

Norma Portuguesa

NP
EN 1993-1-2
2010

Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço **Parte 1-2: Regras gerais** **Verificação da resistência ao fogo**

Eurocode 3 – Calcul des structures en acier
Partie 1-2: Règles générales
Calcul du comportement au feu

Eurocode 3 – Design of steel structures
Part 1-2: General rules
Structural fire design

ICS
13.220.50; 91.010.30; 91.080.10

DESCRIPTORES
Eurocódigos; aços; estruturas de aço; edifícios; construção de aço; aços de construção; ensaios de resistência ao fogo; segurança contra incêndios; resistência dos materiais; aços inoxidáveis; segurança contra incêndios em edifícios

CORRESPONDÊNCIA
Versão portuguesa da EN 1993-1-2:2005 + AC:2009

HOMOLOGAÇÃO
Termo de Homologação n.º 51/2010, de 2010-03-11
A presente Norma resulta da revisão da
NP ENV 1993-1-2:2000

ELABORAÇÃO
CT 115 (LNEC)

EDIÇÃO
Março de 2010

CÓDIGO DE PREÇO
XEC022

© 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 Internet: www.ipq.pt

Preâmbulo nacional

À Norma Europeia EN 1993-1-2:2005, foi dado estatuto de Norma Portuguesa em 2005-08-16 (Termo de Adopção nº 1158/2005, de 2005-08-16).

A presente Norma substitui a NP ENV 1993-1-2:2000 e constitui a versão portuguesa da EN 1993-1-2:2005 + AC:2009, a qual faz parte de um conjunto de normas integrantes do Eurocódigo 3: Projecto de estruturas de aço.

Esta Norma constitui a Parte 1-2 do Eurocódigo 3 e trata do projecto de estruturas de aço 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 3 – Projecto de estruturas de aço
Parte 1-2: Regras gerais
Verificação da resistência ao fogo

Eurocode 3 – Bemessung und
Konstruktion von Stahlbauten
Teil 1-2: Allgemeine Regeln
Tragwerksbemessung für den
Brandfall

Eurocode 3 – Calcul des
structures en acier
Partie 1-2: Règles générales
Calcul du comportement au
feu

Eurocode 3 – Design of steel
structures
Part 1-2: General rules
Structural fire design

A presente Norma é a versão portuguesa da Norma Europeia EN 1993-1-2:2005 + AC:2009 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 2004-04-23 e 2009-03-18, 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

Sumário	Página
Preâmbulo nacional	2
Preâmbulo	8
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 1993-1-2.....	10
Anexo Nacional da EN 1993-1-2	12
1 Generalidades	14
1.1 Objectivo e campo de aplicação	14
1.1.1 Objectivo e campo de aplicação do Eurocódigo 3.....	14
1.1.2 Objectivo e campo de aplicação da Parte 1-2 do Eurocódigo 3	14
1.2 Referências normativas.....	15
1.3 Pressupostos.....	16
1.4 Distinção entre Princípios e Regras de Aplicação	16
1.5 Termos e definições.....	16
1.5.1 Termos específicos relativos ao projecto em geral.....	16
1.5.2 Termos relacionados com as acções térmicas.....	16
1.5.3 Termos relativos aos materiais e aos produtos	16
1.5.4 Termos relacionados com a análise da transferência de calor	17
1.5.5 Termos relacionados com a análise do comportamento mecânico.....	17
1.6 Símbolos	17
2 Bases para o projecto	22
2.1 Requisitos	22
2.1.1 Requisitos gerais.....	22
2.1.2 Curvas de incêndio nominais.....	22
2.1.3 Curvas de incêndio paramétricas	22
2.2 Acções	22
2.3 Valores de cálculo das propriedades dos materiais	22
2.4 Métodos de verificação.....	23
2.4.1 Generalidades	23
2.4.2 Análise por elementos	24

2.4.3 Análise de parte da estrutura	25
2.4.4 Análise estrutural global.....	26
3 Propriedades dos materiais	26
3.1 Generalidades	26
3.2 Propriedades mecânicas dos aços carbono	26
3.2.1 Propriedades de resistência e de deformação	26
3.2.2 Massa específica.....	26
3.3 Propriedades mecânicas dos aços inoxidáveis	29
3.4 Propriedades térmicas.....	29
3.4.1 Aços carbono.....	29
3.4.2 Aços inoxidáveis	32
3.4.3 Materiais de protecção contra incêndio	32
4 Verificação da resistência ao fogo	32
4.1 Generalidades	32
4.2 Modelos de cálculo simplificados	33
4.2.1 Generalidades	33
4.2.2 Classificação das secções transversais	34
4.2.3 Resistência.....	34
4.2.4 Temperatura crítica.....	42
4.2.5 Desenvolvimento da temperatura no aço	43
4.3 Modelos de cálculo avançados	49
4.3.1 Generalidades	49
4.3.2 Resposta térmica.....	49
4.3.3 Resposta mecânica	49
4.3.4 Validação dos modelos de cálculo avançados.....	50
Anexo A (normativo) Endurecimento do aço carbono a temperaturas elevadas	51
Anexo B (normativo) Transferência de calor para estruturas de aço exteriores.....	53
B.1 Generalidades	53
B.1.1 Bases.....	53
B.1.2 Convenções para as dimensões.....	53
B.1.3 Balanço de calor	53
B.1.4 Factores de vista globais.....	55
B.2 Coluna não envolvida pelas chamas	56
B.2.1 Transferência de calor por radiação.....	56

B.2.2 Emissividade das chamas.....	57
B.2.3 Temperatura das chamas.....	61
B.2.4 Absortividade das chamas.....	62
B.3 Viga não envolvida pelas chamas	62
B.3.1 Transferência de calor por radiação	62
B.3.2 Emissividade das chamas.....	64
B.3.3 Temperatura das chamas	65
B.3.4 Absortividade das chamas.....	65
B.4 Coluna envolvida pelas chamas	65
B.5 Viga total ou parcialmente envolvida pelas chamas	67
B.5.1 Transferência de calor por radiação	67
B.5.2 Emissividade das chamas.....	70
B.5.3 Absortividade das chamas.....	70
Anexo C (informativo) Aço inoxidável.....	71
C.1 Generalidades.....	71
C.2 Propriedades mecânicas do aço.....	71
C.2.1 Propriedades de resistência e de deformação.....	71
C.2.2 Massa específica	72
C.3 Propriedades térmicas	77
C.3.1 Extensão térmica.....	77
C.3.2 Calor específico	77
C.3.3 Condutibilidade térmica.....	78
Anexo D (informativo) Ligações	79
D.1 Ligações aparafusadas	79
D.1.1 Resistência de cálculo dos parafusos ao corte	79
D.1.2 Resistência de cálculo dos parafusos em tracção.....	80
D.2 Resistência de cálculo das soldaduras	80
D.2.1 Soldaduras de topo.....	80
D.2.2 Soldaduras de ângulo	81
D.3 Temperatura das ligações em situação de incêndio	81
D.3.1 Generalidades	81
Anexo E (informativo) Secções transversais da Classe 4.....	83
E.1 Modelos de cálculo avançados.....	83
E.2 Modelos de cálculo simplificados	83

Anexo Nacional NA	85
Introdução.....	85
NA.1 – Objectivo e campo de aplicação.....	85
NA.2 – Parâmetros Determinados a nível Nacional (NDP)	85
NA.2.1 – Generalidades	85
NA.2.2 – Regras de Aplicação sem prescrições a nível nacional.....	85
NA.2.3 – Regras de Aplicação com prescrições a nível nacional	85
NA.3 – Utilização dos Anexos informativos	86
NA.4 – Informações complementares.....	86
NA.4.1 – Objectivo	86
NA.4.2 – Informações gerais.....	86
NA.4.3 – Informações específicas.....	86
NA.5 – Correspondência entre as normas europeias referidas na presente Norma e as normas nacionais.....	87

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 Outubro de 2005, e as normas nacionais divergentes devem ser anuladas o mais tardar em Março de 2010.

A presente Norma substitui a ENV 1993-1-2.

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 acordo¹⁾ 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, *de facto*, ligou 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
EN 1995	Eurocódigo 5:	Projecto de estruturas de madeira

¹⁾ 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 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 interpretativos²⁾ referidos no artigo 12º da DPC, embora sejam de natureza diferente das normas harmonizadas relativas aos produtos³⁾. 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.

²⁾ 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).

³⁾ 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.

Poderá ainda conter:

- 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 obras⁴⁾. 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 1993-1-2

A presente Norma define os princípios, os requisitos e as regras para o projecto estrutural de edifícios de aço 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 propagação do fogo e do fumo no interior da construção sejam limitadas;

⁴⁾ 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.

- a propagação do fogo às construções vizinhas seja limitada;
- 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.

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.

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.

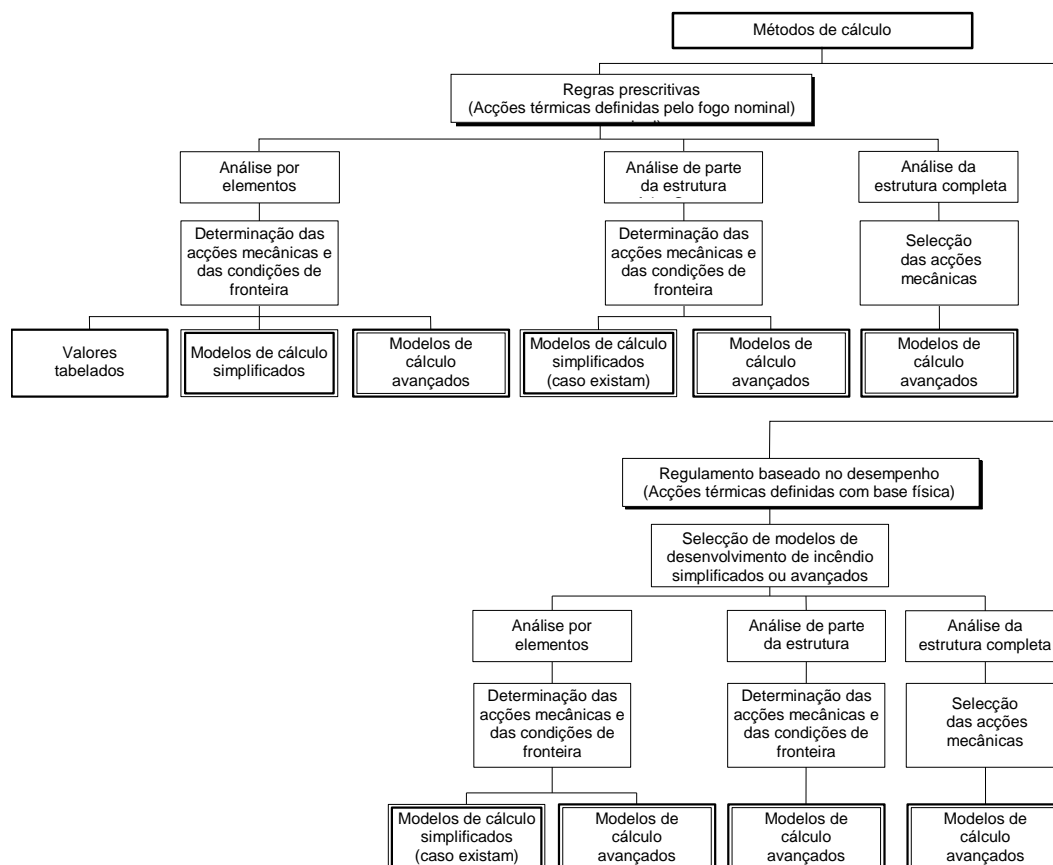


Figura 1 – Métodos de cálculo

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 normativos, inclui a maioria dos principais conceitos e regras necessários ao cálculo de estruturas de aço em relação à acção do fogo.

Anexo Nacional da EN 1993-1-2

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 1993-1-2 deverá ter um Anexo Nacional que contenha todos os Parâmetros Determinados a nível Nacional para o projecto de estruturas de aço a serem construídas no país a que diz respeito.

A opção nacional é permitida na EN 1993-1-2 em:

- 2.3(1)
- 2.3(2)
- 4.1(2)
- 4.2.3.6(1)
- 4.2.4(2)

1 Generalidades

1.1 Objectivo e campo de aplicação

1.1.1 Objectivo e campo de aplicação do Eurocódigo 3

(1) O Eurocódigo 3 aplica-se ao projecto de edifícios e de outras obras de engenharia civil de aço. 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) O Eurocódigo 3 trata apenas dos requisitos de resistência, utilização, durabilidade e resistência ao fogo das estruturas de aço. Não são portanto considerados outros requisitos como, por exemplo, os relativos ao isolamento térmico ou acústico.

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

- EN 1990 *Basis of structural design*
- EN 1991 *Actions on structures*
- hENs relativas aos produtos de construção relevantes para as estruturas de aço
- EN 1090 *Execution of steel structures*
- EN 1998 *Design of structures for earthquake resistance*, quando as estruturas de aço são construídas em regiões sísmicas

(4) O Eurocódigo 3 está subdividido em seis Partes:

- EN 1993-1 *Design of steel structures – Generic rules*
- EN 1993-2 *Design of steel structures – Steel bridges*
- EN 1993-3 *Design of steel structures – Towers, masts and chimneys*
- EN 1993-4 *Design of steel structures – Silos, tanks and pipelines*
- EN 1993-5 *Design of steel structures – Piling*
- EN 1993-6 *Design of steel structures – Crane supporting structures*

1.1.2 Objectivo e campo de aplicação da Parte 1-2 do Eurocódigo 3

(1) A presente Norma trata do projecto de estruturas de aço em situação accidental de exposição ao fogo e destina-se a ser utilizada em conjunto com a EN 1993-1-1 e a EN 1991-1-2. A presente Norma identifica apenas as diferenças ou os requisitos suplementares, em relação ao cálculo à temperatura normal.

(2) A presente Norma trata apenas dos métodos passivos de protecção contra incêndio.

(3) A presente Norma aplica-se às estruturas de aço que tenham que satisfazer esta função resistente quando expostas ao fogo, em termos de impedir o colapso prematuro da estrutura.

NOTA: Esta Norma não inclui regras relativas aos elementos de compartimentação.

(4) A presente Norma fornece os Princípios e Regras de Aplicação para o cálculo das estruturas com vista à satisfação de requisitos especificados relativamente à função resistente e aos níveis de desempenho.

(5) A presente Norma aplica-se às estruturas ou às partes das estruturas abrangidas pela EN 1993-1 e que são projectadas em conformidade.

(6) Os métodos indicados são aplicáveis às classes de aço de construção S 235, S 275, S 355, S 420 e S 460 da EN 10025 e a todas as classes da EN 10210 e da EN 10219.

(7) Os métodos indicados são também aplicáveis a elementos e chapas de aço enformados a frio abrangidos pela EN 1993-1-3.

(8) Os métodos indicados são aplicáveis a qualquer classe de aço para a qual estejam disponíveis as propriedades dos materiais a temperaturas elevadas, com base em normas europeias harmonizadas.

(9) Os métodos indicados são também aplicáveis a elementos e chapas de aço inoxidável abrangidos pela EN 1993-1-4.

NOTA: Para a resistência ao fogo das estruturas mistas aço-betão, ver a EN 1994-1-2.

1.2 Referências normativas

(1) 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 10025 ^{*)}	<i>Hot rolled products of structural steels</i>
EN 10210 ^{*)}	<i>Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain structural steels</i>
Part 1:	<i>Technical delivery conditions</i>
EN 10219 ^{*)}	<i>Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain structural steels</i>
Part 1:	<i>Technical delivery conditions</i>
EN 1363	<i>Fire resistance – General requirements</i>
EN 13501	<i>Fire classification of construction products and building elements</i>
Part 2:	<i>Classification using data from fire resistance tests</i>
ENV 13381	<i>Fire tests on elements of building construction</i>
Part 1:	<i>Test method for determining the contribution to the fire resistance of structural members: by horizontal protective membranes</i>
Part 2:	<i>Test method for determining the contribution to the fire resistance of structural members: by vertical protective membranes</i>
Part 4:	<i>Test method for determining the contribution to the fire resistance of structural members: by applied protection to steel structural elements</i>
EN 1990 ^{*)}	<i>Eurocode – Basis of structural design</i>
EN 1991	<i>Eurocode 1 – Actions on structures</i>
Part 1-2 ^{*)} :	<i>Actions on structures exposed to fire</i>
EN 1993	<i>Eurocode 3 – Design of steel structures</i>
Part 1-1 ^{*)} :	<i>General rules – General rules and rules for buildings</i>
Part 1-3:	<i>General rules – Supplementary rules for cold formed steel members and sheeting</i>
Part 1-4:	<i>General rules – Supplementary rules for stainless steels</i>
Part 1-8 ^{*)} :	<i>General rules – Design of joints</i>

^{*)} No Anexo Nacional NA são indicadas as normas portuguesas equivalentes (nota nacional).

EN 1994 *Eurocode 4 – Design of composite steel and concrete structures*
Part 1-2: *General rules – Structural fire design*
ISO 1000 *SI units*

1.3 Pressupostos

(1) Além dos pressupostos gerais indicados na EN 1990, pressupõe-se o seguinte:

- quaisquer sistemas de protecção contra incêndio activa e passiva considerados no projecto serão objecto de manutenção adequada.

1.4 Distinção entre Princípios e Regras de Aplicação

(1) Aplicam-se as regras indicadas na secção 1.4 da EN 1990 e da EN 1991-1-2.

1.5 Termos e definições

(1) Aplicam-se os termos e definições indicados na EN 1990, 1.5.

(2) Os termos e definições indicados seguidamente são utilizados na presente Norma com os seguintes significados.

1.5.1 Termos específicos relativos ao projecto em geral

1.5.1.1 pórtico contraventado

Um pórtico poderá ser classificado como contraventado se a sua resistência aos deslocamentos laterais for proporcionada por um sistema de contraventamento suficientemente rígido para se poder admitir, com rigor aceitável, que irá resistir a todas as acções horizontais no seu plano.

1.5.1.2 parte de estrutura

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

1.5.2 Termos relacionados com as acções térmicas

1.5.2.1 curva de incêndio padrão

Curva nominal, definida na EN 13501-2, destinada a representar um modelo de um incêndio totalmente desenvolvido num compartimento.

1.5.3 Termos relativos aos materiais e aos produtos

1.5.3.1 aço carbono

Na presente Norma: classes de aço segundo a EN 1993-1-1, excepto aços inoxidáveis.

1.5.3.2 material de protecção contra incêndio

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

1.5.3.3 aço inoxidável

Todos os aços referidos na EN 1993-1-4.

1.5.4 Termos relacionados com a análise da transferência de calor

1.5.4.1 factor de vista

O factor de vista para a transferência de calor por radiação da superfície A para a superfície B é definido como a fracção de energia irradiada de forma difusa que emana da superfície A e que incide na superfície B.

1.5.4.2 coeficiente de transferência de calor por convecção

Quantidade de calor por unidade de tempo que atravessa por convecção uma superfície de área unitária do elemento, em função da diferença entre a temperatura global do gás envolvendo a superfície considerada no elemento e a temperatura dessa superfície.

1.5.4.3 emissividade

Igual à absorvidade de uma superfície, ou seja, a relação entre o calor por radiação absorvido por uma dada superfície e o absorvido pela superfície de um corpo negro.

1.5.4.4 fluxo de calor efectivo

Energia efectivamente absorvida pelos elementos por unidade de tempo e de área.

1.5.4.5 factor de massividade

Para um elemento de aço, a relação entre a área da superfície exposta e o volume de aço; para um elemento envolvido, a relação entre a área da superfície interna do revestimento exposto e o volume de aço.

1.5.4.6 factor de massividade calculado como se o perfil tivesse protecção em caixão

Relação entre a área da superfície interna de um revestimento fictício disposto em caixão envolvendo o elemento e o volume de aço.

1.5.5 Termos relacionados com a análise do comportamento mecânico

1.5.5.1 temperatura crítica do elemento de aço de construção

Para um dado nível de carregamento, a temperatura à qual se prevê a ocorrência de colapso num elemento de aço de construção para uma distribuição de temperatura uniforme.

