(1)
R 90	30	350/50:550/25*	550/45:600/40	600/80	(1)
	40	500/60:600/30	550/60:600/50	(1)	(1)
	50	550/40	600/80	(1)	(1)
	60	550/50:600/45	(1)	(1)	(1)
	70	550/60:600/50	(1)	(1)	(1)
	80	600/70	(1)	(1)	(1)
R 120	30	550/40:600/30	550/50	(1)	(1)
	40	550/50:600/45	600/70	(1)	(1)
	50	550/55:600/50	(1)	(1)	(1)
	60	550/60:600/50	(1)	(1)	(1)
	70	600/70	(1)	(1)	(1)
	80	(1)	(1)	(1)	(1)
R 180	30	550/50	600/80	(1)	(1)
	40	550/60	(1)	(1)	(1)
	50	600/70	(1)	(1)	(1)
	60	(1)	(1)	(1)	(1)
	70	(1)	(1)	(1)	(1)
	80	(1)	(1)	(1)	(1)
R 240	30	600/70	(1)	(1)	(1)
	40	(1)	(1)	(1)	(1)
	50	(1)	(1)	(1)	(1)
	60	(1)	(1)	(1)	(1)
	70	(1)	(1)	(1)	(1)
	80	(1)	(1)	(1)	(1)

\* O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.

(1) Requer uma largura superior a 600 mm. É necessária uma avaliação específica da encurvadura.

Quadro C.4 – Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares de betão armado; secção rectangular e circular.  
Taxa mecânica de armadura  $\omega = 0,500$ . Momento de primeira ordem baixo:  $e = 0,025b$  com  $e \geq 10$  mm

Resistência ao fogo padrão	$\lambda$	Dimensões mínimas (mm) Largura do pilar $b_{\min}$ /distância ao eixo $a$			
		Pilar exposto em mais de um lado			
		$n = 0,15$	$n = 0,3$	$n = 0,5$	$n = 0,7$
1	2	3	4	5	6
R 30	30	150/25*	150/25*	150/25*	150/25*
	40	150/25*	150/25*	150/25*	150/25*
	50	150/25*	150/25*	150/25*	200/25*
	60	150/25*	150/25*	150/25*	200/30:250/25*
	70	150/25*	150/25*	200/25*	250/25*
	80	150/25*	150/25*	200/30:250/25*	300/25*
R 60	30	150/25*	150/25*	150/30:200/25*	200/35:250/25*
	40	150/25*	150/25*	200/25*	250/30:300/25*
	50	150/25*	150/35:200/25*	200/40:250/25*	250/40:350/25*
	60	150/25*	200/30:250/25*	250/30:300/25*	300/40:450/25
	70	150/25*	200/35:250/25*	250/40:350/25*	350/45:600/25
	80	150/35:200/25*	250/30:300/25*	300/40:500/25*	450/50:600/35
R 90	30	150/25*	150/40:200/25*	200/40:250/25*	250/40:300/25*
	40	150/25*	200/35:250/25*	250/30:300/25*	300/40:400/25*
	50	150/40:200/25*	200/45:250/25*	250/45:350/25*	350/45:550/25*
	60	200/25*	250/35:300/25*	300/45:400/25*	400/50:600/35
	70	200/35:250/25*	250/45:350/25*	350/45:600/25*	550/50:600/45
	80	200/45:250/25*	250/50:400/25*	400/50:600/35	600/60
R 120	30	150/35:200/25*	200/40:250/25*	250/45:300/25*	350/45:500/25*
	40	200/25*	250/25*	300/45:350/25*	400/50:550/25*
	50	200/40:250/25*	250/45:300/25*	350/45:450/25*	450/50:600/25*
	60	200/50:250/25*	300/45:350/25*	400/50:550/25*	500/60:600/35
	70	250/35:300/25*	350/45:450/25*	500/50:600/40	600/45
	80	250/45:300/25*	400/50:550/25	500/60:600/45	600/60
R 180	30	200/45:250/25*	250/35:300/25*	350/45:400/25*	450/45:500/25*
	40	250/25*	300/45:350/25*	450/25*	500/55:600/50
	50	250/35:300/25*	350/45:400/25*	500/40:550/25	600/65
	60	300/40:350/25*	450/25*	500/60:600/55	600/80
	70	350/25*	500/40:550/25*	600/65	(1)
	80	400/30:450/25*	500/55:600/45	600/80	(1)
R 240	30	250/25*	350/25*	450/45:500/25*	550/65:600/50
	40	250/40:300/25*	400/45:450/25*	500/60:550/25*	600/75
	50	350/30:400/25*	450/50:500/25*	550/70:600/55	(1)
	60	400/35:450/25*	500/50:600/25*	600/75	(1)
	70	450/30:500/25*	550/75:600/50	(1)	(1)
	80	500/40:550/25*	600/70	(1)	(1)

\* O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.

(1) Requer uma largura superior a 600 mm. É necessária uma avaliação específica da encurvadura.

Quadro C.5 – Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares de betão armado; secção rectangular e circular.  
Taxa mecânica de armadura  $\omega = 0,500$ . Momento de primeira ordem moderado:  $e = 0,25b$  com  $e \leq 100$  mm