1.5.5.2 tensão de cedência efectiva

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

1.6 Símbolos

(1) Para os fins da presente Norma, utilizam-se os seguintes símbolos:

Letras maiúsculas latinas

A_i	uma área elementar da secção transversal com uma temperatura θ_i
A_m	área da superfície de um elemento por unidade de comprimento
A_m/V	factor de massividade para os elementos de aço não protegidos
C_i	coeficiente de protecção da face i do elemento
A_p	área apropriada do material de protecção contra incêndio por unidade de comprimento do elemento [m^2/m]
E_a	módulo de elasticidade do aço à temperatura normal

$E_{a,\theta}$	inclinação da recta que representa o domínio elástico para o aço a temperaturas elevadas θ_a
$E_{fi,d}$	valor de cálculo dos efeitos das acções em situação de incêndio, determinado de acordo com a EN 1991-1-2, incluindo os efeitos das dilatações e das deformações térmicas
$F_{b,Rd}$	valor de cálculo da resistência ao esmagamento por parafuso
$F_{b,t,Rd}$	valor de cálculo da resistência ao esmagamento por parafuso em situação de incêndio
$F_{v,Rd}$	valor de cálculo da resistência ao esforço transversal de um parafuso por plano de corte, admitindo que o plano de corte atravessa a parte roscada do parafuso
$F_{v,t,Rd}$	valor de cálculo da resistência ao esforço transversal de um parafuso por plano de corte, admitindo que o plano de corte atravessa a parte roscada do parafuso em situação de incêndio
$F_{w,Rd}$	valor de cálculo da resistência de uma soldadura de ângulo por unidade de comprimento
$F_{w,t,Rd}$	valor de cálculo da resistência de uma soldadura de ângulo por unidade de comprimento em situação de incêndio
G_k	valor característico de uma acção permanente
I_f	fluxo de calor por radiação proveniente de uma abertura
I_z	fluxo de calor por radiação proveniente de uma chama
$I_{z,i}$	fluxo de calor por radiação proveniente de uma chama para a face i da coluna
L	comprimento teórico de uma coluna no piso considerado
$M_{b,fi,t,Rd}$	valor de cálculo do momento resistente à encurvadura lateral no instante t
$M_{fi,t,Rd}$	valor de cálculo do momento resistente no instante t
$M_{fi,\theta,Rd}$	valor de cálculo do momento resistente da secção transversal para uma temperatura uniforme θ_a igual à temperatura uniforme θ_a no instante t numa secção transversal que não é termicamente influenciada pelos apoios
M_{Rd}	valor de cálculo do momento plástico resistente da secção transversal bruta $M_{pl,Rd}$ à temperatura normal; valor de cálculo do momento elástico resistente da secção transversal bruta $M_{el,Rd}$ à temperatura normal
$N_{b,fi,t,Rd}$	valor de cálculo da resistência à encurvadura no instante t de um elemento comprimido
N_{Rd}	valor de cálculo da resistência da secção transversal $N_{pl,Rd}$ à temperatura normal, de acordo com a EN 1993-1-1
$N_{fi,\theta,Rd}$	valor de cálculo da resistência de um elemento traccionado a uma temperatura uniforme θ_a
$N_{fi,t,Rd}$	valor de cálculo da resistência no instante t de um elemento traccionado com uma distribuição de temperatura não uniforme na secção transversal
$Q_{k,1}$	acção variável de base
$R_{fi,d,t}$	correspondente valor de cálculo da resistência em situação de incêndio
$R_{fi,d,0}$	valor de $R_{fi,d,t}$ para o instante $t = 0$
T_f	temperatura de um incêndio [K]
T_o	temperatura das chamas na abertura [K]
T_x	temperatura na ponta da chama [813 K]

T_z	temperatura das chamas [K]
$T_{z,1}$	temperatura das chamas [K] como se indica no Anexo B da EN 1991-1-2, ao nível da base da viga
$T_{z,2}$	temperatura das chamas [K] como se indica no Anexo B da EN 1991-1-2, ao nível do topo da viga
V	volume de um elemento por unidade de comprimento
$V_{fi,t,Rd}$	valor de cálculo da resistência ao esforço transversal no instante t
V_{Rd}	valor de cálculo da resistência ao esforço transversal da secção transversal bruta à temperatura normal, de acordo com a EN 1993-1-1
X_k	valor característico de uma propriedade de resistência ou de deformação (geralmente f_k ou E_k) à temperatura normal, de acordo com a EN 1993-1-1

Letras minúsculas latinas

a_z	absortividade das chamas
c	calor específico
c_a	calor específico do aço
c_p	calor específico do material de protecção contra incêndio independente da temperatura
d_i	dimensão da secção transversal da face i do elemento
d_p	espessura do material de protecção contra incêndio
d_f	espessura do material de protecção contra incêndio ($d_f = 0$ para os elementos não protegidos)
$f_{p,\theta}$	tensão limite de proporcionalidade do aço a temperaturas elevadas θ_a
f_y	tensão de cedência a 20 °C
$f_{y,\theta}$	tensão de cedência efectiva do aço a temperaturas elevadas θ_a
$f_{y,i}$	valor nominal da tensão de cedência f_y para a área elementar A_i considerado positivo na zona de compressão da secção transversal limitada pelo eixo neutro plástico e negativo na zona de tracção
$f_{u,\theta}$	tensão de rotura a temperaturas elevadas, tendo em conta o endurecimento
$\dot{h}_{net,d}$	valor de cálculo do fluxo de calor efectivo por unidade de área
h_z	altura do topo da chama acima da base da viga
i	indicador da face da coluna (1), (2), (3) ou (4)
$k_{b,\theta}$	factor de redução determinado para a temperatura adequada dos parafusos
$k_{E,\theta}$	factor de redução para a inclinação da recta que representa o domínio elástico à temperatura do aço θ_a atingida no instante t , definido na secção 3
$k_{E,\theta,com}$	factor de redução para a inclinação da recta que representa o domínio elástico à temperatura máxima do aço no banzo comprimido $\theta_{a,com}$ atingida no instante t , definido na secção 3
k_{sh}	factor de correcção para o efeito de sombra
k_θ	valor relativo de uma propriedade de resistência ou de deformação do aço a temperaturas elevadas θ_a
k_θ	factor de redução para uma propriedade de resistência ou de deformação ($X_{k,\theta} / X_k$), dependente da temperatura do material, ver a secção 3

$k_{w,\theta}$	factor de redução da resistência para as soldaduras
$k_{y,\theta}$	factor de redução para a tensão de cedência do aço à temperatura θ_a atingida no instante t , definido na secção 3
$k_{y,\theta,com}$	factor de redução para a tensão de cedência do aço à temperatura máxima no banzo comprimido $\theta_{a,com}$ atingida no instante t , definido na secção 3
$k_{y,\theta,i}$	factor de redução para a tensão de cedência do aço à temperatura θ_i
$k_{y,\theta,max}$	factor de redução para a tensão de cedência do aço à temperatura máxima $\theta_{a,max}$ atingida no instante t
$k_{y,\theta,web}$	factor de redução para a tensão de cedência do aço à temperatura θ_{web} , ver a secção 3
k_y	factor de interacção
k_z	factor de interacção
k_{LT}	factor de interacção
m	número de aberturas no lado m
n	número de aberturas no lado n
l	comprimento a 20 °C; distância de uma abertura, medida ao longo do eixo da chama
l_{fi}	comprimento de encurvadura de uma coluna em situação de incêndio
s	distância horizontal desde o eixo de uma coluna até à parede de um compartimento de incêndio
t	tempo de exposição ao incêndio
w_i	largura de uma abertura
z_i	distância desde o eixo neutro plástico até ao centro de gravidade da área elementar A_i

Letras maiúsculas gregas

Δt	intervalo de tempo
Δl	alongamento induzido pela temperatura
$\Delta \theta_{g,t}$	aumento da temperatura ambiente dos gases durante o intervalo de tempo Δt
$\phi_{t,i}$	factor de vista da face i do elemento para uma abertura
ϕ_t	factor de vista global do elemento para a transferência de calor por radiação a partir de uma abertura
ϕ_z	factor de vista global de um elemento para a transferência de calor por radiação a partir de uma chama
$\phi_{z,i}$	factor de vista da face i do elemento para uma chama
$\phi_{z,m}$	factor de vista global da coluna para o calor proveniente das chamas no lado m
$\phi_{z,n}$	factor de vista global da coluna para o calor proveniente das chamas no lado n

Letras minúsculas gregas

α	coeficiente de transferência de calor por convecção
----------	---

β_M	coeficientes de momento uniforme equivalente
χ_G	coeficiente parcial relativo às acções permanentes
χ_{M2}	coeficiente parcial à temperatura normal
$\chi_{M,fi}$	coeficiente parcial para a propriedade considerada do material, em situação de incêndio
$\chi_{Q,1}$	coeficiente parcial relativo à acção variável 1
ε_f	emissividade de uma chama; emissividade de uma abertura
ε_z	emissividade de uma chama
$\varepsilon_{z,m}$	emissividade total das chamas no lado m
$\varepsilon_{z,n}$	emissividade total das chamas no lado n
ξ	coeficiente de redução para as acções permanentes desfavoráveis G
η_{fi}	factor de redução para o valor de cálculo do nível de carregamento em situação de incêndio
θ	temperatura
θ_a	temperatura do aço [$^{\circ}\text{C}$]
$\theta_{a,cr}$	temperatura crítica do aço
$\theta_{g,t}$	temperatura ambiente dos gases no instante t
θ_{web}	temperatura média na alma da secção
θ_i	temperatura na área elementar A_i
κ	factor de adaptação
κ_1	factor de adaptação para a temperatura não uniforme na secção transversal
κ_2	factor de adaptação para a temperatura não uniforme ao longo da viga
λ	condutibilidade térmica
λ_i	espessura da chama para uma abertura i
λ_p	condutibilidade térmica do sistema de protecção contra incêndio
λ_f	condutibilidade térmica efectiva do material de protecção contra incêndio
μ_0	grau de utilização no instante $t = 0$
σ	constante de Stefan Boltzmann [$5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$]
ρ_a	massa específica do aço
ρ_p	massa específica do material de protecção contra incêndio
χ_{fi}	coeficiente de redução para a encurvadura por flexão em situação de incêndio
$\chi_{LT,fi}$	coeficiente de redução para a encurvadura lateral em situação de incêndio
$\chi_{min,fi}$	valor mínimo de $\chi_{y,fi}$ e $\chi_{z,fi}$
$\chi_{z,fi}$	coeficiente de redução para a encurvadura por flexão em torno do eixo z , em situação de incêndio
$\chi_{y,fi}$	coeficiente de redução para a encurvadura por flexão em torno do eixo y , em situação de incêndio

ψ_{fi} coeficiente de combinação para os valores frequente ou quase-permanente representados, respectivamente, por $\psi_{1,1}$ ou por $\psi_{2,1}$

2 Bases para o projecto

2.1 Requisitos

2.1.1 Requisitos gerais

(1) P Nos casos em que às estruturas de aço 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) Os critérios de deformação deverão 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.

(3) Exceptuando (2), 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 3.4.3;
- os elementos de compartimentação tenham que satisfazer os requisitos relativos à exposição ao fogo nominal.

2.1.2 Curvas de incêndio nominais

(1) Para a exposição ao fogo padrão, os elementos deverão satisfazer o critério R da seguinte forma:

- elementos unicamente com resistência estrutural: resistência mecânica (critério R).

(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) Com a curva de incêndio de hidrocarbonetos deverá aplicar-se o mesmo critério, mas a referência a esta curva específica deverá ser identificada por meio das letras “HC”.

2.1.3 Curvas de incêndio paramétricas

(1) A função de resistência estrutural é assegurada se o colapso for impedido durante todo o incêndio, incluindo a fase de declínio do fogo, ou durante um período de tempo especificado.

2.2 Acções

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

(2) Para além da EN 1991-1-2, a emissividade relacionada com a superfície de aço deverá ser igual a 0,7 para o aço carbono e a 0,4 para os aços inoxidáveis, de acordo com o Anexo C.

2.3 Valores de cálculo das propriedades dos materiais

(1) 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 1993-1-1;

k_θ factor de redução para uma propriedade de resistência ou de deformação ($X_{k,\theta} / X_k$), 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: Para as propriedades mecânicas do aço, o coeficiente parcial para a situação de incêndio é indicado no Anexo Nacional. Recomenda-se a utilização de $\gamma_{M,fi} = 1,0$.

(2) 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: Para as propriedades térmicas do aço, o coeficiente parcial para a situação de incêndio é indicado no Anexo Nacional. Recomenda-se a utilização de $\gamma_{M,fi} = 1,0$.

2.4 Métodos de verificação

2.4.1 Generalidades

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

NOTA: No caso em que as regras indicadas nesta Norma sejam válidas apenas para a exposição ao fogo padrão, tal será identificado nas secções relevantes.

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

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

em que:

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

$R_{fi,d,t}$ 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 EN 1990, 5.1.4(2).

NOTA 1: Para a análise por elementos, ver 2.4.2.

Para a análise de partes da estrutura, ver 2.4.3.

Para a análise estrutural global, ver 2.4.4.

NOTA 2: Para verificar os requisitos de resistência ao fogo padrão é suficiente uma análise por elementos.

(4) 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.

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 $\psi_{2,1}$, de acordo com 4.3.1 da EN 1991-1-2.

(2) Como simplificação de (1), os efeitos das acções $E_{d,fi}$ 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);

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

(3) O factor de redução η_{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;

γ_G coeficiente parcial relativo às acções permanentes;

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

ψ_{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;

ξ factor de redução para as acções permanentes desfavoráveis G .

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

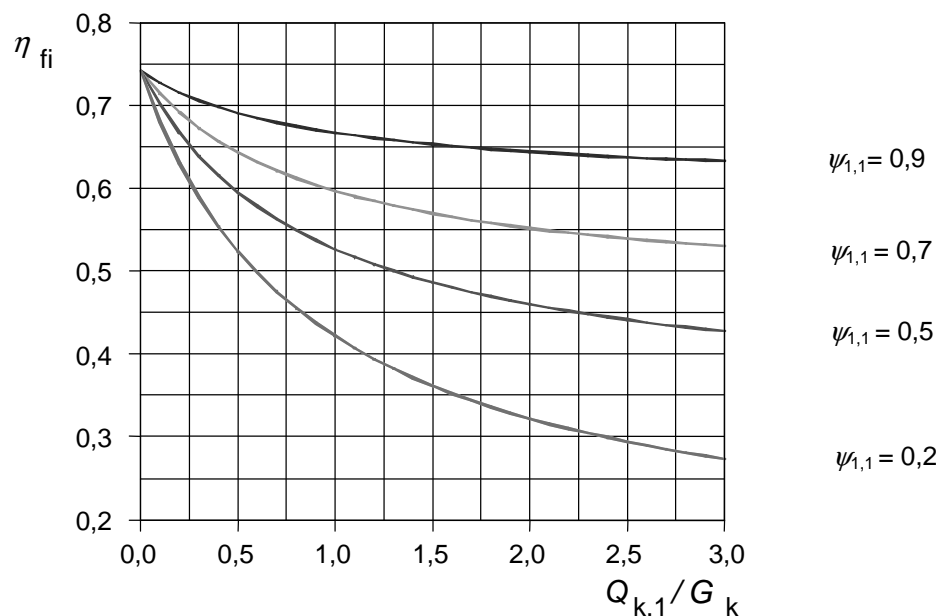


Figura 2.1 – Variação do factor de redução η_{fi} em função da relação de carregamento $Q_{k,1}/G_k$

NOTA 2: Como simplificação, poderá utilizar-se o valor recomendado de $\eta_{fi} = 0,65$, excepto para a sobrecarga de acordo com a categoria de carga E indicada na EN 1991-1-1 (áreas susceptíveis de acumulação de mercadorias, incluindo áreas de acesso) para a qual o valor recomendado é 0,7.

- (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) Poderá admitir-se que as condições de fronteira nos apoios e nas extremidades dos elementos se mantêm inalteradas durante toda a exposição ao fogo.
- (6) Os métodos de cálculo simplificados ou avançados indicados, respectivamente, em 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 em 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) Na parte da estrutura a analisar, deverão 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) Poderá admitir-se que as condições de fronteira nos apoios e nos limites da parte da estrutura se mantêm inalterados durante toda a exposição ao fogo.

2.4.4 Análise estrutural global

(1) No caso de uma análise estrutural global em situação de incêndio, deverão 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) A não ser que sejam indicados como valores de cálculo, os valores das propriedades dos materiais indicados nesta secção 3 deverão ser adoptados como valores característicos.

(2) As propriedades mecânicas do aço a 20 °C deverão ser as indicadas na EN 1993-1-1 para o cálculo à temperatura normal.

3.2 Propriedades mecânicas dos aços carbono

3.2.1 Propriedades de resistência e de deformação

(1) Para taxas de aquecimento entre 2 K/min e 50 K/min, as propriedades de resistência e de deformação do aço a temperaturas elevadas deverão ser obtidas a partir da relação tensões-extensões representada na Figura 3.1.

NOTA: Relativamente às regras da presente Norma, admite-se que as taxas de aquecimento estão dentro dos limites especificados.

(2) A relação representada na Figura 3.1 deverá ser utilizada para determinar a resistência à tracção, à compressão, à flexão ou ao corte.

(3) O Quadro 3.1 indica os factores de redução para a relação tensões-extensões do aço a temperaturas elevadas representada na Figura 3.1. Estes factores de redução são definidos da seguinte forma:

– tensão de cedência efectiva, referida à tensão de cedência a 20 °C: $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$;

– tensão limite de proporcionalidade, referida à tensão de cedência a 20 °C: $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$;

– inclinação da recta que representa o domínio elástico, referida à inclinação a 20 °C: $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$.

NOTA: A variação destes factores de redução com a temperatura é representada na Figura 3.2.

(4) Em alternativa, para temperaturas inferiores a 400 °C, a relação tensões-extensões especificada em (1) poderá ser alargada pela opção de endurecimento indicada no Anexo A, desde que a encurvadura local ou dos elementos não conduza ao colapso prematuro.

3.2.2 Massa específica

(1) Poderá considerar-se que a massa específica do aço ρ_a é independente da sua temperatura. Poderá tomar-se o seguinte valor:

$$\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$$

Domínio de extensões	Tensão σ	Módulo tangente
$\varepsilon \leq \varepsilon_{p,\theta}$	$\varepsilon E_{a,\theta}$	$E_{a,\theta}$
$\varepsilon_{p,\theta} < \varepsilon < \varepsilon_{y,\theta}$	$f_{p,\theta} - c + (b/a) \left[a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)^2 \right]^{0,5}$	$\frac{b(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)}{a \left[a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)^2 \right]^{0,5}}$
$\varepsilon_{y,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{t,\theta}$	$f_{y,\theta}$	0
$\varepsilon_{t,\theta} < \varepsilon < \varepsilon_{u,\theta}$	$f_{y,\theta} \left[1 - (\varepsilon - \varepsilon_{t,\theta}) / (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{t,\theta}) \right]$	-
$\varepsilon = \varepsilon_{u,\theta}$	0,00	-
Parâmetros	$\varepsilon_{p,\theta} = f_{p,\theta} / E_{a,\theta}$	$\varepsilon_{y,\theta} = 0,02$ $\varepsilon_{t,\theta} = 0,15$ $\varepsilon_{u,\theta} = 0,20$
Funções	$a^2 = (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta}) (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta} + c / E_{a,\theta})$ $b^2 = c (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta}) E_{a,\theta} + c^2$ $c = \frac{(f_{y,\theta} - f_{p,\theta})^2}{(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta}) E_{a,\theta} - 2 (f_{y,\theta} - f_{p,\theta})}$	

Tensão σ

$f_{y,\theta}$

$f_{p,\theta}$

$E_{a,\theta} = \text{tg } \alpha$

$\varepsilon_{p,\theta}$

$\varepsilon_{y,\theta}$

$\varepsilon_{t,\theta}$

$\varepsilon_{u,\theta}$

Extensão ε

Legenda:

$f_{y,\theta}$ tensão de cedência efectiva;

$f_{p,\theta}$ tensão limite de proporcionalidade;

$E_{a,\theta}$ inclinação da recta que representa o domínio elástico;

$\varepsilon_{p,\theta}$ extensão limite de proporcionalidade;

$\varepsilon_{y,\theta}$ extensão de cedência;

$\varepsilon_{t,\theta}$ extensão limite para o patamar de cedência;

$\varepsilon_{u,\theta}$ extensão última.

Figura 3.1 – Relação tensões-extensões para o aço carbono a temperaturas elevadas

Quadro 3.1 – Factores de redução para a relação tensões-extensões
do aço carbono a temperaturas elevadas

Temperatura do aço θ_a	Factores de redução à temperatura θ_a referidos ao valor de f_y ou E_a a 20 °C		
	Factor de redução (referido a f_y) para a tensão de cedência efectiva $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$	Factor de redução (referido a f_y) para a tensão limite de proporcionalidade $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$	Factor de redução (referido a E_a) para a inclinação da recta que representa o domínio elástico $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$
20 °C	1,000	1,000	1,000
100 °C	1,000	1,000	1,000
200 °C	1,000	0,807	0,900
300 °C	1,000	0,613	0,800
400 °C	1,000	0,420	0,700
500 °C	0,780	0,360	0,600
600 °C	0,470	0,180	0,310
700 °C	0,230	0,075	0,130
800 °C	0,110	0,050	0,090
900 °C	0,060	0,0375	0,0675
1000 °C	0,040	0,0250	0,0450
1100 °C	0,020	0,0125	0,0225
1200 °C	0,000	0,0000	0,0000
NOTA: Para os valores intermédios da temperatura do aço, poderá efectuar-se uma interpolação linear.			

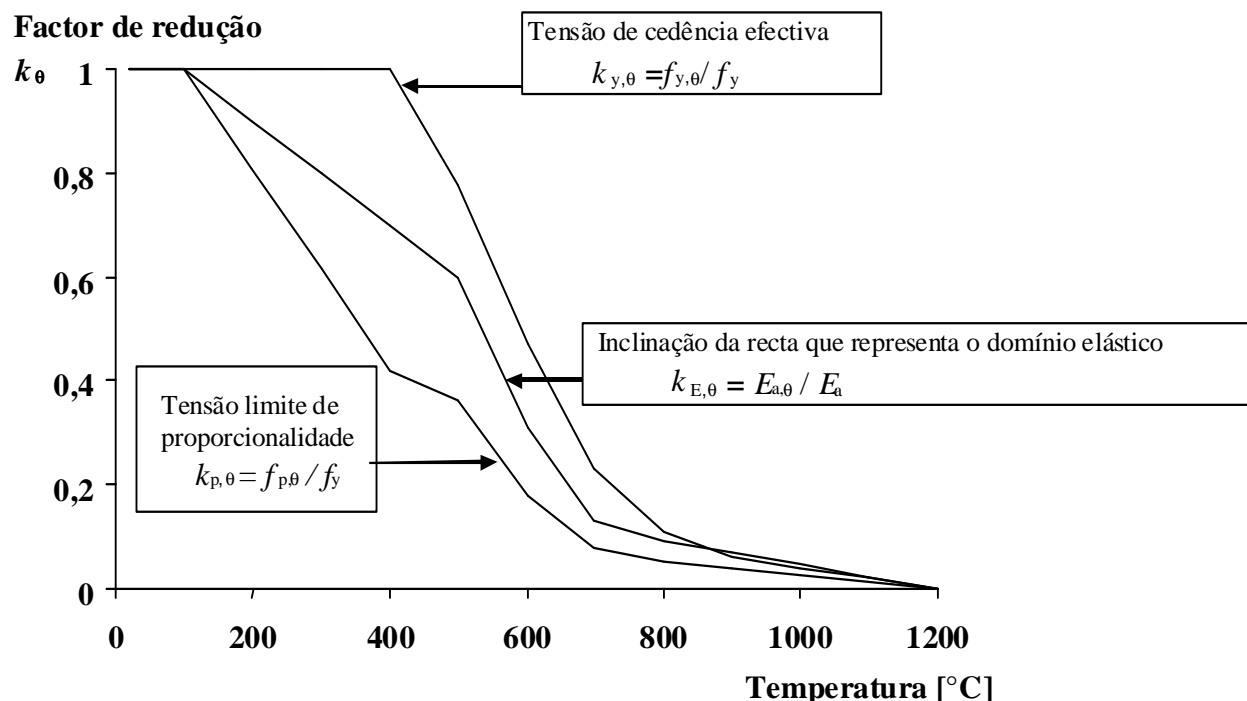


Figura 3.2 – Factores de redução para a relação tensões-extensões do aço carbono a temperaturas elevadas

3.3 Propriedades mecânicas dos aços inoxidáveis

(1) As propriedades mecânicas do aço inoxidável poderão ser obtidas do Anexo C.

3.4 Propriedades térmicas

3.4.1 Aços carbono

3.4.1.1 Extensão térmica

(1) A extensão térmica do aço $\Delta l/l$ deverá ser determinada a partir das seguintes expressões:

– para $20\text{ °C} \leq \theta_a < 750\text{ °C}$:

$$\Delta l/l = 1,2 \times 10^{-5} \theta_a + 0,4 \times 10^{-8} \theta_a^2 - 2,416 \times 10^{-4} \quad (3.1a)$$

– para $750\text{ °C} \leq \theta_a \leq 860\text{ °C}$:

$$\Delta l/l = 1,1 \times 10^{-2} \quad (3.1b)$$

– para $860\text{ °C} < \theta_a \leq 1200\text{ °C}$:

$$\Delta l/l = 2 \times 10^{-5} \theta_a - 6,2 \times 10^{-3} \quad (3.1c)$$

em que:

l comprimento a 20 °C ;

Δl alongamento induzido pela temperatura;

θ_a temperatura do aço [$^{\circ}\text{C}$].

NOTA: A variação da extensão térmica com a temperatura é representada na Figura 3.3.