Resistência ao fogo padrão	$\lambda$	Dimensões mínimas (mm) Largura do pilar $b_{\min}$ /distância ao eixo $a$			
		Pilar exposto em mais de um lado			
		$n = 0,15$	$n = 0,3$	$n = 0,5$	$n = 0,7$
1	2	3	4	5	6
R 30	30	150/25*	150/25*	150/25*	200/30:250/25*
	40	150/25*	150/25*	150/25*	300/45:350/25*
	50	150/25*	150/25*	200/30:250/25*	350/40:450/25*
	60	150/25*	150/25*	250/30:300/25*	500/30:550/25*
	70	150/25*	150/35:200/25*	350/30:400/25	550/35:600/30
	80	150/25*	200/30:250/25*	400/40:500/25	600/50
R 60	30	150/25*	150/35:200/25*	250/35:350/25*	350/40:550/25
	40	150/25*	200/30:300/25*	300/35:500/25*	450/50:600/30
	50	150/30:200/25*	200/40:350/25*	300/45:550/25*	500/50:600/35
	60	150/35:200/25*	250/40:500/25*	400/45:600/30	600/45
	70	200/30:300/25*	300/40:500/25*	500/40:600/35	600/80
	80	200/35:300/25*	350/40:600/25*	550/55:600/40	(1)
R 90	30	150/35:200/25*	200/45:300/25*	300/45:550/25*	500/50:600/40
	40	200/35:250/25*	250/45:500/25*	350/50:600/25*	550/50:600/45
	50	200/40:300/25*	300/45:550/25*	500/50:600/35	600/55
	60	200/50:400/25	350/50:600/25*	550/50:600/45	(1)
	70	300/35:500/25*	400/50:600/35	600/50	(1)
	80	300/40:600/25*	500/55:600/40	600/80	(1)
R 120	30	200/45:300/25*	300/45:550/25*	450/50:600/25*	500/60:600/50
	40	200/50:350/25*	350/50:550/25*	500/50:600/40	600/55
	50	250/45:450/25*	450/50:600/25*	500/55:550/45	600/80
	60	300/50:500/25*	500/45:600/40	550/60:600/60	(1)
	70	350/50:550/25*	500/50:550/45	600/75	(1)
	80	400/50:600/25*	500/55:550/50	(1)	(1)
R 180	30	300/45:450/25*	450/50:600/25*	500/60:600/50	600/75
	40	350/50:500/25*	500/50:600/25*	600/60	(1)
	50	450/50:500/25*	500/60:600/50	600/70	(1)
	60	500/50:600/25*	550/60:600/55	(1)	(1)
	70	500/55:600/35	600/65	(1)	(1)
	80	500/60:600/55	600/75	(1)	(1)
R 240	30	450/45:500/25*	550/55:600/25	600/70	(1)
	40	450/50:550/25*	600/50	600/80	(1)
	50	500/55:600/25*	600/65	(1)	(1)
	60	550/55:600/40	600/75	(1)	(1)
	70	600/60	(1)	(1)	(1)
	80	600/70	(1)	(1)	(1)

\* O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.

(1) Requer uma largura superior a 600 mm. É necessária uma avaliação específica da encurvadura.

Quadro C.6 – Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares de betão armado; secção rectangular e circular.  
Taxa mecânica de armadura  $\omega = 0,500$ . Momento de primeira ordem elevado:  $e = 0,5b$  com  $e \leq 200$  mm

Resistência ao fogo padrão	$\lambda$	Dimensões mínimas (mm) Largura do pilar $b_{\min}$ /distância ao eixo $a$			
		Pilar exposto em mais de um lado			
		$n = 0,15$	$n = 0,3$	$n = 0,5$	$n = 0,7$
1	2	3	4	5	6
R 30	30	150/25*	150/25*	250/35:300/25*	500/40:550/25*
	40	150/25*	150/30:200/25*	300/35:450/25*	550/30
	50	150/25*	200/30:250/25*	400/40:500/25*	550/50:600/40
	60	150/25*	200/35:300/25*	450/50:550/25*	(1)
	70	150/25*	250/40:400/25*	500/40:600/30	(1)
	80	150/25*	300/40:500/25*	550/50:600/40	(1)
R 60	30	150/30:200/25*	200/40:450/25*	450/50:550/30	550/50:600/40
	40	150/35:250/25*	250/40:500/25*	500/40:550/35	600/60
	50	200/35:300/25*	300/45:550/25*	500/55:550/40	(1)
	60	200/40:500/25*	400/40:600/30	550/50:600/45	(1)
	70	200/40:550/25*	500/40:550/35	600/60	(1)
	80	250/40:600/25*	500/45:600/35	(1)	(1)
R 90	30	250/40:450/25*	300/50:500/25*	500/55:600/40	600/80
	40	200/50:500/25*	350/50:550/35	550/60:600/50	(1)
	50	250/45:550/25*	500/45:550/40	600/60	(1)
	60	250/50:550/30	500/50:550/45	600/80	(1)
	70	300/50:550/35	550/50:600/45	(1)	(1)
	80	350/50:600/35	550/60:600/50	(1)	(1)
R 120	30	250/50:550/25*	500/50:550/40	550/50	(1)
	40	300/50:600/25*	500/55:550/45	550/60:600/55	(1)
	50	400/50:550/35	500/60:600/45	600/80	(1)
	60	450/50:600/40	550/50	(1)	(1)
	70	500/50:550/45	550/60:600/55	(1)	(1)
	80	550/50:600/45	600/70	(1)	(1)
R 180	30	500/45:550/30	550/55	600/75	(1)
	40	500/50:600/40	550/60	(1)	(1)
	50	500/60:550/50	600/70	(1)	(1)
	60	550/55	600/75	(1)	(1)
	70	550/60	(1)	(1)	(1)
	80	600/60	(1)	(1)	(1)
R 240	30	550/50:600/45	600/70	(1)	(1)
	40	550/60:600/55	600/75	(1)	(1)
	50	600/65	(1)	(1)	(1)
	60	600/70	(1)	(1)	(1)
	70	600/75	(1)	(1)	(1)
	80	600/80	(1)	(1)	(1)

\* O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.

(1) Requer uma largura superior a 600 mm. É necessária uma avaliação específica da encurvadura.



Quadro C.7 – Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares de betão armado; secção rectangular e circular.  
Taxa mecânica de armadura  $\omega = 1,0$ . Momento de primeira ordem baixo:  $e = 0,025b$  com  $e \geq 10$  mm

Resistência ao fogo padrão	$\lambda$	Dimensões mínimas (mm) Largura do pilar $b_{\min}$ /distância ao eixo $a$			
		Pilar exposto em mais de um lado			
		$n = 0,15$	$n = 0,3$	$n = 0,5$	$n = 0,7$
1	2	3	4	5	6
R 30	30	150/25*	150/25*	150/25*	150/25*
	40	150/25*	150/25*	150/25*	150/25*
	50	150/25*	150/25*	150/25*	150/30:200/25*
	60	150/25*	150/25*	150/25*	200/30:250/25*
	70	150/25*	150/25*	150/30:200/25*	250/25*
	80	150/25*	150/25*	200/30:250/25*	250/30:300/25*
R 60	30	150/25*	150/25*	150/25*	200/40:300/25*
	40	150/25*	150/25*	200/30:250/25*	250/35:350/25*
	50	150/25*	150/30:200/25*	200/40:250/25*	250/40:350/25*
	60	150/25*	150/40:250/25*	250/35:300/25*	300/40:600/25*
	70	150/25*	200/35:250/25*	250/40:400/25*	350/40:450/35
	80	150/30:200/25*	200/40:300/25*	300/40:550/25*	350/45:450/40
R 90	30	150/25*	200/25*	200/40:250/25*	250/45:600/25*
	40	150/25*	200/35:250/25*	250/35:350/25*	300/45:600/30
	50	150/35:200/25*	200/40:250/25*	250/45:400/25*	350/45:600/35
	60	150/40:250/25*	250/55:300/25*	300/45:550/25*	400/50:600/40
	70	200/35:250/25*	300/35:350/25*	350/45:600/35	550/50:600/45
	80	200/40:250/25*	300/40:500/25	350/50:600/40	550/65:600/55
R 120	30	150/40:200/25*	200/45:250/25*	250/40:400/25*	400/40:600/25*
	40	200/30:250/25*	250/25*	300/45:400/25*	400/50:600/30
	50	200/40:250/25*	250/35:300/25*	350/40:550/25*	550/45:600/40
	60	200/45:250/25*	250/45:400/25*	400/50:600/25*	550/60:600/50
	70	250/25*	350/35:450/25*	550/40:600/35	600/70
	80	250/35:300/25*	350/40:550/25*	550/50:600/45	(1)
R 180	30	200/50:250/25*	300/25*	350/45:450/25*	500/50:600/45
	40	250/25*	300/45:350/25*	450/45:550/25*	550/60:600/55
	50	250/30:300/25*	350/40:450/25*	450/50:600/40	600/70
	60	250/40:350/25*	350/50:500/25*	550/55:600/50	600/80
	70	300/45:400/25*	450/45:600/35	550/70:600/65	(1)
	80	350/40:450/25*	550/50:600/40	600/75	(1)
R 240	30	250/25*	350/40:400/25*	500/40:600/25*	550/70:600/60
	40	250/40:350/25*	400/50:450/25*	500/60:600/40	600/75
	50	350/30:400/25*	450/45:550/25*	550/55:600/50	(1)
	60	350/45:450/25*	500/50:600/35	600/70	(1)
	70	400/50:500/25*	500/60:600/45	(1)	(1)
	80	450/45:550/25*	550/60:600/50	(1)	(1)

\* O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.

(1) Requer uma largura superior a 600 mm. É necessária uma avaliação específica da encurvadura.

Quadro C.8 – Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares de betão armado; secção rectangular e circular.  
Taxa mecânica de armadura  $\omega = 1,0$ . Momento de primeira ordem moderado:  $e = 0,25b$  com  $e \leq 100$  mm

Resistência ao fogo padrão	$\lambda$	Dimensões mínimas (mm) Largura do pilar $b_{\min}$ /distância ao eixo $a$			
		Pilar exposto em mais de um lado			
		$n = 0,15$	$n = 0,3$	$n = 0,5$	$n = 0,7$
1	2	3	4	5	6
R 30	30	150/25*	150/25*	150/25*	200/30:300/25
	40	150/25*	150/25*	150/25*	250/30:450/25*
	50	150/25*	150/25*	200/25*	300/35:500/25*
	60	150/25*	150/25*	200/30:250/25*	400/40:550/25*
	70	150/25*	150/25*	250/35:300/25*	500/35:600/30
	80	150/25*	150/30:250/25*	300/35:500/25*	500/60:600/35
R 60	30	150/25*	150/30:200/25*	200/40:400/25*	300/50:600/30
	40	150/25*	150/40:250/25*	250/40:500/25*	400/50:600/35
	50	150/25*	200/35:400/25*	300/40:600/25*	500/45:600/40
	60	150/30:200/25*	200/40:450/25*	400/40:600/30	550/40:600/40
	70	150/35:200/25*	240/40:550/25*	450/45:500/35	600/60
	80	200/30:250/25	300/40:550/25	500/50:600/40	600/80
R 90	30	200/25*	200/40:300/25*	250/40:550/25*	500/50:600/45
	40	200/30:250/25*	200/50:400/25*	300/50:600/35	500/60:600/50
	50	200/35:300/25*	250/50:550/25*	400/50:600/40	600/55
	60	200/40:400/25	300/45:600/25*	500/50:600/45	600/70
	70	200/45:450/25*	300/50:600/35	550/55:600/50	(1)
	80	200/50:500/25*	400/50:600/35	600/55	(1)
R 120	30	200/40:250/25	250/50:400/25*	450/45:600/30	600/60
	40	200/45:300/25*	300/40:500/25*	500/50:600/35	(1)
	50	250/40:400/25*	400/40:550/25*	550/50:600/45	(1)
	60	250/50:450/25*	400/50:500/35	600/55	(1)
	70	300/40:500/25*	500/45:600/35	(1)	(1)
	80	300/50:550/25*	500/60:600/40	(1)	(1)
R 180	30	300/35:400/25*	450/50:550/25*	500/60:600/45	(1)
	40	300/40:450/25*	500/40:600/30	550/65:600/60	(1)
	50	400/40:500/25*	500/45:600/35	600/75	(1)
	60	400/45:550/25*	500/55:600/45	(1)	(1)
	70	400/50:600/30	500/65:600/50	(1)	(1)
	80	500/45:600/35	600/70	(1)	(1)
R 240	30	400/45:500/25*	500/40:600/30	600/60	(1)
	40	450/45:550/25*	500/55:600/40	600/80	(1)
	50	450/50:600/25*	500/65:600/45	(1)	(1)
	60	500/45:600/35	550/70:600/55	(1)	(1)
	70	500/50:600/40	600/75	(1)	(1)
	80	500/60:600/45	(1)	(1)	(1)

\* O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.

(1) Requer uma largura superior a 600 mm. É necessária uma avaliação específica da encurvadura.