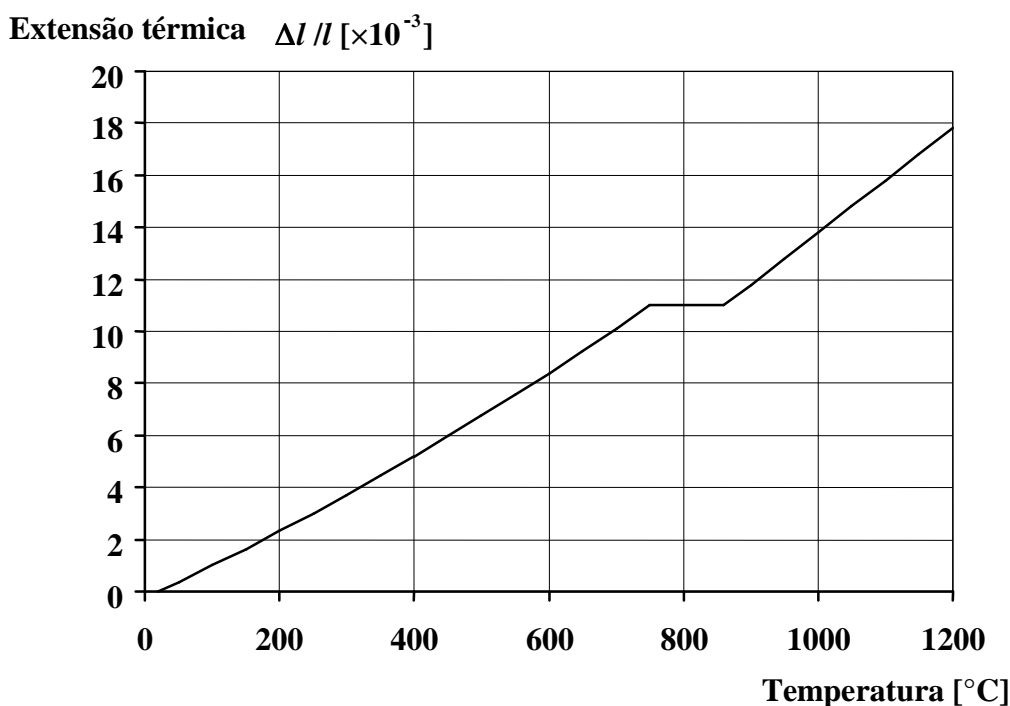


Figura 3.3 – Extensão térmica relativa do aço carbono em função da temperatura

3.4.1.2 Calor específico

(1) O calor específico do aço c_a deverá ser determinado a partir das seguintes expressões:

– para $20\text{ °C} \leq \theta_a < 600\text{ °C}$:

$$c_a = 425 + 7,73 \times 10^{-1} \theta_a - 1,69 \times 10^{-3} \theta_a^2 + 2,22 \times 10^{-6} \theta_a^3 \text{ J/kgK} \quad (3.2a)$$

– para $600\text{ °C} \leq \theta_a < 735\text{ °C}$:

$$c_a = 666 + \frac{13002}{738 - \theta_a} \text{ J/kgK} \quad (3.2b)$$

– para $735\text{ °C} \leq \theta_a < 900\text{ °C}$:

$$c_a = 545 + \frac{17820}{\theta_a - 731} \text{ J/kgK} \quad (3.2c)$$

– para $900\text{ °C} \leq \theta_a \leq 1200\text{ °C}$:

$$c_a = 650 \text{ J/kgK} \quad (3.2d)$$

em que:

θ_a temperatura do aço [°C].

NOTA: A variação do calor específico com a temperatura é representada na Figura 3.4.

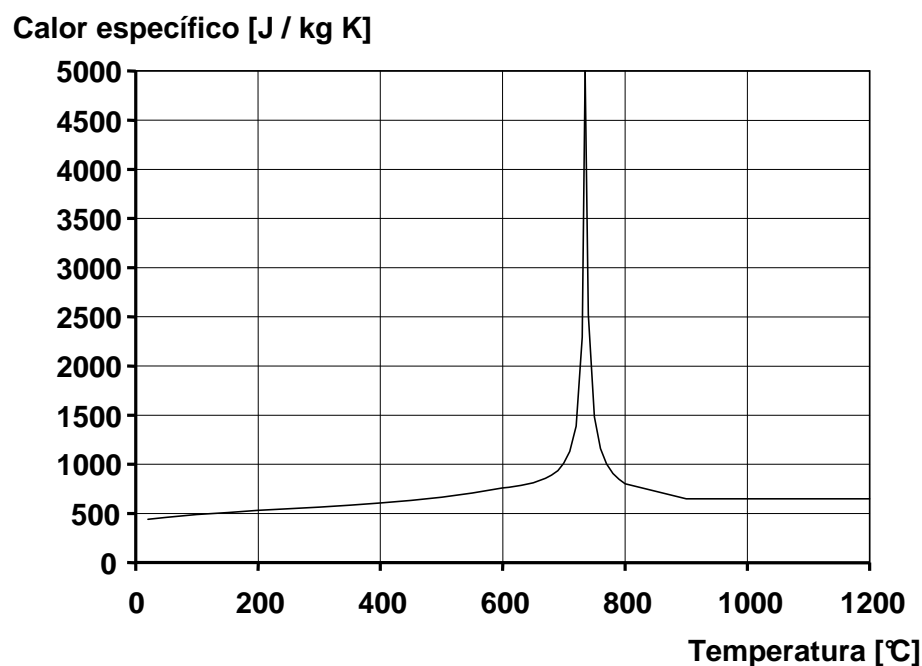


Figura 3.4 – Calor específico do aço carbono em função da temperatura

3.4.1.3 Condutibilidade térmica

(1) A condutibilidade térmica do aço λ_a deverá ser determinada a partir das seguintes expressões:

– para $20\text{ °C} \leq \theta_a < 800\text{ °C}$:

$$\lambda_a = 54 - 3,33 \times 10^{-2} \theta_a \quad \text{W/mK} \quad (3.3a)$$

– para $800\text{ °C} \leq \theta_a \leq 1200\text{ °C}$:

$$\lambda_a = 27,3 \quad \text{W/mK} \quad (3.3b)$$

em que:

θ_a temperatura do aço [°C].

NOTA: A variação da condutibilidade térmica com a temperatura é representada na Figura 3.5.

Condutibilidade térmica [W / mK]

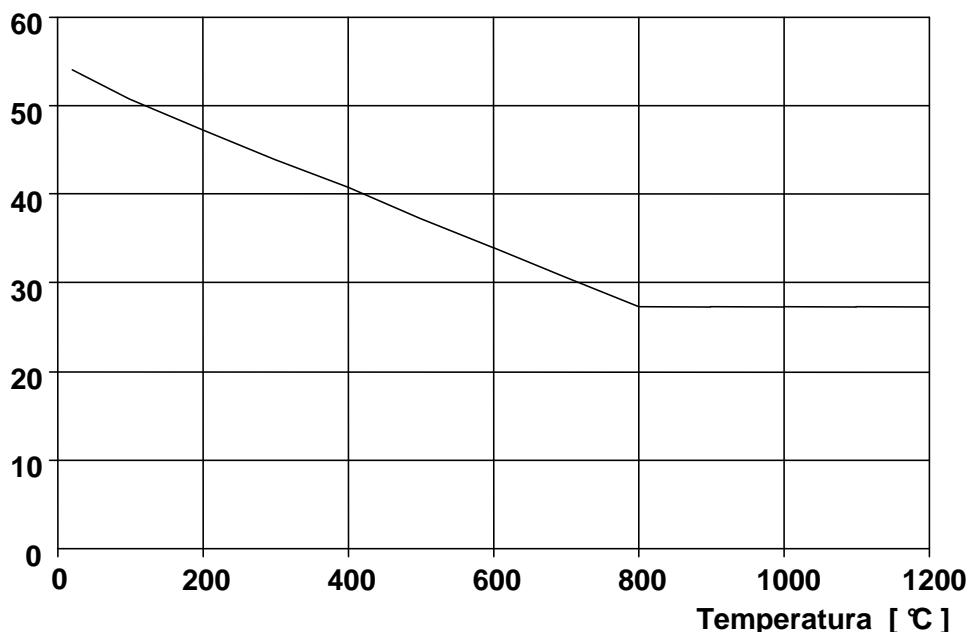


Figura 3.5 – Condutibilidade térmica do aço carbono em função da temperatura

3.4.2 Aços inoxidáveis

(1) As propriedades térmicas dos aços inoxidáveis poderão ser obtidas do Anexo C.

3.4.3 Materiais de protecção contra incêndio

(1) As propriedades e o desempenho dos materiais de protecção contra incêndio utilizados no projecto deverão ter sido avaliados utilizando os métodos de ensaio indicados na ENV 13381-1, na ENV 13381-2 ou na ENV 13381-4, conforme apropriado.

NOTA: Estas normas incluem um requisito estipulando que os materiais de protecção contra incêndio se deverão manter coerentes e aderentes aos seus apoios durante a duração especificada de exposição ao fogo.

4 Verificação da resistência ao fogo

4.1 Generalidades

(1) A presente secção 4 fornece regras para as estruturas de aço que podem estar:

- sem protecção;
- isoladas por meio de material de protecção contra incêndio;
- protegidas por barreiras contra o calor.

NOTA: Exemplos de outros métodos de protecção são as estruturas arrefecidas por circulação de água ou a protecção parcial por encaixe nas paredes e nos pavimentos.

(2) Para a determinação da resistência ao fogo, são permitidos os seguintes métodos de cálculo:

- modelos de cálculo simplificados;
- modelos de cálculo avançados;
- ensaios.

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

- (3) Os modelos de cálculo simplificados são métodos simplificados de cálculo dos elementos individuais, que se baseiam em hipóteses conservativas.
- (4) Os modelos de cálculo avançados são métodos de cálculo em que os princípios de engenharia são aplicados de uma forma realista a situações específicas.

4.2 Modelos de cálculo simplificados

4.2.1 Generalidades

- (1) P Deve admitir-se que a função resistente de um elemento de aço se mantém após um tempo t num determinado incêndio se:

$$E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t} \quad (4.1)$$

em que:

- $E_{fi,d}$ valor de cálculo dos efeitos das acções em situação de incêndio, de acordo com a EN 1991-1-2;
- $R_{fi,d,t}$ correspondente valor de cálculo da resistência do elemento de aço, em situação de incêndio, no instante t .

- (2) O valor de cálculo da resistência $R_{fi,d,t}$ no instante t deverá ser determinado, normalmente na hipótese de uma temperatura uniforme na secção transversal, modificando o valor de cálculo da resistência à temperatura normal obtido de acordo com a EN 1993-1-1, para ter em conta as propriedades mecânicas do aço a temperaturas elevadas, ver 4.2.3.

NOTA: Em 4.2.3, $R_{fi,d,t}$ representa $M_{fi,t,Rd}$, $N_{fi,t,Rd}$, etc. (separadamente ou em combinação) e os valores correspondentes de $M_{fi,Ed}$, $N_{fi,Ed}$, etc., representam $E_{fi,d}$.

- (3) No caso de utilização de uma distribuição de temperatura não uniforme, o valor de cálculo da resistência à temperatura normal, de acordo com a EN 1993-1-1, é modificado com base nesta distribuição de temperatura.
- (4) Como alternativa a (1), utilizando uma distribuição de temperatura uniforme, a verificação poderá ser efectuada no domínio da temperatura, ver 4.2.4.
- (5) Não é necessário considerar o colapso da secção útil nos furos das ligações, desde que haja um elemento de ligação em cada furo, porque a temperatura do aço é inferior nas ligações devido à presença de material adicional.
- (6) Poderá admitir-se que a resistência ao fogo de uma ligação aparafusada ou soldada é suficiente desde que sejam satisfeitas as seguintes condições:

1. A resistência térmica $(d_f/\lambda_f)_c$ da protecção contra incêndio da ligação deverá ser igual ou superior ao valor mínimo de resistência térmica $(d_f/\lambda_f)_m$ da protecção contra incêndio aplicada a qualquer dos elementos ligados;

em que:

- d_f espessura do material de protecção contra incêndio ($d_f = 0$ para os elementos não protegidos);

λ_e condutibilidade térmica efectiva do material de protecção contra incêndio.

2. O nível de utilização da ligação deverá ser igual ou inferior ao valor máximo do nível de utilização de qualquer dos elementos ligados.
3. A resistência da ligação à temperatura ambiente deverá satisfazer as recomendações indicadas na EN 1993-1-8.

(7) Como alternativa ao método indicado em 4.2.1(6), a resistência ao fogo de uma ligação poderá ser determinada utilizando o método indicado no Anexo D.

NOTA: Como simplificação, a comparação do nível de utilização nas ligações e nos elementos ligados poderá ser efectuada à temperatura ambiente.

4.2.2 Classificação das secções transversais

(1) Para os efeitos destas regras simplificadas, as secções transversais poderão ser classificadas como à temperatura normal com um valor reduzido de ε como indicado em (4.2):

$$\varepsilon = 0,85 [235 / f_y]^{0,5} \quad (4.2)$$

em que:

f_y tensão de cedência a 20 °C.

NOTA 1: Ver a EN 1993-1-1.

NOTA 2: O factor de redução 0,85 tem em conta as influências devidas ao aumento da temperatura.

4.2.3 Resistência

4.2.3.1 Elementos traccionados

(1) O valor de cálculo da resistência $N_{fi,\theta,Rd}$ de um elemento traccionado com uma temperatura uniforme θ_a deverá ser determinado a partir de:

$$N_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} N_{Rd} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}] \quad (4.3)$$

em que:

$k_{y,\theta}$ factor de redução para a tensão de cedência do aço à temperatura θ_a , atingida no instante t , definido na secção 3;

N_{Rd} valor de cálculo da resistência da secção transversal $N_{pl,Rd}$ à temperatura normal, de acordo com a EN 1993-1-1.

(2) O valor de cálculo da resistência $N_{fi,t,Rd}$ no instante t de um elemento traccionado com uma distribuição de temperatura não uniforme na secção transversal poderá ser determinado a partir de:

$$N_{fi,t,Rd} = \sum_{i=1}^n A_i k_{y,\theta,i} f_y / \gamma_{M,fi} \quad (4.4)$$

em que:

A_i uma área elementar da secção transversal com uma temperatura θ_i ;

$k_{y,\theta,i}$ factor de redução para a tensão de cedência do aço à temperatura θ_i , ver a secção 3;

θ_i temperatura na área elementar A_i .

(3) O valor de cálculo da resistência $N_{fi,t,Rd}$ no instante t de um elemento traccionado com uma distribuição de temperatura não uniforme poderá ser considerado, de modo conservativo, igual ao valor de cálculo da resistência $N_{fi,\theta,Rd}$ de um elemento traccionado com a mesma secção transversal e com uma temperatura uniforme do aço θ_a igual à temperatura máxima do aço $\theta_{a,max}$ atingida no instante t .

4.2.3.2 Elementos comprimidos com secções transversais da Classe 1, da Classe 2 ou da Classe 3

(1) O valor de cálculo da resistência à encurvadura $N_{b,fi,t,Rd}$ no instante t de um elemento comprimido com uma secção transversal da Classe 1, da Classe 2 ou da Classe 3 com uma temperatura uniforme θ_a deverá ser determinado a partir de:

$$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} A k_{y,\theta} f_y / \gamma_{M,fi} \quad (4.5)$$

em que:

χ_{fi} coeficiente de redução para a encurvadura por flexão em situação de incêndio;

$k_{y,\theta}$ factor de redução para a tensão de cedência do aço à temperatura θ_a atingida no instante t , definido na secção 3.

(2) O valor de χ_{fi} deverá ser considerado igual ao menor dos valores de $\chi_{y,fi}$ e de $\chi_{z,fi}$ determinado de acordo com:

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_{\theta} + \sqrt{\varphi_{\theta}^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2}} \quad (4.6)$$

com

$$\varphi_{\theta} = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha \bar{\lambda}_{\theta} + \bar{\lambda}_{\theta}^2 \right]$$

e

$$\alpha = 0,65 \sqrt{235 / f_y}$$

A esbelteza normalizada $\bar{\lambda}_{\theta}$ para a temperatura θ_a , é obtida por:

$$\bar{\lambda}_{\theta} = \bar{\lambda} [k_{y,\theta} / k_{E,\theta}]^{0,5} \quad (4.7)$$

em que:

$k_{y,\theta}$ factor de redução para a tensão de cedência do aço à temperatura θ_a atingida no instante t , definido na secção 3;

$k_{E,\theta}$ factor de redução para a inclinação da recta que representa o domínio elástico à temperatura do aço θ_a atingida no instante t , definido na secção 3.

(3) O comprimento de encurvadura l_{fi} de uma coluna em situação de incêndio deverá em geral ser determinado como à temperatura normal. No entanto, num pórtico contraventado, o comprimento de encurvadura l_{fi} de um tramo de uma coluna poderá ser determinado considerando-a encastrada nos tramos das colunas dos compartimentos de incêndio por cima e por baixo, tanto para as ligações contínuas como semicontínuas, desde que a resistência ao fogo dos elementos do edifício que separam estes compartimentos de incêndio não seja inferior à resistência ao fogo da coluna.

(5) No caso de um pórtico contraventado no qual cada piso constitua um compartimento de incêndio separado com resistência ao fogo suficiente, o comprimento de encurvadura l_{fi} de uma coluna contínua de um

piso intermédio será $l_{fi} = 0,5L$ e no último piso o comprimento de encurvadura será $l_{fi} = 0,7L$, em que L é o comprimento da coluna no piso relevante, ver a Figura 4.1.

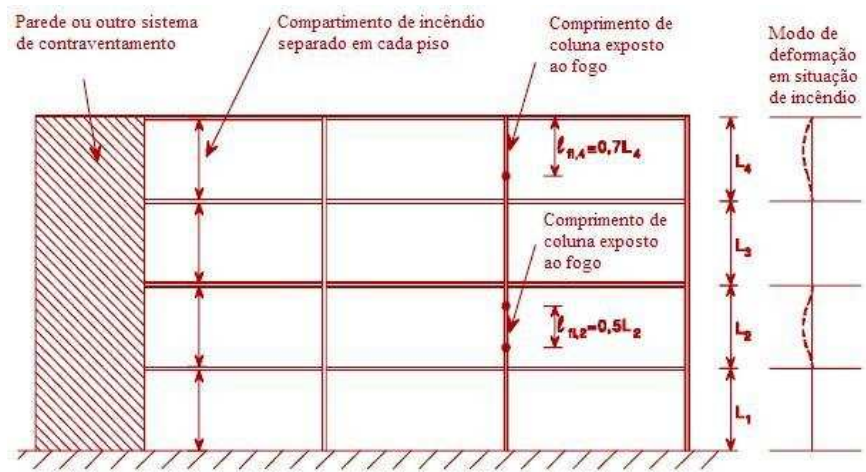


Figura 4.1 – Comprimentos de encurvadura l_{fi} de colunas em pórticos contraventados

(6) No cálculo utilizando a exposição ao fogo nominal, o valor de cálculo da resistência $N_{b,fi,t,Rd}$ no instante t de um elemento comprimido com uma distribuição de temperatura não uniforme poderá ser considerado igual ao valor de cálculo da resistência $N_{fi,\theta,Rd}$ de um elemento comprimido com a mesma secção transversal e com uma temperatura uniforme do aço θ_a igual à temperatura máxima do aço $\theta_{a,max}$ atingida no instante t .

4.2.3.3 Vigas com secções transversais da Classe 1 ou da Classe 2

(1) O valor de cálculo do momento resistente $M_{fi,\theta,Rd}$ de uma secção transversal da Classe 1 ou da Classe 2 com uma temperatura uniforme θ_a deverá ser determinado a partir de:

$$M_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} [\chi_{M,0} / \chi_{M,fi}] M_{Rd} \quad (4.8)$$

em que:

M_{Rd} valor de cálculo do momento plástico resistente da secção transversal bruta $M_{pl,Rd}$ à temperatura normal, de acordo com a EN 1993-1-1, ou momento resistente reduzido à temperatura normal, tendo em conta os efeitos do esforço transversal, se necessário, de acordo com a EN 1993-1-1;

$k_{y,\theta}$ factor de redução para a tensão de cedência do aço à temperatura θ_a atingida no instante t , definido na secção 3.

(2) O valor de cálculo do momento resistente $M_{fi,t,Rd}$ no instante t de uma secção transversal da Classe 1 ou da Classe 2 com uma distribuição de temperatura não uniforme poderá ser determinado a partir de:

$$M_{fi,t,Rd} = \sum_{i=1}^n A_i z_i k_{y,\theta,i} f_{y,i} / \chi_{M,fi} \quad (4.9)$$

em que:

z_i distância desde o eixo neutro plástico até ao centro de gravidade da área elementar A_i ;

$f_{y,i}$ valor nominal da tensão de cedência f_y para a área elementar A_i , considerado positivo na zona de compressão da secção transversal limitada pelo eixo neutro plástico e negativo na zona de tracção;

A_i e $k_{y,\theta,i}$ como definidos em 4.2.3.1(2).

(3) Em alternativa, o valor de cálculo do momento resistente $M_{fi,t,Rd}$ no instante t de uma secção transversal da Classe 1 ou da Classe 2 num elemento com uma distribuição de temperatura não uniforme, poderá ser determinado a partir de:

$$M_{fi,t,Rd} = M_{fi,\theta,Rd} / (\kappa_1 \kappa_2) \quad \text{mas} \quad M_{fi,\theta,Rd} \leq M_{Rd} \quad (4.10)$$

em que:

$M_{fi,\theta,Rd}$ valor de cálculo do momento resistente da secção transversal para uma temperatura uniforme θ_a igual à temperatura uniforme θ_a no instante t numa secção transversal que não é termicamente influenciada pelos apoios;

κ_1 factor de adaptação para a temperatura não uniforme na secção transversal, ver (7);

κ_2 factor de adaptação para a temperatura não uniforme ao longo da viga, ver (8).

(4) O valor de cálculo do momento resistente à encurvadura lateral $M_{b,fi,t,Rd}$ no instante t de um elemento sem travamento lateral com uma secção transversal da Classe 1 ou da Classe 2 deverá ser determinado a partir de:

$$M_{b,fi,t,Rd} = \chi_{LT,fi} W_{pl,y} k_{y,\theta,com} f_y / \chi_{M,fi} \quad (4.11)$$

em que:

$\chi_{LT,fi}$ coeficiente de redução para a encurvadura lateral em situação de incêndio;

$k_{y,\theta,com}$ factor de redução para a tensão de cedência do aço à temperatura máxima no banzo comprimido $\theta_{a,com}$ atingida no instante t , definido na secção 3.

NOTA: Pode admitir-se, de modo conservativo, que $\theta_{a,com}$ é igual à temperatura uniforme θ_a .

(5) O valor de $\chi_{LT,fi}$ deverá ser determinado de acordo com as seguintes expressões:

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta,com} + \sqrt{[\phi_{LT,\theta,com}]^2 - [\bar{\lambda}_{LT,\theta,com}]^2}} \quad (4.12)$$

com

$$\phi_{LT,\theta,com} = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha \bar{\lambda}_{LT,\theta,com} + (\bar{\lambda}_{LT,\theta,com})^2 \right] \quad (4.13)$$

e

$$\alpha = 0,65 \sqrt{235 / f_y} \quad (4.14)$$

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} = \bar{\lambda}_{LT} [k_{y,\theta,com} / k_{E,\theta,com}]^{0,5} \quad (4.15)$$

em que:

$k_{E,\theta,com}$ factor de redução para a inclinação da recta que representa o domínio elástico à temperatura máxima do aço no banzo comprimido $\theta_{a,com}$ atingida no instante t , definido na secção 3.

(6) O valor de cálculo da resistência ao esforço transversal $V_{fi,t,Rd}$ no instante t de uma secção transversal da Classe 1 ou da Classe 2 deverá ser determinado a partir de:

$$V_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta,web} V_{Rd} [\chi_{M,0} / \chi_{M,fi}] \quad (4.16)$$

em que:

V_{Rd} valor de cálculo da resistência ao esforço transversal da secção transversal bruta à temperatura normal, de acordo com a EN 1993-1-1;

θ_{web} temperatura média na alma da secção;

$k_{y,\theta,web}$ factor de redução para a tensão de cedência do aço à temperatura θ_{web} , ver a secção 3.

(7) O valor do factor de adaptação κ_1 para a distribuição de temperatura não uniforme numa secção transversal deverá ser o seguinte:

– para uma viga exposta nos quatro lados: $\kappa_1 = 1,0$;

– para uma viga não protegida exposta em três lados, com uma laje mista ou de betão apoiada no quarto lado: $\kappa_1 = 0,70$;

– para uma viga protegida exposta em três lados, com uma laje mista ou de betão apoiada no quarto lado: $\kappa_1 = 0,85$.

(8) Para uma distribuição de temperatura não uniforme ao longo de uma viga, o factor de adaptação κ_2 deverá ser considerado igual a:

– nos apoios de uma viga hiperestática: $\kappa_2 = 0,85$;

– em todos os outros casos: $\kappa_2 = 1,0$.

4.2.3.4 Vigas com secções transversais da Classe 3

(1) O valor de cálculo do momento resistente $M_{fi,t,Rd}$ no instante t de uma secção transversal da Classe 3 com uma temperatura uniforme deverá ser determinado a partir de:

$$M_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta} M_{Rd} [\chi_{M,0} / \chi_{M,fi}] \quad (4.17)$$

em que:

M_{Rd} valor de cálculo do momento elástico resistente da secção transversal bruta $M_{el,Rd}$ à temperatura normal, de acordo com a EN 1993-1-1, ou momento resistente reduzido tendo em conta os efeitos do esforço transversal, se necessário, de acordo com a EN 1993-1-1;

$k_{y,\theta}$ factor de redução para a tensão de cedência do aço à temperatura θ_a , ver a secção 3.

(2) O valor de cálculo do momento resistente $M_{fi,t,Rd}$ no instante t de uma secção transversal da Classe 3 com uma distribuição de temperatura não uniforme poderá ser determinado a partir de:

$$M_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta,max} M_{Rd} [\chi_{M,0} / \chi_{M,fi}] / (\kappa_1 \kappa_2) \quad \text{mas} \quad M_{fi,\theta,Rd} \leq M_{Rd} \quad (4.18)$$

em que:

M_{Rd} valor de cálculo do momento elástico resistente da secção transversal bruta $M_{el,Rd}$ à temperatura normal ou momento resistente reduzido tendo em conta os efeitos do esforço transversal, se necessário, de acordo com a EN 1993-1-1;

$k_{y,\theta,max}$ factor de redução para a tensão de cedência do aço à temperatura máxima $\theta_{a,max}$ atingida no instante t ;

κ_1 factor de adaptação para a temperatura não uniforme numa secção transversal, ver 4.2.3.3(7);

κ_2 factor de adaptação para a temperatura não uniforme ao longo da viga, ver 4.2.3.3(8).

(3) O valor de cálculo do momento resistente à encurvadura lateral $M_{b,fi,t,Rd}$ no instante t de um elemento sem travamento lateral com uma secção transversal da Classe 3 deverá ser determinado a partir de:

$$M_{b,fi,t,Rd} = \chi_{LT,fi} W_{el,y} k_{y,\theta,com} f_y / \gamma_{M,fi} \quad (4.19)$$

em que:

$\chi_{LT,fi}$ como definido em 4.2.3.3(5).

NOTA: Pode admitir-se, de modo conservativo, que $\theta_{a,com}$ é igual à temperatura máxima $\theta_{a,max}$.

(4) O valor de cálculo da resistência ao esforço transversal $V_{fi,t,Rd}$ no instante t de uma secção transversal deverá ser determinado a partir de:

$$V_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta,web} V_{Rd} [\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}] \quad (4.20)$$

em que:

V_{Rd} valor de cálculo da resistência ao corte da secção transversal bruta à temperatura normal, de acordo com a EN 1993-1-1.

4.2.3.5 Elementos com secções transversais das Classes 1, 2 ou 3, sujeitos a flexão composta com compressão

(1) O valor de cálculo da resistência à encurvadura $R_{fi,t,d}$ no instante t de um elemento sujeito a flexão composta com compressão deverá ser verificado satisfazendo as expressões (4.21a) e (4.21b) para um elemento com uma secção transversal da Classe 1 ou da Classe 2, ou as expressões (4.21c) e (4.21d) para um elemento com uma secção transversal da Classe 3.

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{min,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y M_{y,fi,Ed}}{W_{pl,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{W_{pl,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \quad (4.21a)$$

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,fi} W_{pl,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{W_{pl,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \quad (4.21b)$$

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{min,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y M_{y,fi,Ed}}{W_{el,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{W_{el,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \quad (4.21c)$$

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT,fi} W_{el,y} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{W_{el,z} k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1 \quad (4.21d)$$

em que:

$\chi_{min,fi}$ como definido em 4.2.3.2;

$\chi_{z,fi}$ como definido em 4.2.3.2;

$\chi_{LT,fi}$ como definido em 4.2.3.3(5);

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1$$

com: $\mu_{LT} = 0,15 \bar{\lambda}_{z,\theta} \beta_{M,LT} - 0,15 \leq 0,9$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{fi,Ed}}{\chi_{y,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3$$

com, para o eixo de maior inércia: $\mu_y = (2 \beta_{M,y} - 5) \bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44 \beta_{M,y} + 0,29 \leq 0,8$ com $\bar{\lambda}_{y,20^\circ\text{C}} \leq 1,1$

$$k_z = 1 - \frac{\mu_z N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3$$

com, para o eixo de menor inércia: $\mu_z = (1,2 \beta_{M,z} - 3) \bar{\lambda}_{z,\theta} + 0,71 \beta_{M,z} - 0,29 \leq 0,8$

NOTA: Para os coeficientes de momento uniforme equivalente β_M , ver a Figura 4.2.

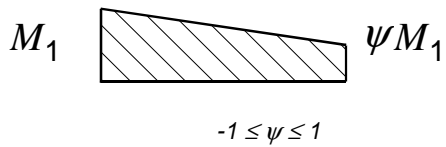
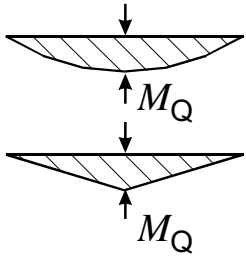
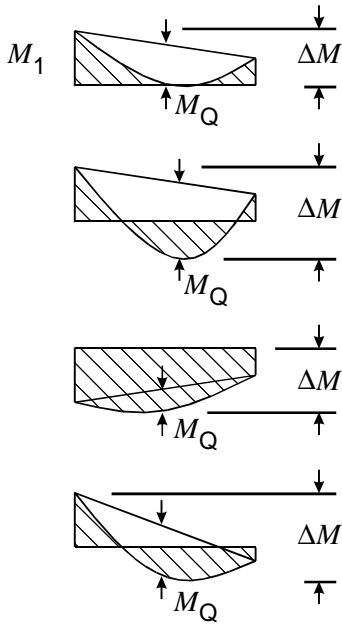
Diagrama de momentos	Coeficiente de momento uniforme equivalente β_M
<p><i>Momentos nas extremidades</i></p>  <p>M_1 ψM_1</p> <p>$-1 \leq \psi \leq 1$</p>	<p>$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7 \psi$</p>
<p><i>Momentos devidos a cargas laterais no plano</i></p>  <p>M_Q M_Q</p>	<p>$\beta_{M,Q} = 1,3$</p> <p>$\beta_{M,Q} = 1,4$</p>
<p><i>Momentos devidos a cargas laterais no plano e a momentos nas extremidades</i></p>  <p>M_1 M_Q ΔM</p> <p>M_Q ΔM</p> <p>M_Q ΔM</p> <p>M_Q ΔM</p>	<p>$\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$</p> <p>$M_Q = \max M$ devido unicamente à carga lateral</p> <p>$\Delta M \left\{ \begin{array}{l} \max M \text{ para o diagrama de momentos sem mudança de sinal} \\ \max M + \min M \text{ para o diagrama de momentos com mudança de sinal} \end{array} \right.$</p>

Figura 4.2 – Coeficientes de momento uniforme equivalente

4.2.3.6 Elementos com secções transversais da Classe 4

(1) Para os elementos com secções transversais da Classe 4, que não sejam elementos traccionados, poderá admitir-se que se verifica o disposto em 4.2.1(1) se no instante t a temperatura do aço θ_a em todas as secções transversais não for superior a θ_{crit} .

NOTA 1: Para mais informações, ver o Anexo E.

NOTA 2: O limite θ_{crit} poderá ser escolhido no Anexo Nacional. O valor recomendado é $\theta_{crit} = 350$ °C.

4.2.4 Temperatura crítica

(1) Como alternativa a 4.2.3, poderá efectuar-se uma verificação no domínio da temperatura.

(2) Excepto quando se consideram os critérios de deformação ou quando é necessário ter em conta os fenómenos de instabilidade, a temperatura crítica $\theta_{a,cr}$ do aço carbono de acordo com 1.1.2(6) no instante t para uma distribuição de temperatura uniforme num elemento poderá ser determinada para qualquer grau de utilização μ_0 no instante $t = 0$ utilizando:

$$\theta_{a,cr} = 39,19 \ln \left[\frac{1}{0,9674 \mu_0^{3,833}} - 1 \right] + 482 \quad (4.22)$$

em que μ_0 não deverá ser inferior a 0,013.

NOTA: Exemplos de valores de $\theta_{a,cr}$ para valores de μ_0 entre 0,22 e 0,80 são indicados no Quadro 4.1.

(3) Para elementos com secções transversais das Classes 1, 2 ou 3 e para todos os elementos traccionados, o grau de utilização μ_0 no instante $t = 0$ poderá ser obtido de:

$$\mu_0 = E_{fi,d} / R_{fi,d,0} \quad (4.23)$$

em que:

$R_{fi,d,0}$ valor de $R_{fi,d,t}$ para o instante $t = 0$, de 4.2.3;

$E_{fi,d}$ e $R_{fi,d,t}$ como definidos em 4.2.1(1).

(4) Em alternativa, para os elementos traccionados e para as vigas onde a encurvadura lateral não representa um modo de colapso potencial, μ_0 poderá ser obtido, de modo conservativo, a partir de:

$$\mu_0 = \eta_{fi} [\chi_{M,fi} / \chi_{M0}] \quad (4.24)$$

em que:

η_{fi} factor de redução definido em 2.4.2(3).

Quadro 4.1 – Temperatura crítica $\theta_{a,cr}$ para os valores do grau de utilização μ_0

μ_0	$\theta_{a,cr}$	μ_0	$\theta_{a,cr}$	μ_0	$\theta_{a,cr}$
0,22	711	0,42	612	0,62	549
0,24	698	0,44	605	0,64	543
0,26	685	0,46	598	0,66	537
0,28	674	0,48	591	0,68	531
0,30	664	0,50	585	0,70	526
0,32	654	0,52	578	0,72	520
0,34	645	0,54	572	0,74	514
0,36	636	0,56	566	0,76	508
0,38	628	0,58	560	0,78	502
0,40	620	0,60	554	0,80	496

NOTA: O Anexo Nacional poderá fornecer valores por defeito para as temperaturas críticas.

4.2.5 Desenvolvimento da temperatura no aço

4.2.5.1 Estruturas de aço interiores sem protecção

(1) Para uma distribuição equivalente de temperatura uniforme na secção transversal, o aumento de temperatura $\Delta\theta_{a,t}$ num elemento de aço não protegido durante um intervalo de tempo Δt deverá ser determinado a partir de:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{A_m/V}{c_a \rho_a} \dot{h}_{net,d} \Delta t \quad (4.25)$$

em que:

- k_{sh} factor de correcção para o efeito de sombra, ver (2);
- A_m/V factor de massividade para os elementos de aço não protegidos [1/m];
- A_m área da superfície do elemento por unidade de comprimento [m²/m];
- V volume do elemento por unidade de comprimento [m³/m];
- c_a calor específico do aço, definido na secção 3 [J/kgK];
- $\dot{h}_{net,d}$ valor de cálculo do fluxo de calor efectivo por unidade de área [W/m²];
- Δt intervalo de tempo [s];
- ρ_a massa específica do aço, definida na secção 3 [kg/m³].

(2) Para as secções em I sujeitas às acções do fogo nominal, o factor de correcção para o efeito de sombra poderá ser determinado a partir de:

$$k_{sh} = 0,9 [A_m/V]_b/[A_m/V] \quad (4.26a)$$

em que:

$[A_m/V]_b$ factor de massividade calculado como se o perfil tivesse protecção em caixão.

Em todos os outros casos, o valor de k_{sh} deverá ser considerado igual a:

$$k_{sh} = [A_m/V]_b / [A_m/V] \quad (4.26b)$$

NOTA 1: Para as secções transversais de forma convexa (por exemplo, secções ocas rectangulares ou circulares) totalmente envolvidas pelo fogo, o efeito de sombra não intervém e, conseqüentemente, o factor de correcção k_{sh} é igual à unidade.

NOTA 2: Ignorar o efeito de sombra (ou seja, $k_{sh} = 1$), conduz a soluções conservativas.

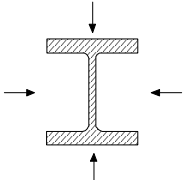
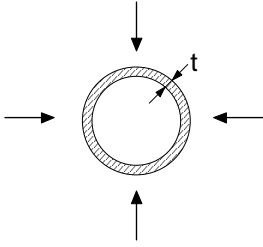
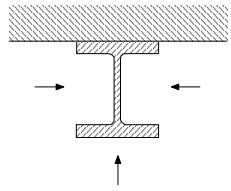
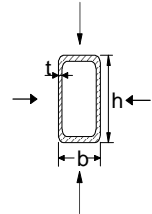
(3) O valor de $\dot{h}_{net,d}$ deverá ser obtido da EN 1991-1-2 utilizando $\epsilon_f = 1,0$ e ϵ_m de acordo com 2.2(2), em que ϵ_f , ϵ_m são definidos na EN 1991-1-2.

(4) Não deverão ser utilizados valores de Δt superiores a 5 s.

(5) Na expressão (4.26) não deverão ser utilizados valores do factor de massividade A_m/V inferiores a 10 m^{-1} .

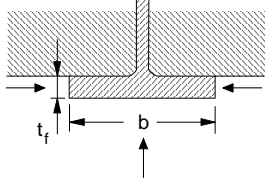
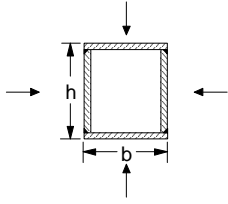
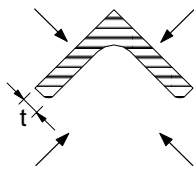
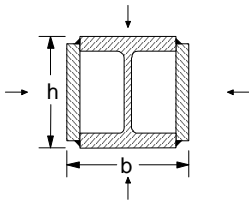
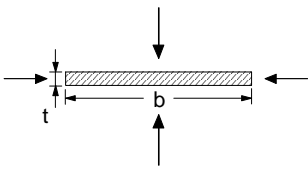
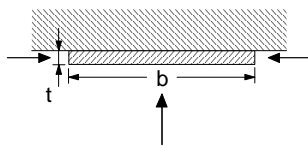
NOTA: No Quadro 4.2 são indicadas algumas expressões para obter os valores de cálculo do factor de massividade A_m/V para elementos de aço não protegidos.

Quadro 4.2 – Factor de massividade A_m/V para elementos de aço não protegidos

<p>Secção aberta exposta ao fogo em todos os lados:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{\text{perímetro}}{\text{área da secção transversal}}$ 	<p>Tubo exposto ao fogo em todos os lados: $A_m/V = 1/t$</p> 
<p>Secção aberta exposta ao fogo em três lados:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{\text{superfície exposta ao fogo}}{\text{área da secção transversal}}$ 	<p>Secção tubular (ou secção em caixão soldada de espessura uniforme) exposta ao fogo em todos os lados:</p> <p>Se $t \ll b$: $A_m/V \approx 1/t$</p> 

(continua)

Quadro 4.2 – Factor de massividade A_m/V para elementos de aço não protegidos (conclusão)

<p>Banzo de secção em I exposto ao fogo em três lados:</p> $A_m/V = (b + 2t_f)/(bt_f)$ <p>Se $t \ll b$: $A_m/V \approx 1/t_f$</p> 	<p>Secção em caixão soldada exposta ao fogo em todos os lados:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{2(b+h)}{\text{área da secção transversal}}$ <p>Se $t \ll b$: $A_m/V \approx 1/t$</p> 
<p>Cantoneira exposta ao fogo em todos os lados:</p> $A_m/V = 2/t$ 	<p>Secção em I com reforço em caixão, exposta ao fogo em todos os lados:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{2(b+h)}{\text{área da secção transversal}}$ 
<p>Barra plana exposta ao fogo em todos os lados:</p> $A_m/V = 2(b+t)/(bt)$ <p>Se $t \ll b$: $A_m/V \approx 2/t$</p> 	<p>Barra plana exposta ao fogo em três lados:</p> $A_m/V = (b + 2t)/(bt)$ <p>Se $t \ll b$: $A_m/V \approx 1/t$</p> 

4.2.5.2 Estruturas de aço interiores isoladas por meio de material de protecção contra incêndio

(1) Para uma distribuição de temperatura uniforme numa secção transversal, o aumento de temperatura $\Delta\theta_{a,t}$ de um elemento de aço isolado durante um intervalo de tempo Δt deverá ser determinado a partir de:

$$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p A_p / V}{d_p c_a \rho_a} \frac{(\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{(1 + \phi/3)} \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \Delta\theta_{g,t} \quad (\text{mas } \Delta\theta_{a,t} \geq 0 \text{ se } \Delta\theta_{g,t} > 0) \quad (4.27)$$

com:

$$\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} d_p A_p / V$$

em que:

A_p/V	factor de massividade para os elementos de aço isolados por meio de material de protecção contra incêndio;
A_p	área apropriada do material de protecção contra incêndio por unidade de comprimento do elemento [m^2/m];
V	volume do elemento por unidade de comprimento [m^3/m];
c_a	calor específico do aço dependente da temperatura, definido na secção 3 [J/kgK];
c_p	calor específico do material de protecção contra incêndio independente da temperatura [J/kgK];
d_p	espessura do material de protecção contra incêndio [m];
Δt	intervalo de tempo [s];
$\theta_{a,t}$	temperatura do aço no instante t [$^{\circ}\text{C}$];
$\theta_{g,t}$	temperatura ambiente dos gases no instante t [$^{\circ}\text{C}$];
$\Delta\theta_{g,t}$	aumento da temperatura ambiente dos gases durante o intervalo de tempo Δt [K];
λ_p	condutibilidade térmica do sistema de protecção contra incêndio [W/mK];
ρ_a	massa específica do aço, definida na secção 3 [kg/m^3];
ρ_p	massa específica do material de protecção contra incêndio [kg/m^3].

(2) Os valores de c_p , λ_p e ρ_p deverão ser determinados tal como especificado na secção 3.

(3) Não deverão ser utilizados valores de Δt superiores a 30 s.

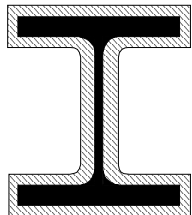
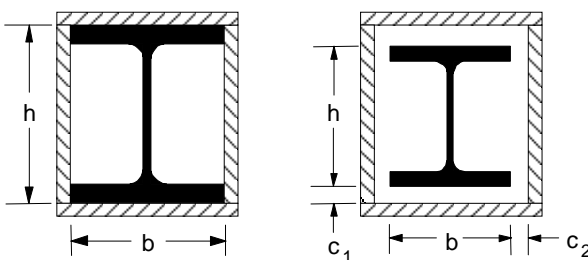
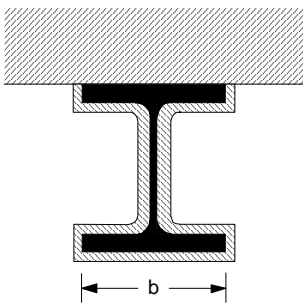
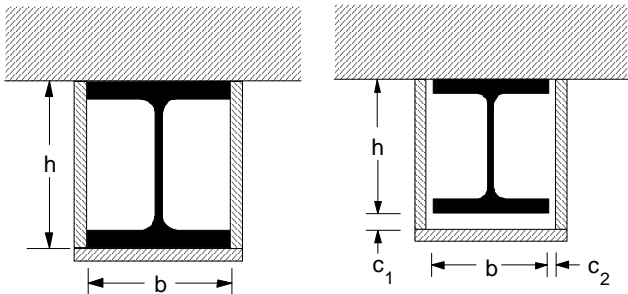
(4) De uma forma geral, a área A_p do material de protecção contra incêndio deverá ser considerada como a área da sua superfície interior, mas para revestimentos em caixão com uma folga em volta do elemento de aço poderá adoptar-se um valor idêntico ao que seria adoptado para um revestimento em caixão sem folga.

NOTA: No Quadro 4.3 são indicados alguns valores de cálculo do factor de massividade A_p/V para elementos de aço isolados.

(5) Para os materiais de protecção contra incêndio húmidos, o cálculo do aumento da temperatura do aço $\Delta\theta_a$ poderá ser modificado para ter em conta um atraso na subida da temperatura do aço quando atinge os 100 $^{\circ}\text{C}$. Este tempo de atraso deverá ser determinado por um método conforme à ENV 13381-4.

(6) Como alternativa a 4.2.5.2(1), a temperatura uniforme de um elemento de aço isolado após um determinado período de exposição ao fogo padrão poderá ser obtida utilizando ábacos de cálculo obtidos de acordo com a ENV 13381-4.

Quadro 4.3 – Factor de massividade A_p/V para elementos de aço isolados por meio de material de protecção contra incêndio

Esquema	Descrição	Factor de massividade (A_p/V)
	Revestimento de contorno com espessura uniforme	$\frac{\text{perímetro do aço}}{\text{área da secção transversal do aço}}$
	Revestimento em caixão com espessura uniforme ¹⁾	$\frac{2(b + h)}{\text{área da secção transversal do aço}}$
	Revestimento de contorno com espessura uniforme, exposto ao fogo em três lados	$\frac{\text{perímetro do aço} - b}{\text{área da secção transversal do aço}}$
	Revestimento em caixão com espessura uniforme, exposto ao fogo em três lados ¹⁾	$\frac{2h + b}{\text{área da secção transversal do aço}}$

¹⁾ Normalmente as dimensões da folga, c_1 e c_2 , não deverão exceder $h/4$.