Quadro C.9 – Dimensões mínimas e distâncias ao eixo para pilares de betão armado; secção rectangular e circular.  
Taxa mecânica de armadura  $\omega = 1,0$ . Momento de primeira ordem elevado:  $e = 0,5b$  com  $e \leq 200$  mm

Resistência ao fogo padrão	$\lambda$	Dimensões mínimas (mm) Largura do pilar $b_{\min}$ /distância ao eixo $a$			
		Pilar exposto em mais de um lado			
		$n = 0,15$	$n = 0,3$	$n = 0,5$	$n = 0,7$
1	2	3	4	5	6
R 30	30	150/25*	150/25*	200/30:300/25*	500/30:550/25
	40	150/25*	150/25*	250/30:450/25*	500/40:600/30
	50	150/25*	150/30:200/25*	300/35:500/25*	550/35
	60	150/25*	200/30:250/25*	350/40:500/25*	550/50
	70	150/25*	200/30:300/25*	450/50:550/25*	(1)
	80	150/25*	250/30:350/25*	500/35:600/30	(1)
R 60	30	150/25*	200/35:450/25*	350/40:600/30	550/45:600/40
	40	150/30:200/25*	200/40:500/25*	450/50:500/35	600/60
	50	150/35:250/25*	250/40:550/25*	500/40:600/35	600/80
	60	200/30:350/25*	300/40:600/25*	500/50:600/40	(1)
	70	250/30:450/25*	350/40:600/30	550/50:600/45	(1)
	80	250/55:500/25*	450/40:500/35	600/70	(1)
R 90	30	200/35:300/25*	250/50:550/25*	500/50:600/40	600/70
	40	200/40:450/25*	300/50:600/30	500/55:600/45	(1)
	50	200/45:500/25*	350/50:600/35	550/50	(1)
	60	200/50:550/25*	450/50:600/40	600/60	(1)
	70	250/45:600/30	500/50:600/45	600/80	(1)
	80	250/50:500/35	500/55:600/45	(1)	(1)
R 120	30	200/50:450/25*	450/45:600/25*	550/55:600/50	(1)
	40	250/50:500/25*	500/40:600/30	600/65	(1)
	50	300/40:550/25*	500/50:600/35	(1)	(1)
	60	350/45:550/25*	500/60:600/40	(1)	(1)
	70	450/40:600/30	550/60:600/50	(1)	(1)
	80	450/45:600/30	600/65	(1)	(1)
R 180	30	350/45:550/25*	500/45:600/40	600/80	(1)
	40	450/45:600/30	500/60:600/45	(1)	(1)
	50	450/50:600/35	500/70:600/55	(1)	(1)
	60	500/45:600/40	550/70:600/65	(1)	(1)
	70	500/50:600/40	600/75	(1)	(1)
	80	500/55:600/45	(1)	(1)	(1)
R 240	30	500/40:600/35	550/55:600/50	(1)	(1)
	40	500/50:600/40	550/65:600/55	(1)	(1)
	50	500/55:600/45	600/70	(1)	(1)
	60	500/60:600/45	(1)	(1)	(1)
	70	500/70:600/50	(1)	(1)	(1)
	80	550/60:600/55	(1)	(1)	(1)

\* O recobrimento especificado na EN 1992-1-1 é, em geral, condicionante.

(1) Requer uma largura superior a 600 mm. É necessária uma avaliação específica da encurvadura.

## Anexo D

(informativo)

### Métodos de cálculo para o esforço transversal, a torção e a amarração das armaduras

**NOTA:** As roturas por esforço transversal devidas ao fogo são raras. Os métodos de cálculo indicados neste Anexo não estão, no entanto, totalmente verificados.

#### D.1 Regras gerais

(1) A capacidade resistente ao esforço transversal e à torção e a resistência da amarração das armaduras poderão ser calculadas de acordo com os métodos indicados na EN 1992-1-1, utilizando valores reduzidos das propriedades dos materiais e um pré-esforço reduzido para cada parte da secção transversal.

(2) Quando se utiliza o método de cálculo simplificado referido em 4.2, poderá aplicar-se directamente à secção transversal reduzida o disposto na EN 1992-1-1.

(3) Quando se utiliza o método de cálculo simplificado referido em 4.2, no caso de não existir armadura de esforço transversal ou se a capacidade resistente ao esforço transversal depender principalmente do valor reduzido da tensão de rotura do betão à tracção, é necessário considerar o comportamento real ao esforço transversal do betão a temperaturas elevadas.

Na ausência de informações mais precisas sobre a redução da tensão de rotura do betão à tracção, poderão aplicar-se os valores de  $k_{ct}(\theta)$  indicados na Figura 3.2.

(4) Quando se utiliza o método de cálculo simplificado de 4.2 em elementos para os quais a capacidade resistente ao esforço transversal depende da tensão de rotura à tracção, deverá prestar-se especial atenção quando tensões de tracção são induzidas por distribuições não lineares de temperatura (por exemplo, lajes aligeiradas, vigas espessas, etc.). Deverá considerar-se uma redução da resistência ao esforço transversal devida ao aumento das tensões de tracção.

#### D.2 Armaduras de esforço transversal e de torção

(1) Para a avaliação da resistência a acções normais (axiais e de flexão), o perfil de temperatura poderá ser determinado sem ter em conta o aço e atribuindo à armadura a temperatura do betão no mesmo ponto.

(2) Esta aproximação é aceitável para as armaduras longitudinais, mas não é rigorosamente verdadeira para os estribos (ver a Figura D.1). Os estribos atravessam zonas com diferentes temperaturas (geralmente os cantos e a base de uma viga são mais quentes do que a face superior) e distribuem o calor da zona mais quente para a mais fria. Por este motivo, a temperatura de um estribo é inferior à do betão envolvente e tende a tornar-se uniforme ao longo de todo o seu comprimento.

(3) Mesmo desprezando este pequeno efeito favorável, o estribo não se deforma uniformemente ao longo do seu comprimento; o facto é que a tensão máxima ocorre na proximidade de uma fenda de esforço transversal ou de torção. Torna-se, portanto, necessário definir uma temperatura de referência avaliada numa localização significativa na secção transversal.

(4) Com base nesta temperatura de referência, a resistência ao esforço transversal ou à torção numa situação de incêndio é determinada da forma seguinte.