4.2.5.3 Estrutura de aço interior num vazio que está protegido por barreiras contra o calor

(1) As disposições a seguir indicadas aplicam-se aos casos seguintes:

- elementos de aço num vazio que tenham um pavimento na parte superior e uma barreira horizontal contra o calor na parte inferior;
- elementos de aço num vazio que tenham barreiras verticais contra o calor em ambos os lados;

desde que, em ambos os casos, haja um afastamento entre a barreira contra o calor e o elemento. Não se aplicam se a barreira contra o calor estiver em contacto directo com o elemento.

(2) Para a estrutura de aço interior protegida por barreiras contra o calor, o cálculo do aumento da temperatura do aço $\Delta\theta_a$ deverá basear-se nos métodos indicados em 4.2.5.1 ou 4.2.5.2 conforme apropriado, considerando a temperatura ambiente dos gases $\theta_{g,i}$ igual à temperatura dos gases no vazio.

(3) As propriedades e o desempenho das barreiras contra o calor utilizadas no projecto deverão ter sido determinados utilizando um método de ensaio de acordo com a ENV 13381-1 ou a ENV 13381-2, conforme apropriado.

(4) O desenvolvimento da temperatura no vazio onde se encontram os elementos de aço deverá ser determinado com base numa medição de acordo com a ENV 13381-1 ou a ENV 13381-2, conforme apropriado.

4.2.5.4 Estrutura de aço exterior

(1) A temperatura das estruturas de aço exteriores deverá ser determinada tendo em conta:

- o fluxo de calor por radiação proveniente do compartimento de incêndio;
- o fluxo de calor por radiação e o fluxo de calor por convecção provenientes das chamas que emanam das aberturas;
- a perda de calor por radiação e por convecção da estrutura de aço para a atmosfera ambiente;
- as dimensões e a localização dos elementos estruturais.

(2) Para proteger um elemento de aço exterior da transferência de calor por radiação, poderão colocar-se barreiras contra o calor num, em dois ou em três lados desse elemento.

(3) As barreiras contra o calor deverão:

- estar directamente presas ao lado do elemento de aço que pretendem proteger; ou
- ser suficientemente grandes para proteger completamente esse lado do fluxo de calor por radiação previsto.

(4) As barreiras contra o calor referidas no Anexo B não deverão ser combustíveis e deverão possuir uma resistência ao fogo igual a pelo menos EI 30 de acordo com a EN ISO 13501-2.

(5) A temperatura na estrutura de aço exterior protegida pelas barreiras contra o calor deverá ser determinada tal como requerido em 4.2.5.4(1), admitindo que não há transferência de calor por radiação para os lados que estão protegidos por essas barreiras.

(6) Os cálculos poderão basear-se nas condições estacionárias resultantes de um balanço de calor estacionário utilizando os métodos indicados no Anexo B.

(7) O cálculo utilizando o Anexo B desta Norma deverá basear-se no modelo indicado no Anexo B da EN 1991-1-2 que descreve as condições no compartimento de incêndio e as chamas que emanam das aberturas, nas quais se deverá basear o cálculo dos fluxos de calor por radiação e por convecção.

4.3 Modelos de cálculo avançados

4.3.1 Generalidades

- (1) Os métodos de cálculo avançados deverão proporcionar uma análise realista das estruturas expostas ao fogo. Deverão basear-se no comportamento físico fundamental dos materiais de uma forma tal que conduza a uma aproximação fiável do comportamento provável em situação de incêndio do componente estrutural considerado.
- (2) Os modos de colapso potenciais não abrangidos pelo método de cálculo avançado (incluindo a encurvadura local e a rotura por corte) deverão ser eliminados através de meios apropriados.
- (3) Os métodos de cálculo avançados deverão incluir modelos de cálculo separados 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 da mesma (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.
- (5) Poderão utilizar-se métodos de cálculo avançados com qualquer tipo de secção transversal.

4.3.2 Resposta térmica

- (1) Os métodos de cálculo avançados para a resposta térmica deverão basear-se em princípios e hipóteses reconhecidos da teoria da transferência de calor.
- (2) O modelo de resposta térmica deverá considerar:
 - as acções térmicas relevantes especificadas na EN 1991-1-2;
 - a variação das propriedades térmicas do material com a temperatura, ver a secção 3.
- (3) Os efeitos da exposição térmica não uniforme e da transferência de calor para os elementos de construção adjacentes poderão ser incluídos sempre que for apropriado.
- (4) A influência do teor de água e da migração da humidade no interior do material de protecção contra incêndio poderá ser, de modo conservativo, desprezada.

4.3.3 Resposta mecânica

- (1) Os métodos de cálculo avançados para a resposta mecânica deverão 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) Deverão ser tidos em conta os efeitos de extensões e tensões termicamente induzidas, tanto pelo aumento da temperatura como pelos gradientes térmicos.
- (3) O modelo de resposta mecânica deverá também ter em conta:
 - os efeitos combinados das acções mecânicas, das imperfeições geométricas e das acções térmicas;
 - as propriedades mecânicas do material dependentes da temperatura, ver a secção 3;
 - os efeitos geométricos não lineares;
 - os efeitos das propriedades não lineares dos materiais, incluindo os efeitos desfavoráveis de cargas e descargas na rigidez estrutural.

(4) Desde que se utilizem as relações tensões-extensões indicadas na secção 3, não é necessário ter explicitamente em conta os efeitos da fluência térmica transiente.

(5) As deformações no estado limite último implícitas no método de cálculo deverão ser limitadas para assegurar que se mantém a compatibilidade entre todas as partes da estrutura.

(6) O dimensionamento deverá ter em conta o estado limite último para além do qual as deformações calculadas da estrutura provocariam o colapso devido à perda de apoio adequado proporcionado a um dos elementos.

(7) Para a análise de elementos verticais isolados, deverá adoptar-se uma imperfeição inicial sinusoidal com um valor máximo de $h/1000$ a meia altura, quando não for especificado nas normas de produtos aplicáveis.

4.3.4 Validação dos modelos de cálculo avançados

(1) Deverá 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) Os parâmetros críticos deverão 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.

Anexo A

(normativo)

Endurecimento do aço carbono a temperaturas elevadas

(1) Para temperaturas inferiores a 400 °C, a opção de endurecimento alternativa referida em 3.2 poderá ser utilizada como se segue:

– para $0,02 < \varepsilon < 0,04$:

$$\sigma_a = 50(f_{u,\theta} - f_{y,\theta}) \varepsilon + 2f_{y,\theta} - f_{u,\theta} \quad (\text{A.1a})$$

– para $0,04 \leq \varepsilon \leq 0,15$:

$$\sigma_a = f_{u,\theta} \quad (\text{A.1b})$$

– para $0,15 < \varepsilon < 0,20$:

$$\sigma_a = f_{u,\theta} [1 - 20(\varepsilon - 0,15)] \quad (\text{A.1c})$$

– para $\varepsilon \geq 0,20$:

$$\sigma_a = 0,00 \quad (\text{A.1d})$$

em que:

$f_{u,\theta}$ tensão de rotura a temperaturas elevadas, tendo em conta o endurecimento.

NOTA: A relação tensões-extensões alternativa para o aço, tendo em conta o endurecimento, é representada na Figura A.1.

(2) A tensão de rotura a temperaturas elevadas, tendo em conta o endurecimento, deverá ser determinada como se segue:

– para $\theta_a < 300$ °C:

$$f_{u,\theta} = 1,25f_{y,\theta} \quad (\text{A.2a})$$

– para 300 °C $\leq \theta_a < 400$ °C:

$$f_{u,\theta} = f_{y,\theta} (2 - 0,0025 \theta_a) \quad (\text{A.2b})$$

– para $\theta_a \geq 400$ °C:

$$f_{u,\theta} = f_{y,\theta} \quad (\text{A.2c})$$

NOTA: A variação com a temperatura da relação tensões-extensões alternativa é representada na Figura A.2.

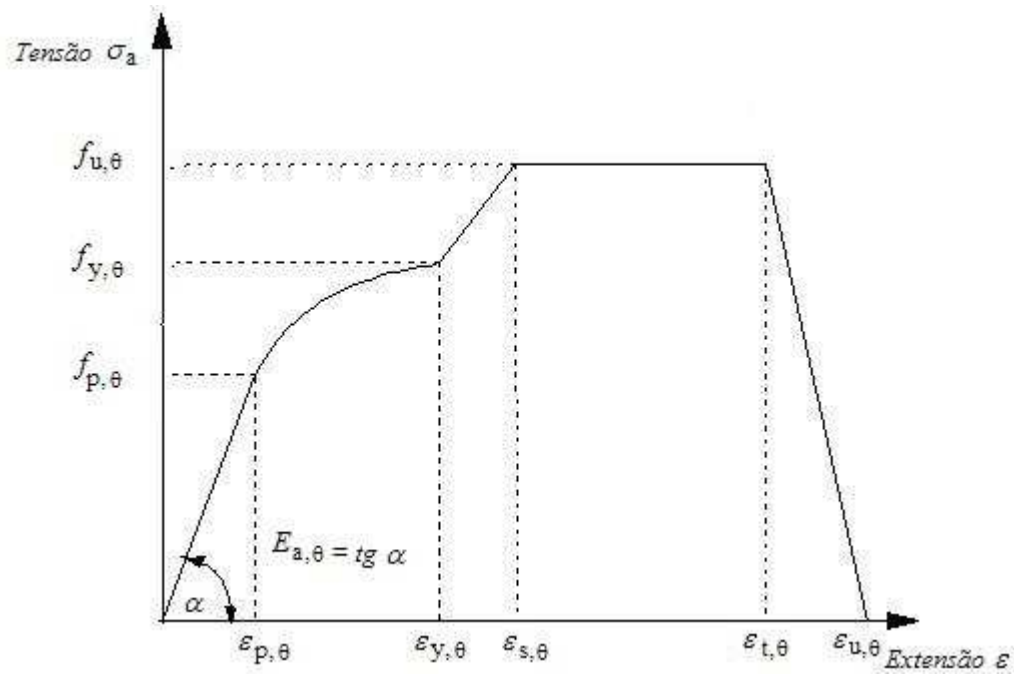


Figura A.1 – Relação tensões-extensões alternativa para o aço, tendo em conta o endurecimento

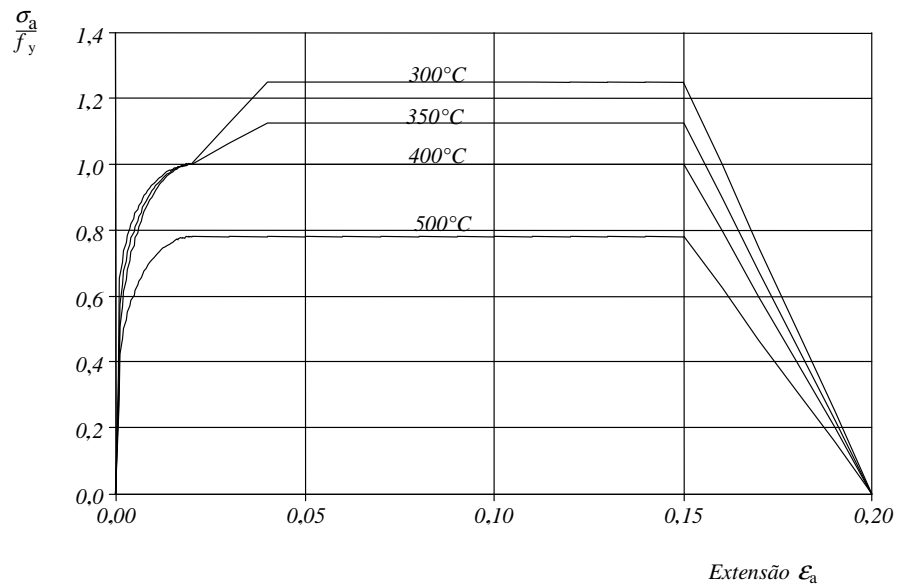


Figura A.2 – Relações tensões-extensões alternativas para o aço a temperaturas elevadas, tendo em conta o endurecimento

Anexo B

(normativo)

Transferência de calor para estruturas de aço exteriores

B.1 Generalidades

B.1.1 Bases

- (1) No presente Anexo B, admite-se que o compartimento de incêndio está confinado apenas a um piso. Admite-se que todas as janelas ou outras aberturas semelhantes no compartimento de incêndio são rectangulares.
- (2) Deverá utilizar-se o disposto no Anexo B da EN 1991-1-2 para determinar a temperatura no compartimento de incêndio, as dimensões e as temperaturas das chamas que emanam das aberturas, assim como os parâmetros de radiação e convecção.
- (3) Deverá fazer-se uma distinção entre os elementos que não estão envolvidos pelas chamas e os elementos que estão envolvidos pelas chamas, consoante a sua localização relativamente às aberturas nas paredes do compartimento de incêndio.
- (4) Deverá admitir-se que um elemento que não esteja envolvido pelas chamas recebe calor por radiação de todas as aberturas nesse lado do compartimento de incêndio e das chamas que emanam de todas essas aberturas.
- (5) Deverá admitir-se que um elemento que esteja envolvido pelas chamas recebe calor por convecção das chamas que o envolvem e também calor por radiação proveniente das chamas que o envolvem e da abertura do compartimento de incêndio de onde elas emanam. A transferência de calor por radiação proveniente de outras chamas e de outras aberturas poderá ser desprezada.

B.1.2 Convenções para as dimensões

- (1) A convenção para as grandezas geométricas poderá ser obtida da Figura B.1.

B.1.3 Balanço de calor

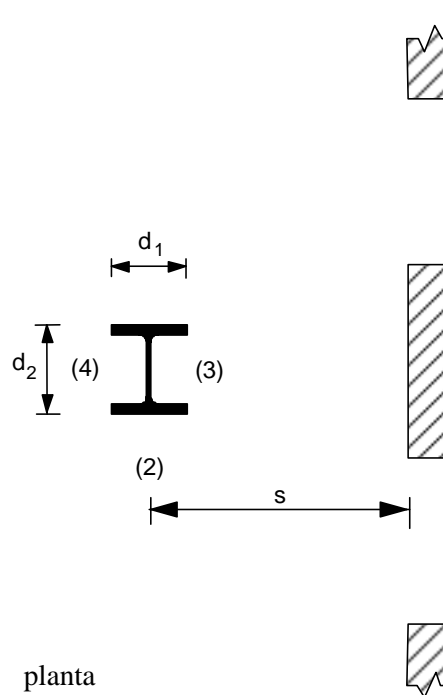
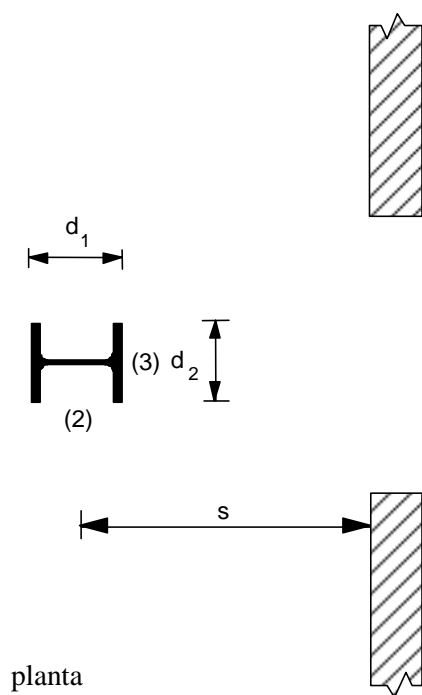
- (1) Para um elemento não envolvido pelas chamas, a temperatura média do elemento de aço T_m [K] deverá ser determinada a partir da resolução da seguinte equação de balanço de calor:

$$\sigma T_m^4 + \alpha T_m = \Sigma I_z + \Sigma I_f + 293\alpha \quad (\text{B.1})$$

em que:

- σ constante de Stefan Boltzmann [$56,7 \times 10^{-12}$ kW/m²K⁴];
- α coeficiente de transferência de calor por convecção [kW/m²K];
- I_z fluxo de calor por radiação proveniente de uma chama [kW/m²];
- I_f fluxo de calor por radiação proveniente de uma abertura [kW/m²].

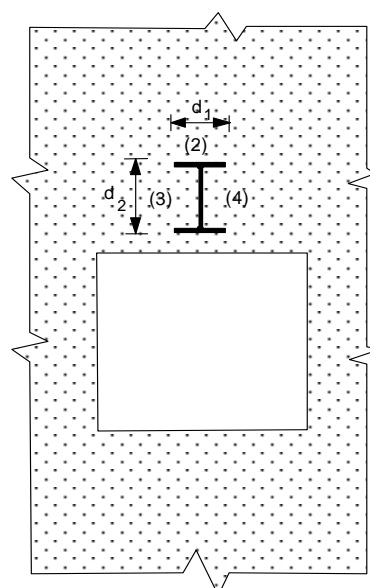
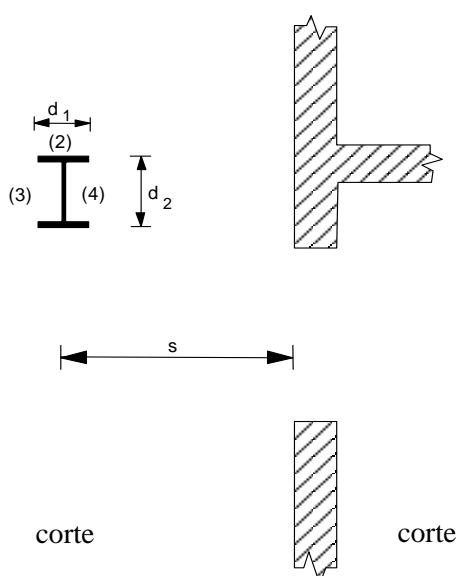
- (2) O coeficiente de transferência de calor por convecção α deverá ser obtido do Anexo B da EN 1991-1-2 para a situação “sem tiragem forçada” ou “com tiragem forçada”, conforme apropriado, utilizando uma dimensão da secção transversal efectiva $d = (d_1 + d_2)/2$.



1) Coluna oposta a uma abertura

2) Coluna entre aberturas

a) Colunas



1) Viga paralela à parede

2) Viga perpendicular à parede

b) Vigas

Figura B.1 – Dimensões e faces dos elementos

(3) Para um elemento envolvido pelas chamas, a temperatura média do elemento de aço T_m [K] deverá ser determinada a partir da resolução da seguinte equação de balanço de calor:

$$\sigma T_m^4 + \alpha T_m = I_z + I_f + \alpha T_z \quad (\text{B.2})$$

em que:

T_z temperatura das chamas [K];

I_z fluxo de calor por radiação proveniente de uma chama [kW/m²];

I_f fluxo de calor por radiação proveniente da abertura correspondente [kW/m²].

(4) O fluxo de calor por radiação I_z proveniente das chamas deverá ser determinado em função da situação e do tipo de elemento como se segue:

– colunas não envolvidas pelas chamas: ver B.2;

– vigas não envolvidas pelas chamas: ver B.3;

– colunas envolvidas pelas chamas: ver B.4;

– vigas total ou parcialmente envolvidas pelas chamas: ver B.5.

Outros casos poderão ser tratados de forma análoga, utilizando adaptações apropriadas do tratamento indicado em B.2 a B.5.

(5) O fluxo de calor por radiação I_f proveniente de uma abertura deverá ser determinado a partir de:

$$I_f = \phi_f \varepsilon_f (1 - a_z) \sigma T_f^4 \quad (\text{B.3})$$

em que:

ϕ_f factor de vista global do elemento para a transferência de calor por radiação a partir dessa abertura;

ε_f emissividade da abertura;

a_z absorptividade das chamas;

T_f temperatura do incêndio [K], do Anexo B da EN 1991-1-2.

(6) A emissividade ε_f de uma abertura deverá ser considerada como uma unidade, ver o Anexo B da EN 1991-1-2.

(7) A absorptividade a_z das chamas deverá ser determinada de acordo com B.2 a B.5, conforme apropriado.

B.1.4 Factores de vista globais

(1) O factor de vista global ϕ_f de um elemento, para a transferência de calor por radiação proveniente de uma abertura, deverá ser determinado a partir de:

$$\phi_f = \frac{(C_1 \phi_{f,1} + C_2 \phi_{f,2}) d_1 + (C_3 \phi_{f,3} + C_4 \phi_{f,4}) d_2}{(C_1 + C_2) d_1 + (C_3 + C_4) d_2} \quad (\text{B.4})$$

em que:

$\phi_{f,i}$ factor de vista da face i do elemento para essa abertura, ver o Anexo G da EN 1991-1-2;

d_i dimensão da secção transversal da face i do elemento;

C_i coeficiente de protecção da face i do elemento, com os seguintes valores:

- para uma face protegida: $C_i = 0$;
- para uma face não protegida: $C_i = 1$.

(2) O factor de vista $\phi_{t,i}$ para a face de um elemento, a partir da qual a abertura não é visível, deverá ser tomado como igual a zero.

(3) O factor de vista global ϕ_z de um elemento, para a transferência de calor por radiação proveniente de uma chama, deverá ser determinado a partir de:

$$\phi_z = \frac{(C_1\phi_{z,1} + C_2\phi_{z,2})d_1 + (C_3\phi_{z,3} + C_4\phi_{z,4})d_2}{(C_1 + C_2)d_1 + (C_3 + C_4)d_2} \quad (\text{B.5})$$

em que:

$\phi_{z,i}$ factor de vista da face i do elemento para essa chama, ver o Anexo G da EN 1991-1-2.

(4) Os factores de vista $\phi_{z,i}$ das faces de cada elemento, para a transferência de calor por radiação proveniente de chamas, poderão basear-se em dimensões rectangulares equivalentes das chamas. As dimensões e as localizações dos rectângulos equivalentes que representam a frente e os lados de uma chama deverão ser determinadas, para este efeito, como se indica em B.2 para as colunas e em B.3 para as vigas. Para todos os outros efeitos, deverão utilizar-se as dimensões das chamas de acordo com o Anexo B da EN 1991-1-2.

(5) O factor de vista $\phi_{z,i}$ para a face de um elemento, a partir da qual a chama não é visível, deverá ser considerado igual a zero.

(6) A face de um elemento poderá ser protegida por uma barreira contra o calor, ver 4.2.5.4. A face de um elemento que esteja imediatamente contígua à parede do compartimento também poderá ser tratada como estando protegida, desde que não haja aberturas nessa parte da parede. Todas as outras faces do elemento deverão ser tratadas como não protegidas.

B.2 Coluna não envolvida pelas chamas

B.2.1 Transferência de calor por radiação

(1) Deverá fazer-se uma distinção entre uma coluna oposta a uma abertura e uma coluna localizada entre aberturas.