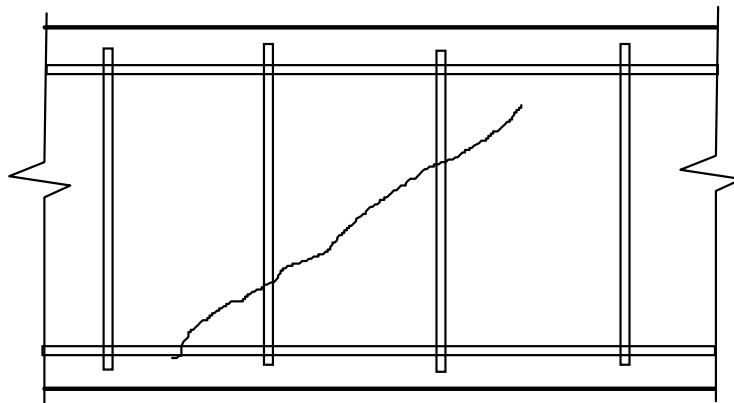
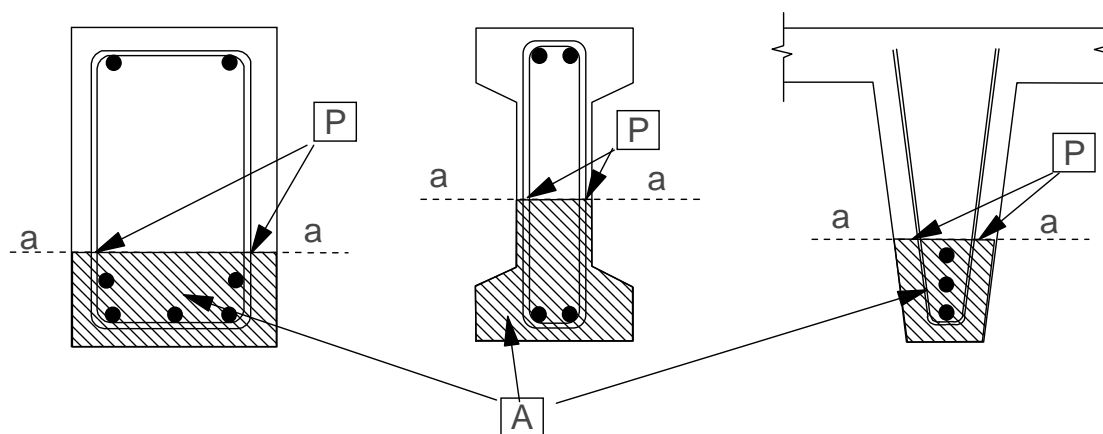


Figura D.1 – Fendas de esforço transversal cruzam os estribos em vários níveis acima da armadura de flexão

### D.3 Método de cálculo para a avaliação da resistência ao esforço transversal de uma secção de betão armado

- (1) Calcular a geometria reduzida da secção transversal como indicado em B.1 ou B.2.
- (2) Determinar a resistência residual do betão à compressão como indicado em B.1 ou B.2 (resistência total  $f_{cd,fi} = f_{cd,fi}(20)$  no interior da isotérmica de 500 °C quando se aplica o método da isotérmica de 500 °C ou resistência reduzida,  $f_{cd,fi} = k_c(\theta_M) f_{cd,fi}(20)$ , quando se aplica o método das zonas).
- (3) Determinar a tensão de rotura residual do betão à tracção como indicado em B.1 ou B.2 (resistência total  $f_{ctd,fi} = f_{ctd,fi}(20)$  no interior da isotérmica de 500 °C quando se aplica o método da isotérmica de 500 °C ou resistência reduzida,  $f_{ctd,fi} = k_{ct}(\theta_M) f_{ctd,fi}(20)$ , quando se aplica o método das zonas). Os valores de  $k_{c,i}(\theta)$  são indicados na Figura 3.2.
- (4) Determinar a área da secção efectiva de betão traccionado (ver a EN 1992-1-1, secção 7) delimitada na sua parte superior pela secção a-a (ver a Figura D.2).
- (5) Determinar a temperatura de referência,  $\theta_P$ , nos estribos como a temperatura no ponto P (intersecção da secção a-a com os estribos), como representado na Figura D.2. A temperatura do aço poderá ser calculada por meio de um programa de computador ou utilizando perfis de temperatura (como indicado no Anexo A).
- (6) A redução da resistência de cálculo do aço nos estribos deverá ser considerada em relação à temperatura de referência,  $f_{sd,fi} = k_s(\theta) f_{sd}(20)$ .
- (7) Os métodos de cálculo e de verificação do esforço transversal, indicados na EN 1992-1-1, poderão aplicar-se directamente à secção transversal reduzida utilizando a resistência reduzida do aço e do betão como acima indicado.



**A** Área de tracção efectiva

Figura D.2 – A temperatura de referência,  $\theta_P$ , deverá ser avaliada nos pontos P ao longo da linha 'a-a' para o cálculo da resistência ao esforço transversal. A secção efectiva de tracção poderá obter-se a partir da EN 1992-1-1 (estado limite de utilização de fendilhação)

#### D.4 Método de cálculo para a avaliação da resistência à torção de uma secção de betão armado

(1) Aplicar as regras (1) a (3) da secção D.3.

(2) Determinar a temperatura de referência,  $\theta_P$ , nos estribos como a temperatura no ponto P (intersecção do segmento 'a-a' com os estribos), como representado na Figura D.3. A temperatura do aço poderá ser calculada por meio de um programa de computador ou utilizando perfis de temperatura (como indicado no Anexo A).

(3) A redução da resistência de cálculo do aço nos estribos deverá ser considerada em relação à temperatura de referência,  $f_{sd,fi} = k_s(\theta) f_{sd}(20)$ .

(4) Os métodos de cálculo e de verificação da torção, indicados na EN 1992-1-1, poderão aplicar-se directamente à secção transversal reduzida utilizando a resistência reduzida do aço e do betão como acima descrito.

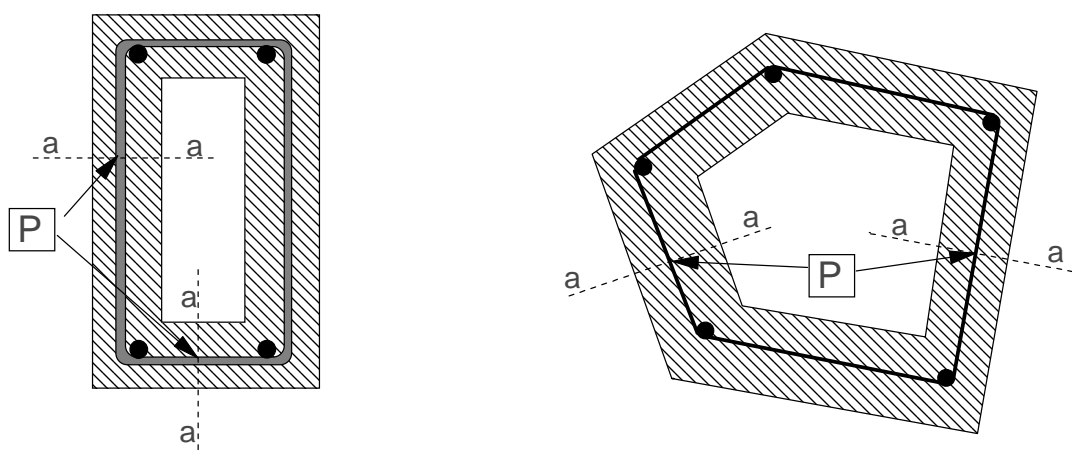


Figura D.3 – A temperatura de referência,  $\theta_P$ , deverá ser avaliada nos pontos P ao longo da linha 'a-a' para o cálculo da resistência à torção

## Anexo E (informativo)

### Método de cálculo simplificado para vigas e lajes

#### E.1 Generalidades

(1) Este método simplificado aplica-se unicamente quando as cargas são predominantemente uniformemente distribuídas e o cálculo à temperatura normal se baseou numa análise linear ou numa análise linear com redistribuição limitada, como indicado na secção 5 da EN 1992-1-1.

**NOTA:** O método pode ser aplicado para vigas contínuas ou lajes em que a redistribuição de momentos seja superior a 15 %, se a capacidade de rotação nos apoios for suficiente para as condições especificadas de exposição ao fogo.

(2) Este método de cálculo simplificado permite alargar a utilização do método dos valores tabelados para vigas expostas em três lados e lajes, ver os Quadros 5.5 a 5.11. Permite determinar a influência na resistência à flexão de uma distância ao eixo,  $a$ , da armadura inferior, inferior à indicada nos quadros.

As dimensões mínimas da secção transversal ( $b_{\min}$ ,  $b_w$ ,  $h_s$ ), indicadas nos Quadros 5.5 a 5.11, não deverão ser reduzidas.

Este método utiliza os coeficientes de redução da resistência indicados na Figura 5.1.

(3) Este método simplificado poderá ser utilizado para justificar uma redução da distância ao eixo  $a$ . Caso não seja utilizado, deverão aplicar-se as regras indicadas em 5.6 e 5.7. Este método não é válido para vigas contínuas para as quais, nas zonas de momentos negativos, a largura  $b_{\min}$  ou  $b_w$  é inferior a 200 mm e a altura  $h_s$  é inferior a  $2b$ , em que  $b_{\min}$  é o valor indicado na coluna 5 do Quadro 5.5.

#### E.2 Vigas e lajes simplesmente apoiadas

(1) Deverá verificar-se que:

$$M_{Ed,fi} \leq M_{Rd,fi} \quad (E.1)$$

(2) A carga em situação de incêndio deverá ser determinada com base na EN 1991-1-2.

(3) O momento máximo de cálculo em situação de incêndio,  $M_{Ed,fi}$ , para cargas predominantemente uniformemente distribuídas poderá calcular-se pela expressão (E.2):

$$M_{Ed,fi} = w_{Ed,fi} l_{eff}^2 / 8 \quad (E.2)$$

em que:

$w_{Ed,fi}$  carga uniformemente distribuída (kN/m) em situação de incêndio;

$l_{eff}$  comprimento efectivo da viga ou da laje.

(4) O valor de cálculo do momento resistente em situação de incêndio,  $M_{Rd,fi}$ , poderá calcular-se pela expressão (E.3):

$$M_{Rd,fi} = (\gamma_s / \gamma_{s,fi}) \times k_s(\theta) \times M_{Ed} (A_{s,prov} / A_{s,req}) \quad (E.3)$$

em que:

- $\gamma_s$  coeficiente parcial relativo às propriedades do aço das armaduras, como definido na EN 1992-1-1;
- $\gamma_{s,fi}$  coeficiente parcial relativo às propriedades do aço das armaduras em situação de incêndio;
- $k_s(\theta)$  coeficiente de redução da resistência do aço para a temperatura  $\theta$  fornecida para a resistência ao fogo requerida.  $\theta$  poderá ser obtido no Anexo A para a distância ao eixo seleccionada;
- $M_{Ed}$  valor de cálculo do momento actuante para o cálculo à temperatura normal de acordo com a EN 1992-1-1;
- $A_{s,prov}$  área da secção de aço traccionado adoptada;
- $A_{s,req}$  área da secção de aço traccionado necessária para o cálculo à temperatura normal de acordo com a EN 1992-1-1.

Nos cálculos,  $A_{s,prov}/A_{s,req}$  não deverá ser superior a 1,3.

### **E.3 Vigas e lajes contínuas**

(1) Deverá ser assegurado, nas condições do incêndio de cálculo, o equilíbrio estático de momentos flectores e de esforços transversos na totalidade do comprimento das vigas e das lajes contínuas.

(2) Para efeitos da verificação do equilíbrio no cálculo ao fogo, é permitida a redistribuição de momentos do vão para os apoios desde que exista área de armadura nos apoios suficiente para equilibrar o carregamento em situação de incêndio. Esta armadura deverá ser prolongada no vão numa extensão suficiente para assegurar, com segurança, uma envolvente dos momentos flectores.

(3) O valor de cálculo do momento resistente em situação de incêndio,  $M_{Rd,fi,Span}$ , na secção de momento máximo positivo deverá ser calculado de acordo com E.2(4). O momento máximo livre em situação de incêndio correspondente à carga uniformemente distribuída,  $M_{Ed,fi} = w_{Ed,fi} l_{eff}^2 / 8$ , deverá ser ajustado ao momento resistente de tal modo que os momentos nos apoios,  $M_{Rd1,fi}$  e  $M_{Rd2,fi}$ , garantam o equilíbrio como representado na Figura E.1. Tal poderá ser efectuado fixando, primeiro o valor do momento num dos apoios como sendo igual ou inferior ao momento resistente na secção desse apoio (calculado utilizando a expressão (E.4)) e calculando, depois, o momento necessário no outro apoio.