NOTA: São apresentadas ilustrações na Figura B.2.

(2) Se a coluna estiver oposta a uma abertura, o fluxo de calor por radiação I_z proveniente da chama deverá ser determinado a partir de:

$$I_z = \phi_z \varepsilon_z \sigma T_z^4 \quad (\text{B.6})$$

em que:

ϕ_z factor de vista global da coluna para o calor proveniente da chama, ver B.1.4;

ε_z emissividade da chama, ver B.2.2;

T_z temperatura da chama [K], de B.2.3.

NOTA: São apresentadas ilustrações na Figura B.3.

(3) Se a coluna estiver entre aberturas, o fluxo total de calor por radiação I_z proveniente das chamas de cada lado deverá ser determinado a partir de:

$$I_z = (\phi_{z,m} \varepsilon_{z,m} + \phi_{z,n} \varepsilon_{z,n}) \sigma T_z^4 \quad (\text{B.7})$$

em que:

$\phi_{z,m}$ factor de vista global da coluna para o calor proveniente das chamas no lado m , ver B.1.4;

$\phi_{z,n}$ factor de vista global da coluna para o calor proveniente das chamas no lado n , ver B.1.4;

$\varepsilon_{z,m}$ emissividade total das chamas no lado m , ver B.2.2;

$\varepsilon_{z,n}$ emissividade total das chamas no lado n , ver B.2.2.

NOTA: São apresentadas ilustrações na Figura B.4.

B.2.2 Emissividade das chamas

(1) Se a coluna estiver oposta a uma abertura, a emissividade das chamas ε_z deverá ser determinada a partir da expressão de ε indicada no Anexo B da EN 1991-1-2, utilizando a espessura da chama λ ao nível do topo das aberturas. Desde que não haja uma pala ou uma varanda acima da abertura, λ poderá ser considerado como segue:

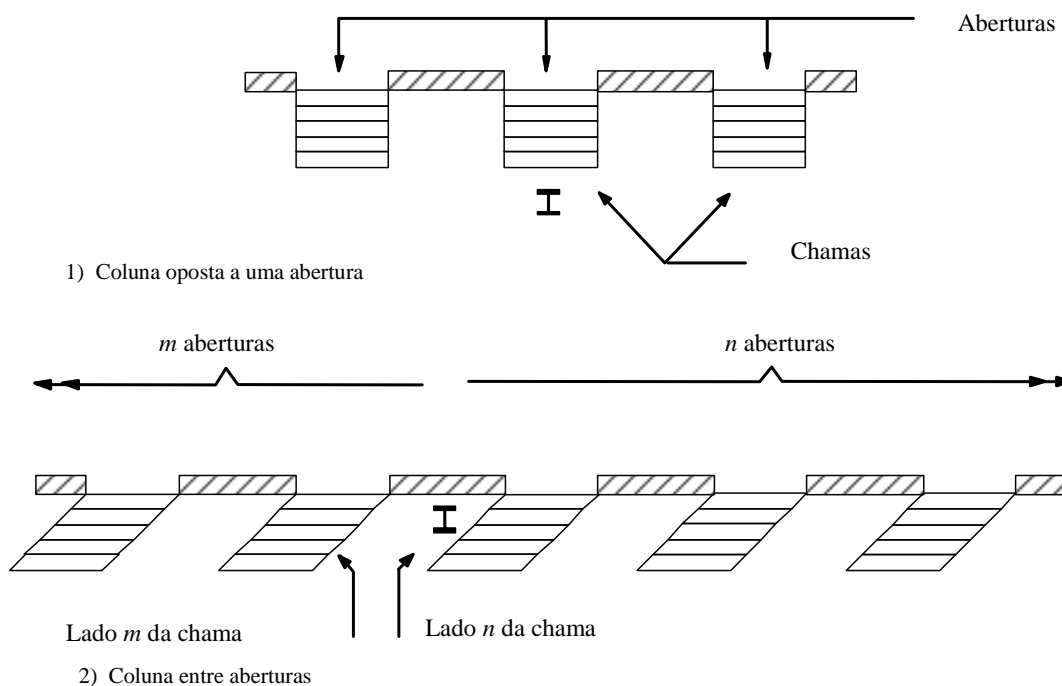
– para a situação “sem tiragem forçada”:

$$\lambda = 2h/3 \quad (\text{B.8a})$$

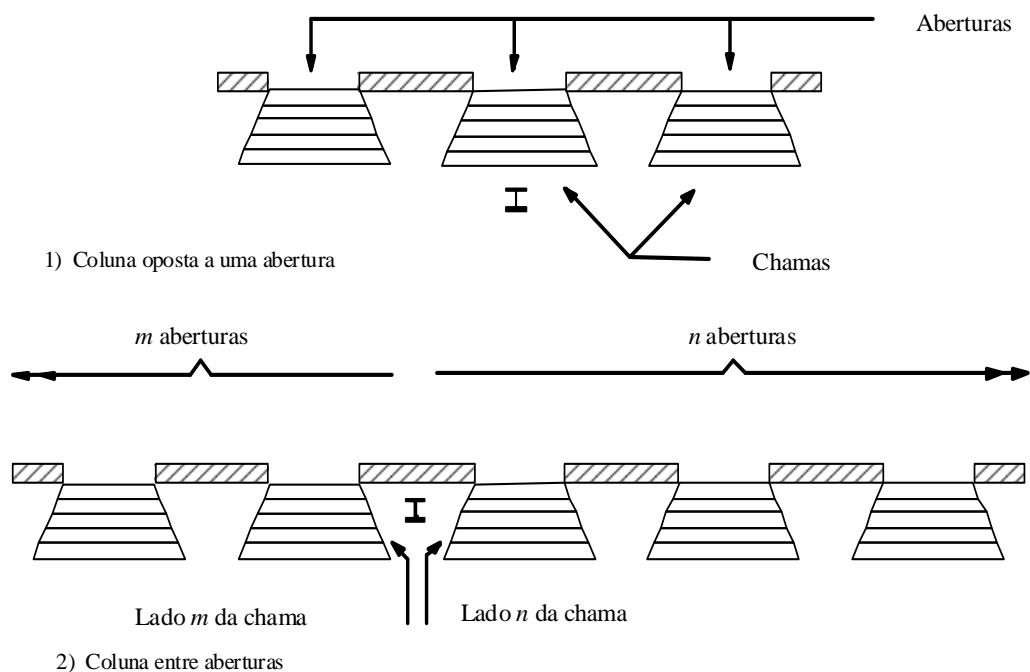
– para a situação “com tiragem forçada”:

$$\lambda = x \text{ mas } \lambda \leq hx/z \quad (\text{B.8b})$$

em que h , x e z são indicados no Anexo B da EN 1991-1-2.

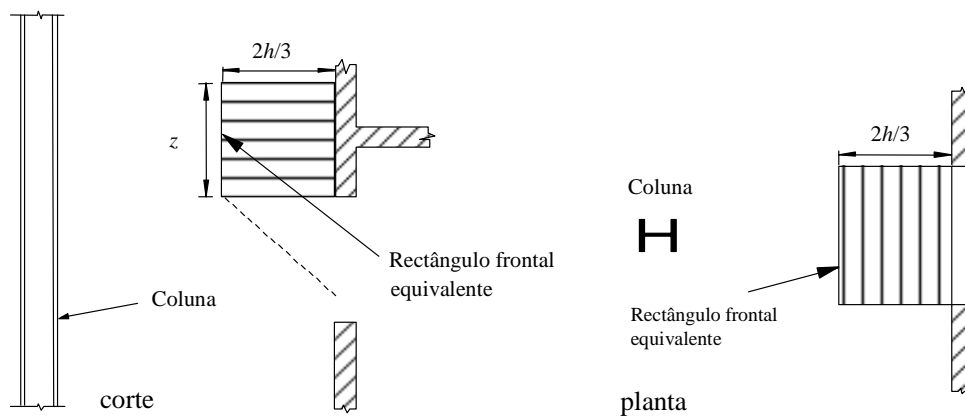


a) Situação “sem tiragem forçada”

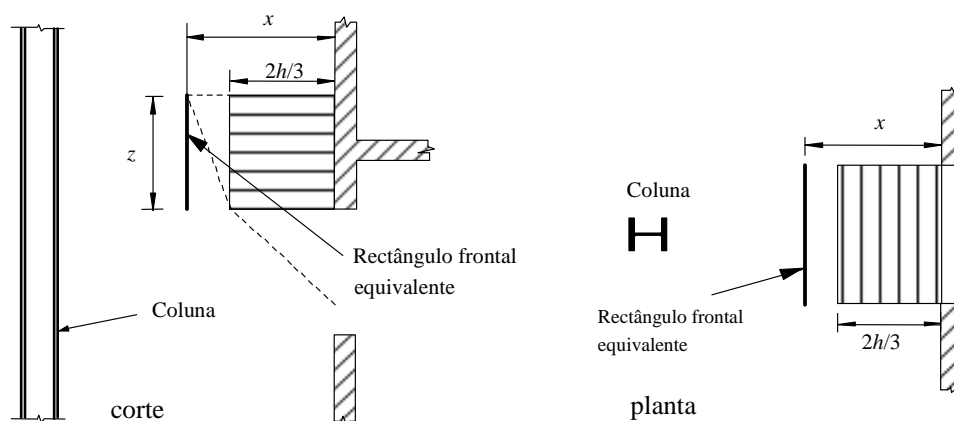


b) Situação “com tiragem forçada”

Figura B.2 – Posições da coluna

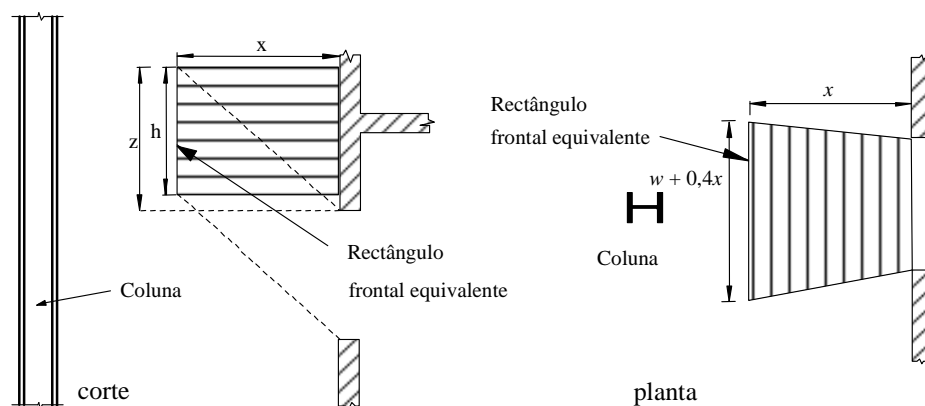


1) parede acima e $h < 1,25 w$



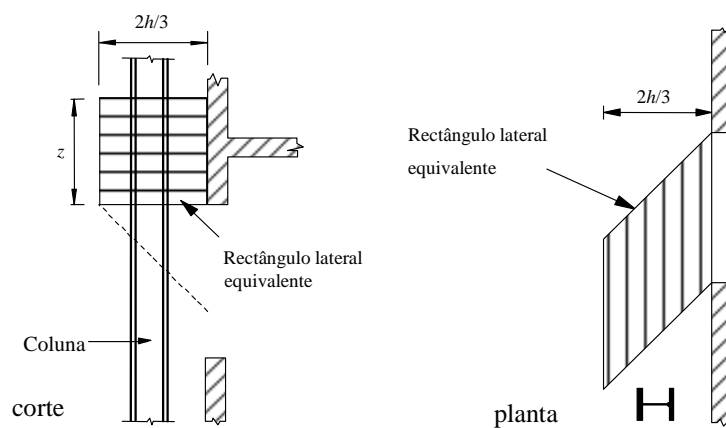
2) parede acima e $h > 1,25 w$ ou sem parede acima

a) “Sem tiragem forçada”

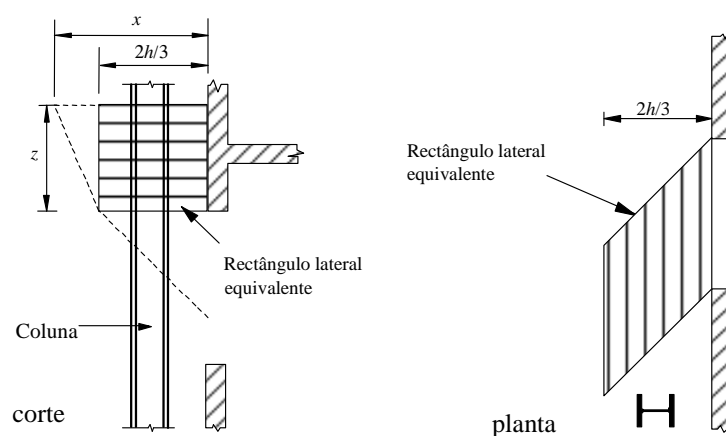


b) “Com tiragem forçada”

Figura B.3 – Coluna oposta a uma abertura

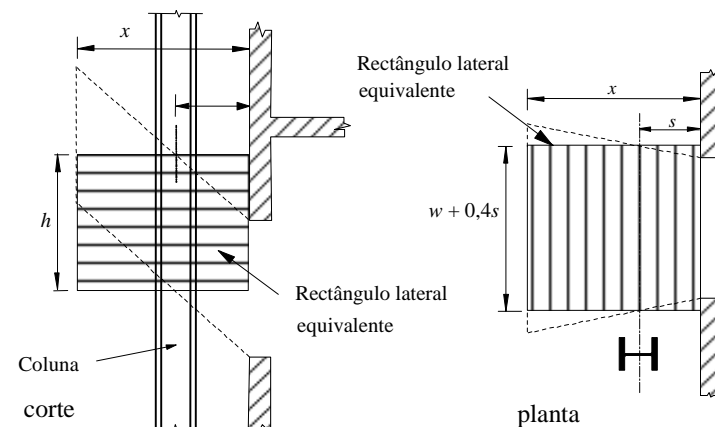


1) parede acima e $h < 1,25 w$



2) parede acima e $h > 1,25 w$ ou sem parede acima

a) “Sem tiragem forçada”



b) “Com tiragem forçada”

Figura B.4 – Coluna entre aberturas

(2) Se a coluna estiver entre duas aberturas, as emissividades totais $\varepsilon_{z,m}$ e $\varepsilon_{z,n}$ das chamas nos lados m e n deverão ser determinadas a partir da expressão de ε indicada no Anexo B da EN 1991-1-2 utilizando um valor para a espessura total da chama λ como segue:

– para o lado m :

$$\lambda = \sum_{i=1}^m \lambda_i \quad (\text{B.9a})$$

– para o lado n :

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (\text{B.9b})$$

em que:

m número de aberturas no lado m ;

n número de aberturas no lado n ;

λ_i espessura da chama para a abertura i .

(3) A espessura da chama λ_i deverá ser considerada como segue:

– para a situação “sem tiragem forçada”:

$$\lambda_i = w_i \quad (\text{B.10a})$$

– para a situação “com tiragem forçada”:

$$\lambda_i = w_i + 0,4s \quad (\text{B.10b})$$

em que:

w_i largura da abertura;

s distância horizontal desde o eixo da coluna até à parede do compartimento de incêndio, ver a Figura B.1.

B.2.3 Temperatura das chamas

(1) A temperatura das chamas T_z deverá ser considerada como a temperatura no eixo da chama obtida a partir da expressão para T_z indicada no Anexo B da EN 1991-1-2, para a situação “sem tiragem forçada” ou para a situação “com tiragem forçada”, conforme apropriado, a uma distância l da abertura, medida ao longo do eixo da chama, como segue:

– para a situação “sem tiragem forçada”:

$$l = h/2 \quad (\text{B.11a})$$

– para a situação “com tiragem forçada”:

– para uma coluna oposta a uma abertura:

$$l = 0 \quad (\text{B.11b})$$

– para uma coluna entre aberturas, l é a distância ao longo do eixo da chama até um ponto localizado horizontalmente a uma distância s da parede do compartimento de incêndio. Desde que não haja uma pala ou varanda acima da abertura:

$$l = sX/x \quad (\text{B.11c})$$

em que X e x são como se indica no Anexo B da EN 1991-1-2.

B.2.4 Absortividade das chamas

- (1) Para a situação “sem tiragem forçada”, a absortividade das chamas a_z deverá ser considerada igual a zero.
- (2) Para a situação “com tiragem forçada”, a absortividade das chamas a_z deverá ser considerada igual à emissividade ε_z da chama relevante, ver B.2.2.

B.3 Viga não envolvida pelas chamas**B.3.1 Transferência de calor por radiação**

- (1) Admite-se, em B.3, que o nível da base da viga não está abaixo do nível do topo das aberturas no compartimento de incêndio.
- (2) Deverá fazer-se uma distinção entre uma viga que é paralela à parede exterior do compartimento de incêndio e uma viga que é perpendicular à parede exterior do compartimento de incêndio, ver a Figura B.5.
- (3) Se a viga for paralela à parede exterior do compartimento de incêndio, a temperatura média do elemento de aço T_m deverá ser determinada para um ponto da viga directamente acima do centro da abertura. Para este caso, o fluxo de calor por radiação I_z proveniente da chama deverá ser determinado a partir de:

$$I_z = \phi_z \varepsilon_z \sigma T_z^4 \quad (\text{B.12})$$

em que:

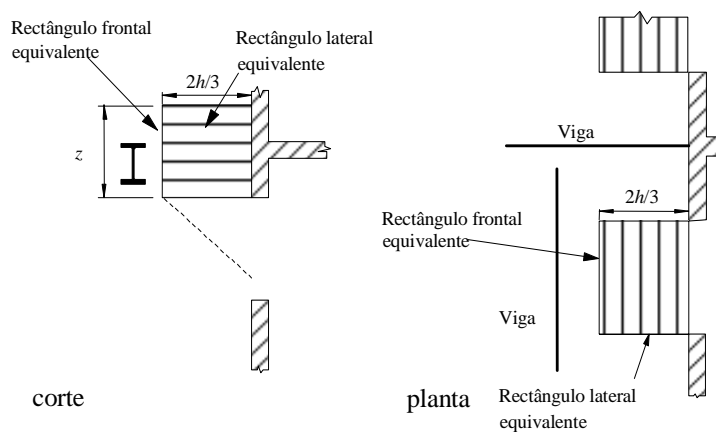
- ϕ_z factor de vista global para a chama directamente oposta à viga, ver B.1.4;
- ε_z emissividade da chama, ver B.3.2;
- T_z temperatura da chama, de B.3.3 [K].

- (4) Se a viga for perpendicular à parede exterior do compartimento de incêndio, a temperatura média na viga deverá ser determinada numa série de pontos espaçados de 100 mm ao longo do comprimento da viga. A temperatura média do elemento de aço T_m deverá então ser considerada como o máximo destes valores. Para este caso, o fluxo de calor por radiação I_z proveniente das chamas deverá ser determinado a partir de:

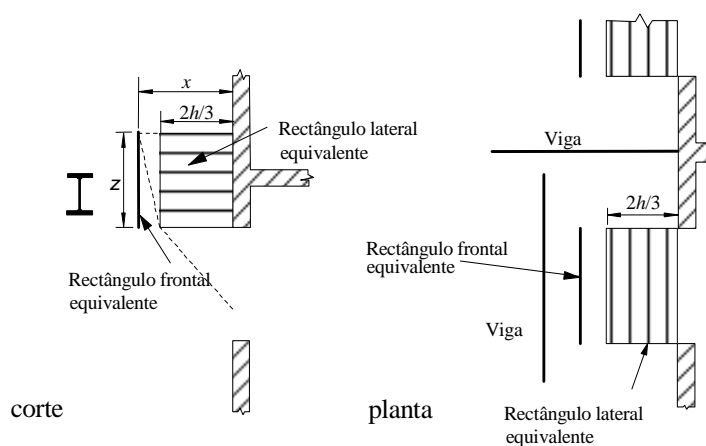
$$I_z = (\phi_{z,m} \varepsilon_{z,m} + \phi_{z,n} \varepsilon_{z,n}) \sigma T_z^4 \quad (\text{B.13})$$

em que:

- $\phi_{z,m}$ factor de vista global da viga para o calor proveniente das chamas no lado m , ver B.3.2;
- $\phi_{z,n}$ factor de vista global da viga para o calor proveniente das chamas no lado n , ver B.3.2;
- $\varepsilon_{z,m}$ emissividade total das chamas no lado m , ver B.3.3;
- $\varepsilon_{z,n}$ emissividade total das chamas no lado n , ver B.3.3;
- T_z temperatura das chamas [K], ver B.3.4.

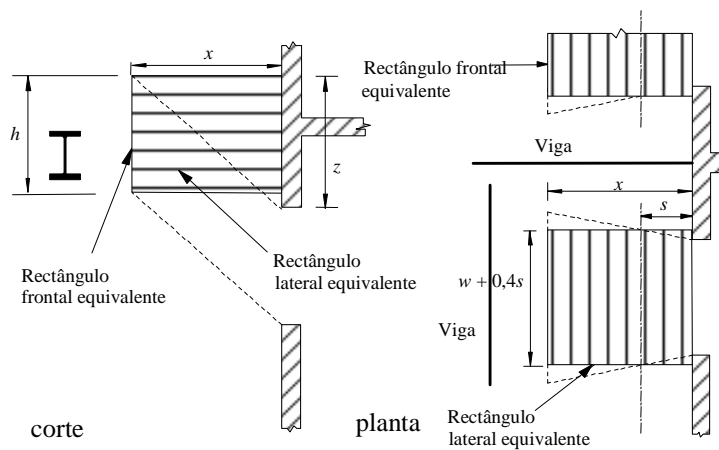


1) parede acima e $h < 1,25 w$



2) parede acima e $h > 1,25 w$ ou sem parede acima

a) “Sem tiragem forçada”



b) “Com tiragem forçada”

Figura B.5 – Viga não envolvida pelas chamas

B.3.2 Emissividade das chamas

(1) Se a viga estiver paralela à parede exterior do compartimento de incêndio, localizada acima de uma abertura, a emissividade das chamas ε_z deverá ser determinada a partir da expressão de ε indicada no Anexo B da EN 1991-1-2, utilizando a espessura da chama λ ao nível do topo das aberturas. Desde que não haja uma pala ou uma varanda acima da abertura, λ poderá ser considerado como segue:

– para a situação “sem tiragem forçada”:

$$\lambda = 2h/3 \quad (\text{B.14a})$$

– para a situação “com tiragem forçada”:

$$\lambda = x \text{ mas } \lambda \leq hx/z \quad (\text{B.14b})$$

em que h , x e z são como indicado no Anexo B da EN 1991-1-2.

(2) Se a viga for perpendicular à parede exterior do compartimento de incêndio, localizada entre duas aberturas, as emissividades totais $\varepsilon_{z,m}$ e $\varepsilon_{z,n}$ das chamas nos lados m e n deverão ser determinadas a partir da expressão de ε indicada no Anexo B da EN 1991-1-2 utilizando um valor para a espessura da chama λ como segue:

– para o lado m :

$$\lambda = \sum_{i=1}^m \lambda_i \quad (\text{B.15a})$$

– para o lado n :

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad (\text{B.15b})$$

em que:

m número de aberturas no lado m ;

n número de aberturas no lado n ;

λ_i largura da abertura i .

(3) A espessura da chama λ_i deverá ser considerada como segue:

– para a situação “sem tiragem forçada”:

$$\lambda_i = w_i \quad (\text{B.16a})$$

– para a situação “com tiragem forçada”:

$$\lambda_i = w_i + 0,4s \quad (\text{B.16b})$$

em que:

w_i largura da abertura;

s distância horizontal desde a parede do compartimento de incêndio até ao ponto considerado na viga, ver a Figura B.5.

B.3.3 Temperatura das chamas

(1) A temperatura das chamas T_z deverá ser considerada como a temperatura no eixo da chama obtida a partir da expressão para T_z indicada no Anexo B da EN 1991-1-2, para a situação “sem tiragem forçada” ou para a situação “com tiragem forçada”, conforme apropriado, a uma distância l da abertura, medida ao longo do eixo da chama, como segue:

– para a situação “sem tiragem forçada”:

$$l = h/2 \quad (\text{B.17a})$$

– para a situação “com tiragem forçada”:

– para uma viga paralela à parede exterior do compartimento de incêndio, localizada acima de uma abertura:

$$l = 0 \quad (\text{B.17b})$$

– para uma viga perpendicular à parede exterior do compartimento de incêndio, localizada entre aberturas, l é a distância ao longo do eixo da chama até um ponto localizado horizontalmente a uma distância s da parede do compartimento de incêndio. Desde que não haja uma pala ou varanda acima da abertura:

$$l = sX/x \quad (\text{B.17c})$$

em que X e x são como se indica no Anexo B da EN 1991-1-2.

B.3.4 Absortividade das chamas

(1) Para a situação “sem tiragem forçada”, a absortividade das chamas a_z deverá ser considerada igual a zero.

(2) Para a situação “com tiragem forçada”, a absortividade das chamas a_z deverá ser considerada igual à emissividade ε_z da chama relevante, ver B.3.2.

B.4 Coluna envolvida pelas chamas

(1) O fluxo de calor por radiação I_z proveniente das chamas deverá ser determinado a partir de:

$$I_z = \frac{(I_{z,1} + I_{z,2})d_1 + (I_{z,3} + I_{z,4})d_2}{(C_1 + C_2)d_1 + (C_3 + C_4)d_2} \quad (\text{B.18})$$

com:

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_z^4$$

$$I_{z,2} = C_2 \varepsilon_{z,2} \sigma T_z^4$$

$$I_{z,3} = C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma T_o^4$$

$$I_{z,4} = C_4 \varepsilon_{z,4} \sigma T_z^4$$

em que:

$I_{z,i}$ fluxo de calor por radiação proveniente da chama para a face i da coluna;

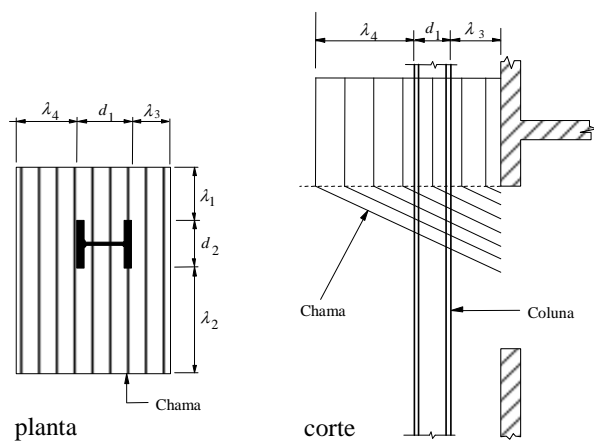
$\varepsilon_{z,i}$ emissividade das chamas relativa à face i da coluna;

i indicador da face da coluna (1), (2), (3) ou (4);

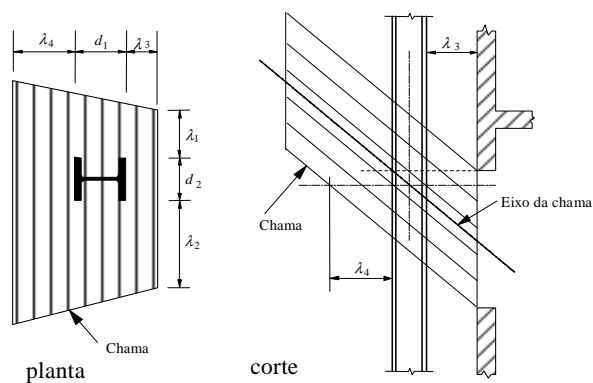
C_i coeficiente de protecção da face i do elemento, ver B.1.4;

T_z temperatura das chamas [K];

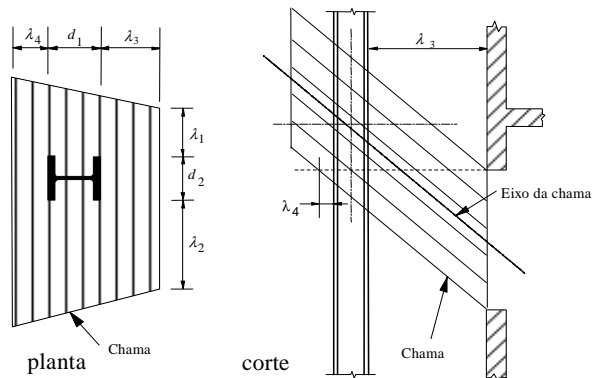
T_o temperatura das chamas na abertura [K], como se indica no Anexo B da EN 1991-1-2.



a) Situação “sem tiragem forçada”



1) O eixo da chama intersecta o eixo da coluna abaixo do topo da abertura



2) O eixo da chama intersecta o eixo da coluna acima do topo da abertura

b) Situação “com tiragem forçada”

Figura B.6 – Coluna envolvida pelas chamas

(2) A emissividade das chamas $\varepsilon_{z,i}$ para cada uma das faces 1, 2, 3 e 4 da coluna deverá ser determinada a partir da expressão de ε indicada no Anexo B da EN 1991-1-2, utilizando uma espessura da chama λ igual à dimensão λ_i indicada na Figura B.6 correspondente à face i da coluna.

(3) Para a situação “sem tiragem forçada”, deverão ser utilizados os valores de λ_i ao nível do topo da abertura, ver a Figura B.6(a).

(4) Para a situação “com tiragem forçada”, se o nível da intersecção do eixo da chama com o eixo da coluna se situar abaixo do nível do topo da abertura, deverão utilizar-se os valores de λ_i ao nível da intersecção, ver a Figura B.6(b)(1). Caso contrário, deverão utilizar-se os valores de λ_i ao nível do topo da abertura, ver a Figura B.6(b)(2), com a excepção de que, se $\lambda_4 < 0$ a este nível, deverão utilizar-se os valores ao nível em que $\lambda_4 = 0$.

(5) A temperatura das chamas T_z deverá ser considerada como a temperatura no eixo da chama obtida a partir da expressão para T_z indicada no Anexo B da EN 1991-1-2, para a situação “sem tiragem forçada” ou para a situação “com tiragem forçada”, conforme apropriado, a uma distância l da abertura, medida ao longo do eixo da chama, como segue:

– para a situação “sem tiragem forçada”:

$$l = h/2 \quad (\text{B.19a})$$

– para a situação “com tiragem forçada”, l é a distância ao longo do eixo da chama até ao nível onde λ_i é medido. Desde que não haja uma pala ou varanda acima da abertura:

$$l = (\lambda_3 + 0,5 d_1) X/x \text{ mas } l \leq 0,5 hX/z \quad (\text{B.19b})$$

em que h , X , x e z são indicados no Anexo B da EN 1991-1-2.

(6) A absorptividade a_z das chamas deverá ser determinada a partir de:

$$a_z = \frac{\varepsilon_{z,1} + \varepsilon_{z,2} + \varepsilon_{z,3}}{3} \quad (\text{B.20})$$

em que $\varepsilon_{z,1}$, $\varepsilon_{z,2}$ e $\varepsilon_{z,3}$ são as emissividades da chama para as faces da coluna 1, 2 e 3.

B.5 Viga total ou parcialmente envolvida pelas chamas

B.5.1 Transferência de calor por radiação

B.5.1.1 Generalidades

(1) Admite-se, em B.5, que o nível da base da viga não está abaixo do nível do topo das aberturas adjacentes no compartimento de incêndio.

(2) Deverá fazer-se uma distinção entre uma viga que é paralela à parede exterior do compartimento de incêndio e uma viga que é perpendicular à parede exterior do compartimento de incêndio, ver a Figura B.7.

(3) Se a viga for paralela à parede exterior do compartimento de incêndio, a sua temperatura média T_m deverá ser determinada para um ponto no comprimento da viga directamente acima do centro da abertura.

(4) Se a viga for perpendicular à parede exterior do compartimento de incêndio, o valor da temperatura média deverá ser determinado numa série de pontos espaçados de 100 mm ao longo do comprimento da viga. O máximo destes valores deverá então ser adoptado como a temperatura média do elemento de aço T_m .

(5) O fluxo de calor por radiação I_z proveniente das chamas deverá ser determinado a partir de:

$$I_z = \frac{(I_{z,1} + I_{z,2})d_1 + (I_{z,3} + I_{z,4})d_2}{(C_1 + C_2)d_1 + (C_3 + C_4)d_2} \quad (\text{B.21})$$

em que:

$I_{z,i}$ fluxo de calor por radiação proveniente da chama para a face i da viga;

i indicador da face da viga (1), (2), (3) ou (4).

B.5.1.2 Situação “sem tiragem forçada”

(1) Para a situação “sem tiragem forçada”, deverá fazer-se uma distinção entre os casos em que o topo da chama está acima do nível do topo da viga e os casos em que está abaixo deste nível.

(2) Se o topo da chama estiver acima do nível do topo da viga, deverão aplicar-se as seguintes expressões:

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_o^4 \quad (\text{B.22a})$$

$$I_{z,2} = C_2 \varepsilon_{z,2} \sigma T_{z,2}^4 \quad (\text{B.22b})$$

$$I_{z,3} = C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4) / 2 \quad (\text{B.22c})$$

$$I_{z,4} = C_4 \varepsilon_{z,4} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4) / 2 \quad (\text{B.22d})$$

em que:

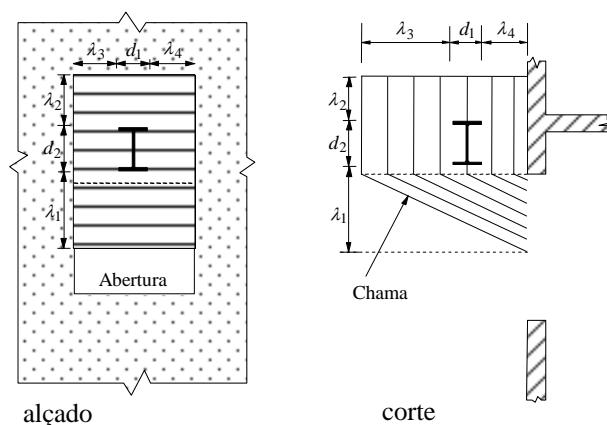
$\varepsilon_{z,i}$ emissividade das chamas relativa à face i da viga, ver B.5.2;

T_o temperatura na abertura [K], como se indica no Anexo B da EN 1991-1-2;

$T_{z,1}$ temperatura das chamas [K], como se indica no Anexo B da EN 1991-1-2, ao nível da base da viga;

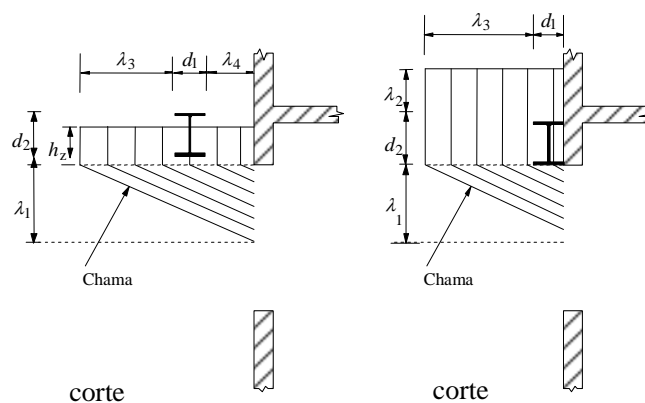
$T_{z,2}$ temperatura das chamas [K], como se indica no Anexo B da EN 1991-1-2, ao nível do topo da viga.

(3) No caso de uma viga paralela à parede exterior do compartimento de incêndio, C_4 poderá ser considerado igual a zero se a viga estiver imediatamente adjacente à parede, ver a Figura B.7.



1) Viga perpendicular à parede

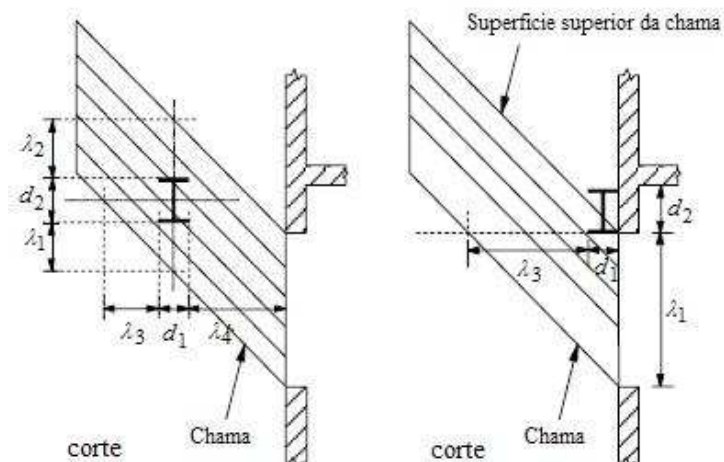
2) Viga paralela à parede



3) Topo da chama abaixo do topo da viga

4) Viga imediatamente adjacente à parede

a) Situação “sem tiragem forçada”



1) Viga não adjacente à parede

2) Viga imediatamente adjacente à parede

b) Situação “com tiragem forçada”

Figura B.7 – Viga envolvida pelas chamas

(4) Se o topo da chama estiver abaixo do nível do topo da viga, deverão aplicar-se as seguintes expressões:

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_o^4 \quad (\text{B.23a})$$

$$I_{z,2} = 0 \quad (\text{B.23b})$$

$$I_{z,3} = (h_z/d_2) C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma (T_{z,1}^4 + T_x^4)/2 \quad (\text{B.23c})$$

$$I_{z,4} = (h_z/d_2) C_4 \varepsilon_{z,4} \sigma (T_{z,1}^4 + T_x^4)/2 \quad (\text{B.23d})$$

em que:

T_x temperatura na ponta da chama [813 K];

h_z altura do topo da chama acima da base da viga.

B.5.1.3 Situação “com tiragem forçada”

(1) Para a situação “com tiragem forçada”, no caso de vigas paralelas à parede exterior do compartimento de incêndio deverá fazer-se uma distinção entre as que estão imediatamente adjacentes à parede e as que não o estão.

NOTA: São apresentadas ilustrações na Figura B.7.

(2) Para uma viga paralela à parede, mas não imediatamente adjacente a esta, ou para uma viga perpendicular à parede deverão aplicar-se as seguintes expressões:

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_o^4 \quad (\text{B.24a})$$

$$I_{z,2} = C_2 \varepsilon_{z,2} \sigma T_{z,2}^4 \quad (\text{B.24b})$$

$$I_{z,3} = C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4)/2 \quad (\text{B.24c})$$

$$I_{z,4} = C_4 \varepsilon_{z,4} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4)/2 \quad (\text{B.24d})$$

(3) Se a viga for paralela à parede e estiver imediatamente adjacente a esta, apenas se deverá considerar a face inferior como estando envolvida pelas chamas, mas um lado e o topo deverão ser considerados como estando expostos à transferência de calor por radiação proveniente da superfície superior da chama, ver a Figura B.7(b)(2). Assim:

$$I_{z,1} = C_1 \varepsilon_{z,1} \sigma T_o^4 \quad (\text{B.25a})$$

$$I_{z,2} = \phi_{z,2} C_2 \varepsilon_{z,2} \sigma T_{z,2}^4 \quad (\text{B.25b})$$

$$I_{z,3} = \phi_{z,3} C_3 \varepsilon_{z,3} \sigma (T_{z,1}^4 + T_{z,2}^4)/2 \quad (\text{B.25c})$$

$$I_{z,4} = 0 \quad (\text{B.25d})$$

em que $\phi_{z,i}$ é o factor de vista em relação à superfície superior da chama, para a face i da viga, de acordo com o Anexo G da EN 1991-1-2.

B.5.2 Emissividade das chamas

(1) A emissividade das chamas $\varepsilon_{z,i}$ para cada uma das faces 1, 2, 3 e 4 da viga deverá ser determinada a partir da expressão de ε indicada no Anexo B da EN 1991-1-2, utilizando uma espessura da chama λ igual à dimensão λ_i indicada na Figura B.7 correspondente à face i da viga.

B.5.3 Absortividade das chamas

(1) A absortividade a_z das chamas deverá ser determinada a partir de:

$$a_z = 1 - e^{-0,3h} \quad (\text{B.26})$$

em que h é a altura da abertura. Ver a Figura B.7(b) (a altura está definida como sendo λ_1).

Anexo C

(informativo)

Aço inoxidável

C.1 Generalidades

(1) As propriedades térmicas e mecânicas dos seguintes aços inoxidáveis são indicadas no presente Anexo: 1.4301, 1.4401, 1.4571, 1.4003 e 1.4462.

NOTA: Para outros aços inoxidáveis de acordo com a EN 1993-1-4, poderão ser adoptadas as propriedades mecânicas indicadas em 3.2. As propriedades térmicas poderão ser obtidas do presente Anexo.

(2) Os valores das propriedades dos materiais indicados no presente Anexo deverão ser adoptados como valores característicos.

(3) As propriedades mecânicas do aço a 20 °C deverão ser as indicadas na EN 1993-1-4 para o cálculo à temperatura normal.

C.2 Propriedades mecânicas do aço

C.2.1 Propriedades de resistência e de deformação

(1) Para taxas de aquecimento entre 2 K/min e 50 K/min, as propriedades de resistência e de deformação do aço inoxidável a temperaturas elevadas deverão ser obtidas a partir da relação tensões-extensões indicada na Figura C.1.

NOTA: Relativamente às regras estabelecidas na presente Norma, admite-se que as taxas de aquecimento estão dentro dos limites especificados.

(2) Esta relação deverá ser utilizada para determinar a resistência à tracção, à compressão, à flexão ou ao corte.

(3) O Quadro C.1 indica os factores de redução, referidos ao correspondente valor a 20 °C, para a relação tensões-extensões de vários aços inoxidáveis a temperaturas elevadas, como segue:

– inclinação da recta que representa o domínio elástico, referida à inclinação a 20 °C: $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$;

– tensão limite convencional de proporcionalidade, referida à tensão de cedência a 20 °C: $k_{0,2p,\theta} = f_{0,2p,\theta}/f_y$;

– tensão de rotura à tracção, referida à tensão de rotura à tracção a 20 °C: $k_{u,\theta} = f_{u,\theta}/f_u$.

(4) Para a utilização dos métodos de cálculo simplificados, o Quadro C.1 indica o coeficiente de correcção $k_{2\%,\theta}$ para a determinação da tensão de cedência, utilizando:

$$f_{y,\theta} = f_{0,2p,\theta} + k_{2\%,\theta} (f_{u,\theta} - f_{0,2p,\theta}) \quad (C.1)$$

(5) Para a utilização dos métodos de cálculo avançados, o Quadro C.2 indica os valores adicionais para a relação tensões-extensões de vários aços inoxidáveis a temperaturas elevadas, como segue:

– inclinação na tensão limite convencional de proporcionalidade, referida à inclinação a 20 °C:

$$k_{E_{ct},\theta} = E_{ct,\theta}/E_a$$

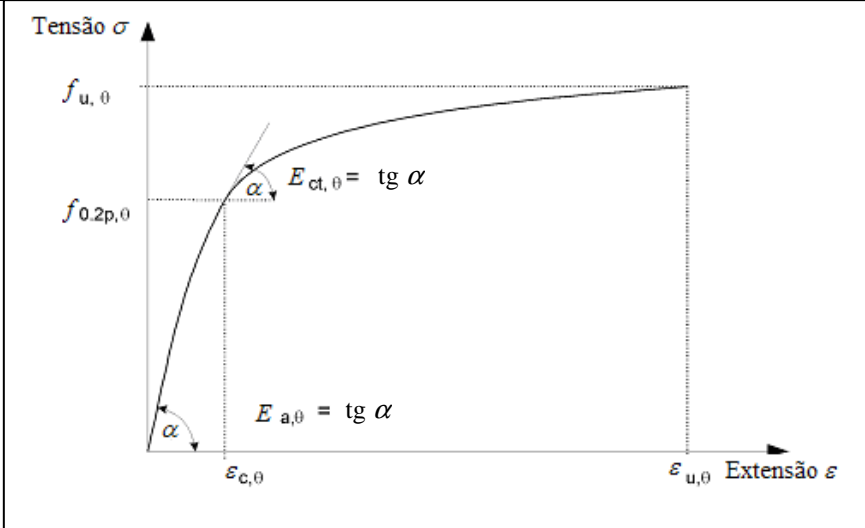
– extensão última: $\epsilon_{u,\theta}$

C.2.2 Massa específica

(1) Poderá considerar-se que a massa específica do aço ρ_a é independente da sua temperatura. Poderá tomar-se o seguinte valor: $\rho_a = 7850 \text{ kg/m}^3$

Domínio de extensões	Tensão σ	Módulo tangente E_t
$\varepsilon \leq \varepsilon_{c,\theta}$	$\frac{E \cdot \varepsilon}{1 + a \cdot \varepsilon^b}$	$\frac{E(1 + a \cdot \varepsilon^b - a \cdot b \cdot \varepsilon^b)}{(1 + a \cdot \varepsilon^b)^2}$
$\varepsilon_{c,\theta} < \varepsilon \leq \varepsilon_{u,\theta}$	$f_{0,2p,\theta} - e + (d / c) \sqrt{c^2 - (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon)^2}$	$\frac{d \cdot (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon)}{c \sqrt{c^2 - (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon)^2}}$
Parâmetros	$\varepsilon_{c,\theta} = f_{0,2p,\theta} / E_{a,\theta} + 0,002$	
Funções	$a = \frac{E_{a,\theta} \varepsilon_{c,\theta} - f_{0,2p,\theta}}{f_{0,2p,\theta} \varepsilon_{c,\theta}^b} \qquad b = \frac{(1 - \varepsilon_{c,\theta} E_{ct,\theta} / f_{0,2p,\theta}) E_{a,\theta} \varepsilon_{c,\theta}}{(E_{a,\theta} \varepsilon_{c,\theta} / f_{0,2p,\theta} - 1) f_{0,2p,\theta}}$ $c^2 = (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{c,\theta}) \left(\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{c,\theta} + \frac{e}{E_{ct,\theta}} \right) \qquad d^2 = e (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{c,\theta}) E_{ct,\theta} + e^2$ $e = \frac{(f_{u,\theta} - f_{0,2p,\theta})^2}{(\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{c,\theta}) E_{ct,\theta} - 2(f_{u,\theta} - f_{0,2p,\theta})}$	

Tensão σ



Extensão ε

Legenda: $f_{u,\theta}$ tensão de rotura à tracção;
 $f_{0,2p,\theta}$ tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,2 %;
 $E_{a,\theta}$ inclinação da recta que representa o domínio elástico;
 $E_{ct,\theta}$ inclinação na tensão limite convencional de proporcionalidade;
 $\varepsilon_{c,\theta}$ extensão total na tensão limite convencional de proporcionalidade;
 $\varepsilon_{u,\theta}$ extensão última.