(4) Na ausência de cálculos mais rigorosos, o momento resistente nos apoios para o cálculo em situação de incêndio poderá ser obtido pela expressão (E.4):

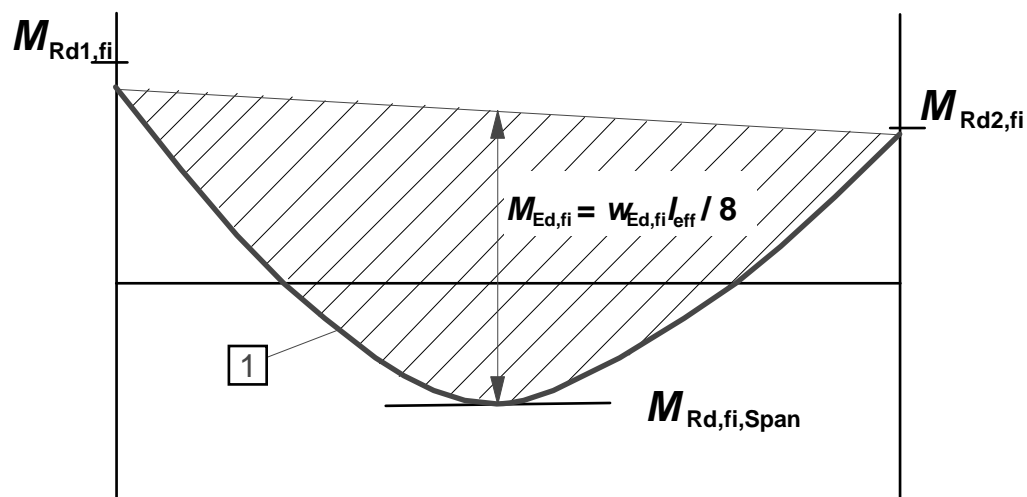
$$M_{Rd,fi} = (\gamma_s / \gamma_{s,fi}) M_{Ed} (A_{s,prov} / A_{s,req}) (d-a)/d \quad (E.4)$$

em que:

- $\gamma_s$ ,  $\gamma_{s,fi}$ ,  $M_{Ed}$ ,  $A_{s,prov}$ ,  $A_{s,req}$  como definidos em E.2;
- $a$  distância média ao eixo requerida, indicada no Quadro 5.5, coluna 5, para vigas e no Quadro 5.8, coluna 3, para lajes;
- $d$  altura útil da secção.

Nos cálculos,  $A_{s,prov}/A_{s,req}$  não deverá ser superior a 1,3.





1 Diagrama de momentos livres para uma carga uniformemente distribuída em situação de incêndio

Figura E.1 – Posicionamento do diagrama de momentos flectores livres,  $M_{Ed,fi}$ , para estabelecer o equilíbrio<sup>\*)</sup>

(5) A expressão (E.4) é válida para uma temperatura da armadura superior nos apoios, não superior a 350 °C para varões para betão armado e a 100 °C para armaduras de pré-esforço.

Para temperaturas mais elevadas,  $M_{Rd,fi}$  deverá ser reduzido por  $k_s(\theta_{cr})$  ou por  $k_p(\theta_{cr})$ , de acordo com a Figura 5.1.

(6) O comprimento de amarração,  $l_{bd,fi}$ , necessário em situação de incêndio deverá ser verificado. Poderá ser calculado pela expressão (E.5):

$$l_{bd,fi} = (\gamma_s / \gamma_{s,fi}) (\gamma_{c,fi} / \gamma_c) \cdot l_{bd} \quad (E.5)$$

em que  $l_{bd}$  é indicado na secção 8 da EN 1992-1-1.

Os varões deverão prolongar-se para além do apoio até uma distância igual a  $l_{bd,fi}$ , medida a partir da secção de momento nulo e calculada como definido em E.3(3).

<sup>\*)</sup> Nesta Figura, consta da EN 1992-1-2 a expressão  $M_{Ed,fi} = W_{Ed,fi} l_{eff} / 8$ ; ; considera-se que é um lapso, devendo constar a expressão  $M_{Ed,fi} = W_{Ed,fi} l_{eff}^2 / 8$  (nota nacional).

## **Anexo Nacional NA**

### **Introdução**

O presente Anexo Nacional foi elaborado no âmbito da actividade da Comissão Técnica Portuguesa de Normalização CT 115 – Eurocódigos Estruturais, cuja coordenação é assegurada pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) na sua qualidade de Organismo de Normalização Sectorial (ONS) no domínio dos Eurocódigos Estruturais.

A inclusão de um Anexo Nacional na NP EN 1992-1-2:2010 decorre do disposto no Preâmbulo desta Norma.

### **NA.1 – Objectivo e campo de aplicação**

Este Anexo Nacional estabelece as condições para a implementação, em Portugal, da NP EN 1992-1-2:2010 – “Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão – Parte 1-2: Regras gerais – Verificação da resistência ao fogo”, as quais se referem aos seguintes aspectos:

- a) Parâmetros Determinados a nível Nacional (NDP);
- b) utilização dos Anexos informativos;
- c) informações complementares não contraditórias.

### **NA.2 – Parâmetros Determinados a nível Nacional (NDP)**

#### **NA.2.1 – Generalidades**

Os Parâmetros Determinados a nível Nacional (NDP) relativos aos Princípios e às Regras de Aplicação onde são permitidas opções nacionais são estabelecidos no Preâmbulo da presente Norma.

Nas secções NA.2.2 e NA.2.3 referem-se, respectivamente, os Princípios e Regras de Aplicação sem prescrições a nível nacional e com prescrições a nível nacional. As prescrições a nível nacional, indicadas na secção NA.2.3, são referenciadas do mesmo modo que no corpo da Norma mas precedidas de “NA–”.

#### **NA.2.2 – Princípios e Regras de Aplicação sem prescrições a nível nacional**

Relativamente a:

- 2.1.3(2)
- 2.3(2)P
- 4.5.1(2)
- 5.2(3)
- 5.3.2(2)
- 6.4.2.1(3)
- 6.4.2.2(2)

prescinde-se de introduzir prescrições a nível nacional, devendo adoptar-se as correspondentes prescrições constantes desta Norma e, se tal for o caso, os procedimentos ou os valores aí recomendados.

### **NA.2.3 – Princípios e Regras de Aplicação com prescrições a nível nacional**

#### **a) NA-3.2.3(5)**

Para efeitos da caracterização das propriedades de resistência e de deformação do aço para betão armado deverá considerar-se a Classe N a que se refere o Quadro 3.2a.

#### **b) NA-3.2.4(2)**

Para efeitos da caracterização das propriedades de resistência e de deformação do aço de pré-esforço deverá considerar-se a Classe A.

#### **c) NA-3.3.3(1)**

A condutibilidade térmica  $\lambda_c$  do betão pode ser definida a partir de informação rigorosa obtida com base experimental.

Para betões de massa volúmica normal e para betões de alta resistência pode adoptar-se o limite superior indicado em 3.3.3(2).

Para betões leves pode adoptar-se o limite inferior indicado em 3.3.3(2).

Importa referir que os perfis de temperatura do Anexo A foram obtidos para o limite inferior de  $\lambda_c$ .

#### **d) NA-4.1(1)P**

A utilização de modelos de cálculo avançados é permitida, desde que devidamente validados e justificados, nomeadamente no que se refere aos parâmetros adoptados, ao método de cálculo utilizado e a eventuais comparações com outros modelos.

#### **e) NA-5.6.1(1)**

A espessura da alma de vigas de betão armado ou pré-esforçado deve ser a indicada pela Classe WA nos Quadros 5.5 e 5.6.

#### **f) NA-5.7.3(2)**

Não são fornecidas regras adicionais relativas à capacidade de rotação nos apoios de lajes maciças contínuas.

#### **g) NA-6.1(5)**

Para avaliação da redução da resistência a temperaturas elevadas de betões de alta resistência devem ser usadas as classes recomendadas. Contudo, podem ser utilizados valores alternativos da redução da resistência a temperaturas elevadas, desde que devidamente comprovados experimentalmente.

#### **h) NA-6.2(2)**

Para minimizar o efeito do destacamento da camada de recobrimento do betão directamente exposto ao fogo poderá adoptar-se qualquer dos métodos A a D. No entanto, a adopção dos métodos B ou C requer uma comprovação experimental da eficácia dessas opções.

**i) NA-6.3.1(1)**

Para o valor da condutibilidade térmica do betão de alta resistência poderá adoptar-se o limite superior definido em 3.3.3(2).

### **NA.3 – Utilização dos Anexos informativos**

Em Portugal, os Anexos A, B, C, D e E mantêm o carácter informativo.

### **NA.4 – Informações complementares**

#### **NA.4.1 – Objectivo**

Na secção NA.4 são fornecidas informações complementares não contraditórias com as prescrições da presente Norma, visando auxiliar a aplicação desta Norma.

#### **NA.4.2 – Informações gerais**

##### **a) Requisitos de segurança contra incêndio das construções**

Os requisitos de segurança ao fogo das estruturas de edifícios são especificados na legislação nacional em vigor. Para as outras construções, deverá o dono de obra ou o projectista estabelecer esses requisitos, tendo em conta o risco de incêndio e a informação disponível em literatura técnica idónea.

##### **b) Segurança ao fogo da estrutura de um edifício**

A segurança ao fogo da estrutura de um edifício depende da concepção, dimensionamento e pormenorização. Se a exigência da resistência ao fogo for elevada e se se adoptarem métodos simplificados associados à abordagem prescritiva de verificação individualizada de cada elemento, é importante evitar que a solução estrutural adoptada crie fortes restrições à deformação imposta pela acção do fogo.

##### **c) Adopção de modelos de cálculo avançados**

Se se adoptarem modelos de cálculo avançados e simulação de incêndio natural, as relações tensões-extensões do betão não deverão ser as indicadas na Figura 3.1 da secção 3.2.2.1 mas as indicadas no Anexo C da NP EN 1994-1-2, tendo em conta a fase de arrefecimento.

### **NA.5 – Correspondência entre as normas europeias referidas na presente Norma e as normas nacionais**

<b>Norma europeia</b>	<b>Norma nacional</b>	<b>Título</b>
EN 1990:2002	NP EN 1990:2009	<i>Eurocódigo – Bases para o projecto de estruturas</i>
EN 1991-1-1:2002	NP EN 1991-1-1:2009	<i>Eurocódigo 1 – Acções em estruturas – Parte 1-1: Acções gerais – Pesos volúmicos, pesos próprios, sobrecargas em edifícios</i>
EN 1991-1-2:2002	NP EN 1991-1-2:2010	<i>Eurocódigo 1 – Acções em estruturas – Parte 1-2: Acções gerais – Acções em estruturas expostas ao fogo</i>

<b>Norma europeia</b>	<b>Norma nacional</b>	<b>Título</b>
EN 1991-1-3:2003	NP EN 1991-1-3:2009	<i>Eurocódigo 1 – Acções em estruturas – Parte 1-3: Acções gerais – Acções da neve</i>
EN 1991-1-4:2005	NP EN 1991-1-4:2010	<i>Eurocódigo 1 – Acções em estruturas – Parte 1-4: Acções gerais – Acções do vento</i>
EN 1991-1-5:2003	NP EN 1991-1-5:2009	<i>Eurocódigo 1 – Acções em estruturas – Parte 1-5: Acções gerais – Acções térmicas</i>
EN 1992-1-1:2004	NP EN 1992-1-1:2010	<i>Eurocódigo 2 – Projecto de estruturas de betão – Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios</i>
EN 1998-1:2004	NP EN 1998-1:2010	<i>Eurocódigo 8 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos – Parte 1: Regras gerais, acções sísmicas e regras para edifícios</i>
EN 1998-5:2004	NP EN 1998-5:2010	<i>Eurocódigo 8 – Projecto de estruturas para resistência aos sismos – Parte 5: Fundações, estruturas de suporte e aspectos geotécnicos</i>
ENV 13670-1:2000 <sup>*)</sup>	NP ENV 13670-1:2007 <sup>**)</sup>	<i>Execução de estruturas em betão – Parte 1: Regras gerais</i>

<sup>\*)</sup> À data da edição desta Norma já foi publicada a EN 13670:2009.

<sup>\*\*)</sup> Em elaboração a NP EN 13670.