Figura C.1 – Relação tensões-extensões para o aço inoxidável a temperaturas elevadas

Quadro C.1 – Factores para a determinação da extensão e da rigidez do aço inoxidável a temperaturas elevadas

Temperatura do aço θ_a	Factor de redução (referido a E_a) para a inclinação da recta que representa o domínio elástico $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$	Factor de redução (referido a f_y) para a tensão limite convencional de proporcionalidade $k_{0,2p,\theta} = f_{0,2p,\theta}/f_y$	Factor de redução (referido a f_u) para a tensão de rotura à tracção $k_{u,\theta} = f_{u,\theta}/f_u$	Factor para a determinação da tensão de cedência $f_{y,\theta}$ $k_{2\%,\theta}$
Classe 1.4301				
20	1,00	1,00	1,00	0,26
100	0,96	0,82	0,87	0,24
200	0,92	0,68	0,77	0,19
300	0,88	0,64	0,73	0,19
400	0,84	0,60	0,72	0,19
500	0,80	0,54	0,67	0,19
600	0,76	0,49	0,58	0,22
700	0,71	0,40	0,43	0,26
800	0,63	0,27	0,27	0,35
900	0,45	0,14	0,15	0,38
1000	0,20	0,06	0,07	0,40
1100	0,10	0,03	0,03	0,40
1200	0,00	0,00	0,00	0,40
Classe 1.4401 / 1.4404				
20	1,00	1,00	1,00	0,24
100	0,96	0,88	0,93	0,24
200	0,92	0,76	0,87	0,24
300	0,88	0,71	0,84	0,24
400	0,84	0,66	0,83	0,21
500	0,80	0,63	0,79	0,20
600	0,76	0,61	0,72	0,19
700	0,71	0,51	0,55	0,24
800	0,63	0,40	0,34	0,35
900	0,45	0,19	0,18	0,38
1000	0,20	0,10	0,09	0,40
1100	0,10	0,05	0,04	0,40
1200	0,00	0,00	0,00	0,40
Classe 1.4571				
20	1,00	1,00	1,00	0,25
100	0,96	0,89	0,88	0,25
200	0,92	0,83	0,81	0,25
300	0,88	0,77	0,80	0,24
400	0,84	0,72	0,80	0,22
500	0,80	0,69	0,77	0,21
600	0,76	0,66	0,71	0,21
700	0,71	0,59	0,57	0,25
800	0,63	0,50	0,38	0,35
900	0,45	0,28	0,22	0,38
1000	0,20	0,15	0,11	0,40
1100	0,10	0,075	0,055	0,40
1200	0,00	0,00	0,00	0,40

(continua)

Quadro C.1 – Factores para a determinação da extensão e da rigidez do aço inoxidável a temperaturas elevadas (conclusão)

Temperatura do aço θ_a	Factor de redução (referido a E_a) para a inclinação da recta que representa o domínio elástico $k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$	Factor de redução (referido a f_y) para a tensão limite convencional de proporcionalidade $k_{0,2p,\theta} = f_{0,2p,\theta} / f_y$	Factor de redução (referido a f_u) para a tensão de rotura à tracção $k_{u,\theta} = f_{u,\theta} / f_u$	Factor para a determinação da tensão de cedência $f_{y,\theta}$ $k_{2\%,\theta}$
Classe 1.4003				
20	1,00	1,00	1,00	0,37
100	0,96	1,00	0,94	0,37
200	0,92	1,00	0,88	0,37
300	0,88	0,98	0,86	0,37
400	0,84	0,91	0,83	0,42
500	0,80	0,80	0,81	0,40
600	0,76	0,45	0,42	0,45
700	0,71	0,19	0,21	0,46
800	0,63	0,13	0,12	0,47
900	0,45	0,10	0,11	0,47
1000	0,20	0,07	0,09	0,47
1100	0,10	0,035	0,045	0,47
1200	0,00	0,00	0,00	0,47
Classe 1.4462				
20	1,00	1,00	1,00	0,35
100	0,96	0,91	0,93	0,35
200	0,92	0,80	0,85	0,32
300	0,88	0,75	0,83	0,30
400	0,84	0,72	0,82	0,28
500	0,80	0,65	0,71	0,30
600	0,76	0,56	0,57	0,33
700	0,71	0,37	0,38	0,40
800	0,63	0,26	0,29	0,41
900	0,45	0,10	0,12	0,45
1000	0,20	0,03	0,04	0,47
1100	0,10	0,015	0,02	0,47
1200	0,00	0,00	0,00	0,47

Quadro C.2 – Factor de redução e extensão última para a utilização dos métodos de cálculo avançados

Temperatura do aço θ_a	Factor de redução (referido a E_a) para a inclinação da recta que representa o domínio elástico $k_{E_{ct,\theta}} = E_{ct,\theta} / E_a$	Extensão última $\epsilon_{u,\theta}$ [-]
Classe 1.4301		
20	0,11	0,40
100	0,05	0,40
200	0,02	0,40
300	0,02	0,40
400	0,02	0,40
500	0,02	0,40
600	0,02	0,35
700	0,02	0,30
800	0,02	0,20
900	0,02	0,20
1000	0,02	0,20
1100	0,02	0,20
1200	0,02	0,20
Classe 1.4401 / 1.4404		
20	0,050	0,40
100	0,049	0,40
200	0,047	0,40
300	0,045	0,40
400	0,030	0,40
500	0,025	0,40
600	0,020	0,40
700	0,020	0,30
800	0,020	0,20
900	0,020	0,20
1000	0,020	0,20
1100	0,020	0,20
1200	0,020	0,20
Classe 1.4571		
20	0,060	0,40
100	0,060	0,40
200	0,050	0,40
300	0,040	0,40
400	0,030	0,40
500	0,025	0,40
600	0,020	0,35
700	0,020	0,30
800	0,020	0,20
900	0,020	0,20
1000	0,020	0,20
1100	0,020	0,20
1200	0,020	0,20

(continua)

Quadro C.2 – Factor de redução e extensão última para a utilização dos métodos de cálculo avançados (conclusão)

Temperatura do aço θ_a	Factor de redução (referido a E_a) para a inclinação da recta que representa o domínio elástico $k_{E_{ct},\theta} = E_{ct,\theta} / E_a$	Extensão última $\epsilon_{u,\theta}$ [-]
Classe 1.4003		
20	0,055	0,20
100	0,030	0,20
200	0,030	0,20
300	0,030	0,20
400	0,030	0,15
500	0,030	0,15
600	0,030	0,15
700	0,030	0,15
800	0,030	0,15
900	0,030	0,15
1000	0,030	0,15
1100	0,030	0,15
1200	0,030	0,15
Classe 1.4462		
20	0,100	0,20
100	0,070	0,20
200	0,037	0,20
300	0,035	0,20
400	0,033	0,20
500	0,030	0,20
600	0,030	0,20
700	0,025	0,15
800	0,025	0,15
900	0,025	0,15
1000	0,025	0,15
1100	0,025	0,15
1200	0,025	0,15

C.3 Propriedades térmicas

C.3.1 Extensão térmica

(1) A extensão térmica do aço inoxidável austenítico $\Delta l/l$ poderá ser determinada a partir da seguinte expressão:

$$\Delta l/l = (16 + 4,79 \times 10^{-3} \theta_a - 1,243 \times 10^{-6} \theta_a^2) \times (\theta_a - 20) 10^{-6} \quad (\text{C.1})$$

em que:

l comprimento a 20 °C;

Δl alongamento induzido pela temperatura;

θ_a temperatura do aço [°C].

NOTA: A variação da extensão térmica com a temperatura é representada na Figura C.2.

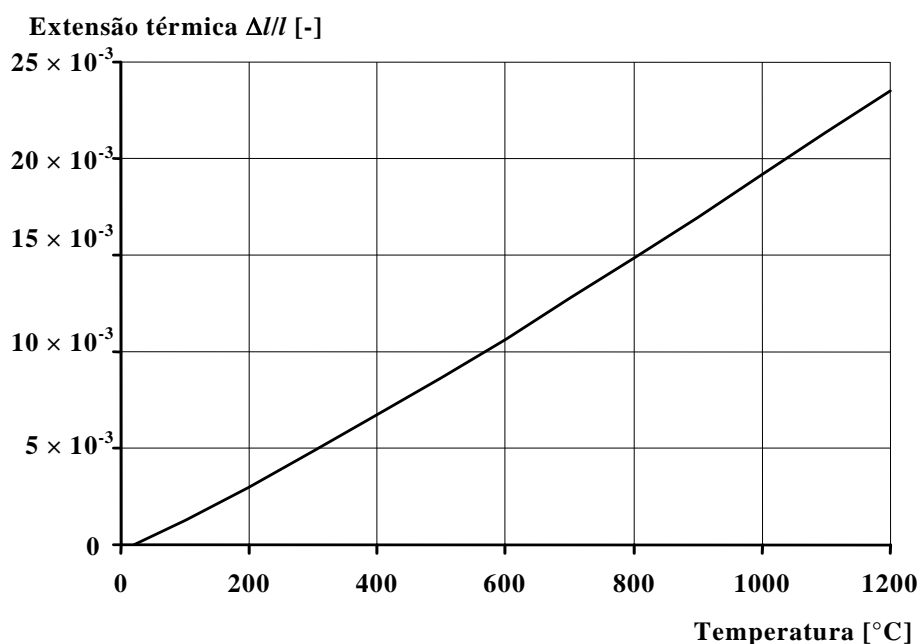


Figura C.2 – Extensão térmica do aço inoxidável em função da temperatura

C.3.2 Calor específico

(1) O calor específico do aço inoxidável c_a poderá ser determinado a partir da seguinte expressão:

$$c_a = 450 + 0,280 \times \theta_a - 2,91 \times 10^{-4} \theta_a^2 + 1,34 \times 10^{-7} \theta_a^3 \text{ J/kgK} \quad (\text{C.2})$$

em que:

θ_a temperatura do aço [°C].

NOTA: A variação do calor específico com a temperatura é representada na Figura C.3.

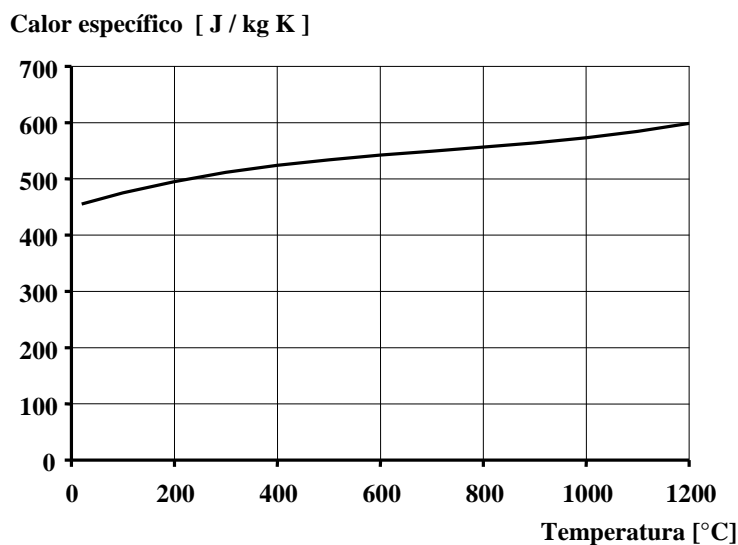


Figura C.3 – Calor específico do aço inoxidável em função da temperatura

C.3.3 Condutibilidade térmica

(1) A condutibilidade térmica do aço inoxidável λ_a poderá ser determinada a partir da seguinte expressão:

$$\lambda_a = 14,6 + 1,27 \times 10^{-2} \theta_a \text{ W/mK} \quad (\text{C.3})$$

em que:

θ_a temperatura do aço [°C].

NOTA: A variação da condutibilidade térmica com a temperatura é representada na Figura C.4.

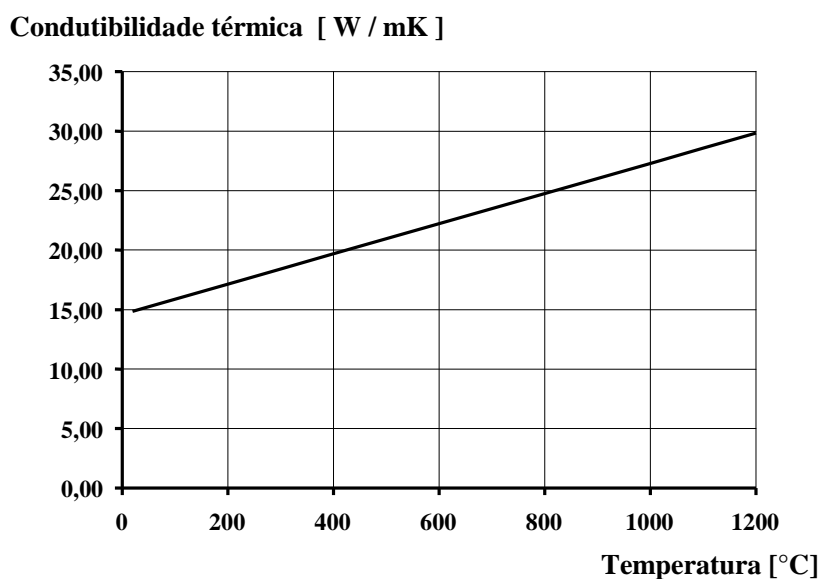


Figura C.4 – Condutibilidade térmica do aço inoxidável em função da temperatura

Anexo D (informativo)

Ligações

D.1 Ligações aparafusadas

(1) Não é necessário considerar o colapso da secção útil nos furos das ligações, desde que haja um elemento de ligação em cada furo, porque a temperatura do aço é inferior nas ligações devido à presença de material adicional.

D.1.1 Resistência de cálculo dos parafusos ao corte

D.1.1.1 Categoria A: ligações aparafusadas correntes

(1) O valor de cálculo da resistência ao fogo dos parafusos sujeitos a corte deverá ser determinado a partir de:

$$F_{v,t,Rd} = F_{v,Rd} k_{b,\theta} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}} \quad (D.1)$$

em que:

$k_{b,\theta}$ factor de redução determinado para a temperatura adequada dos parafusos, obtido do Quadro D.1;

$F_{v,Rd}$ valor de cálculo da resistência ao esforço transversal do parafuso por plano de corte admitindo que o plano de corte atravessa a parte roscada do parafuso (ver o Quadro 3.4 da EN 1993-1-8);

γ_{M2} coeficiente parcial à temperatura normal;

$\gamma_{M,fi}$ coeficiente parcial em situação de incêndio.

(2) O valor de cálculo da resistência ao esmagamento dos parafusos em situação de incêndio deverá ser determinado a partir de:

$$F_{b,t,Rd} = F_{b,Rd} k_{b,\theta} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}} \quad (D.2)$$

em que:

$F_{b,Rd}$ determinado a partir do Quadro 3.4 da EN 1993-1-8;

$k_{b,\theta}$ factor de redução determinado para a temperatura adequada dos parafusos, obtido do Quadro D.1.

D.1.1.2 Categoria B: resistência ao escorregamento no estado limite de utilização; e categoria C: resistência ao escorregamento no estado limite último

(1) As ligações resistentes ao escorregamento deverão ser consideradas como tendo rompido ao escorregamento em situação de incêndio, e a resistência de um parafuso deverá ser determinada como para os parafusos correntes, ver D.1.1.1.

D.1.2 Resistência de cálculo dos parafusos em tracção

D.1.2.1 Categorias D e E: parafusos não pré-esforçados e pré-esforçados

(1) O valor de cálculo da resistência à tracção de um parafuso em situação de incêndio deverá ser determinado a partir de:

$$F_{\text{ten,t,Rd}} = F_{\text{t,Rd}} k_{\text{b},\theta} \frac{\gamma_{\text{M2}}}{\gamma_{\text{M,fi}}} \quad (\text{D.3})$$

em que:

$F_{\text{t,Rd}}$ determinado a partir do Quadro 3.4 da EN 1993-1-8;

$k_{\text{b},\theta}$ factor de redução determinado para a temperatura adequada dos parafusos, obtido do Quadro D.1.

Quadro D.1 – Factores de redução da resistência para parafusos e soldaduras

Temperatura θ_a	Factor de redução para parafusos, $k_{\text{b},\theta}$ (tracção e corte)	Factor de redução para soldaduras, $k_{\text{w},\theta}$
20	1,000	1,000
100	0,968	1,000
150	0,952	1,000
200	0,935	1,000
300	0,903	1,000
400	0,775	0,876
500	0,550	0,627
600	0,220	0,378
700	0,100	0,130
800	0,067	0,074
900	0,033	0,018
1000	0,000	0,000

D.2 Resistência de cálculo das soldaduras

D.2.1 Soldaduras de topo

(1) O valor de cálculo da resistência de uma soldadura de topo com penetração total, para temperaturas até 700 °C, deverá ser considerado igual à resistência da parte ligada mais fraca adoptando os factores de redução adequados ao aço de construção.

Para temperaturas >700 °C, os factores de redução indicados para as soldaduras de ângulo podem ser também aplicados às soldaduras de topo.

D.2.2 Soldaduras de ângulo

(1) O valor de cálculo da resistência por unidade de comprimento de uma soldadura de ângulo em situação de incêndio deverá ser determinado a partir de:

$$F_{w,t,Rd} = F_{w,Rd} k_{w,\theta} \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M,fi}} \quad (D.4)$$

em que:

$k_{w,\theta}$ obtido do Quadro D.1 para a temperatura adequada da soldadura;

$F_{w,Rd}$ determinado a partir de 4.5.3 da EN 1993-1-8.

D.3 Temperatura das ligações em situação de incêndio

D.3.1 Generalidades

(1) A temperatura de uma ligação poderá ser avaliada adoptando o valor do factor de massividade A/V correspondente a cada uma das partes que formam essa ligação.

(2) Como simplificação, poderá ser determinada uma temperatura uniformemente distribuída na ligação; esta temperatura poderá ser calculada adoptando o valor máximo dos factores de massividade A/V dos vários elementos ligados.

(3) No caso de ligações viga-coluna e entre vigas, em que as vigas suportam qualquer tipo de pavimento de betão, a temperatura da ligação poderá ser obtida da temperatura do banzo inferior a meio comprimento.

(4) Na aplicação do método referido em 4.2.5, a temperatura dos componentes da ligação poderá ser determinada do seguinte modo:

a) Se a altura da viga for igual ou inferior a 400 mm:

$$\theta_h = 0,88 \theta_0 [1 - 0,3(h/D)] \quad (D.5)$$

em que:

θ_h temperatura à altura h (mm) da viga de aço (ver a Figura D.1);

θ_0 temperatura do banzo inferior da viga de aço numa zona afastada da ligação;

h altura do componente considerado, acima da base da viga (mm);

D altura da viga (mm).

b) Se a altura da viga for superior a 400 mm:

i) Quando h é igual ou inferior a $D/2$:

$$\theta_h = 0,88 \theta_0 \quad (D.6)$$

ii) Quando h é superior a $D/2$:

$$\theta_h = 0,88 \theta_0 [1 + 0,2 (1 - 2h/D)] \quad (D.7)$$

em que:

θ_0 temperatura do banzo inferior da viga de aço numa zona afastada da ligação;

h altura do componente considerado, acima da base da viga (mm);

D altura da viga (mm).

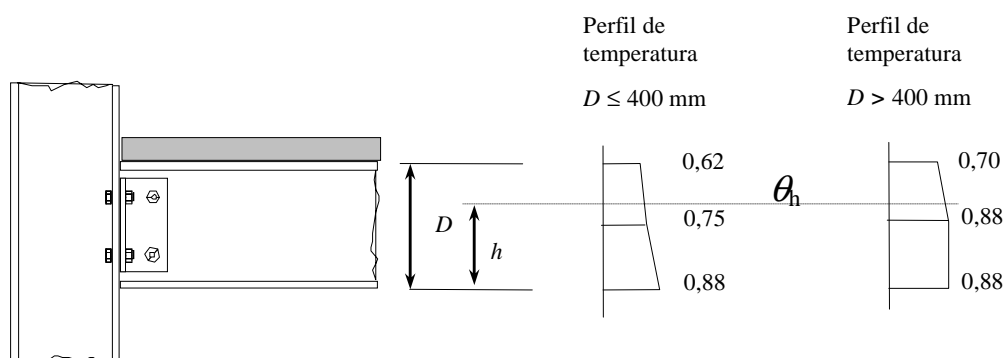


Figura D.1 – Gradiente térmico na altura de uma ligação mista

Anexo E

(informativo)

Secções transversais da Classe 4

E.1 Modelos de cálculo avançados

(1) Para o cálculo das secções da Classe 4, poderão ser utilizados modelos de cálculo avançados quando todos os efeitos de estabilidade são tidos em conta.

E.2 Modelos de cálculo simplificados

(1) A resistência dos elementos com uma secção transversal da Classe 4 deverá ser verificada com as expressões indicadas em 4.2.3.2 para os elementos comprimidos, em 4.2.3.4 para as vigas em flexão e em 4.2.3.5 para os elementos sujeitos a flexão composta com compressão, nos quais a área é substituída pela área efectiva e o módulo de flexão é substituído pelo módulo de flexão efectivo.

(2) A área da secção transversal efectiva e o módulo de flexão efectivo deverão ser determinados em conformidade com a EN 1993-1-3 e a EN 1993-1-5, ou seja, com base nas propriedades dos materiais a 20 °C.

(3) Para o cálculo em situação de incêndio, o valor de cálculo da tensão de cedência do aço deverá ser considerado igual à tensão limite convencional de proporcionalidade a 0,2 %. Este valor de cálculo da tensão de cedência poderá ser utilizado para determinar a resistência à tracção, à compressão, à flexão ou ao corte.

(4) Os factores de redução do valor de cálculo da tensão de cedência dos aços carbono em relação à tensão de cedência a 20 °C poderão ser obtidos do Quadro E.1:

– valor de cálculo da tensão de cedência, referida à tensão de cedência a 20 °C: $k_{0,2p,\theta} = f_{0,2p,\theta} / f_y$

– inclinação da recta que representa o domínio elástico, referida à inclinação a 20 °C: $k_{E,\theta} = E_{a,\theta} / E_a$

NOTA: Estes factores de redução são representados na Figura E.1.

(5) Os factores de redução do valor de cálculo da tensão limite convencional de proporcionalidade dos aços inoxidáveis em relação à tensão limite convencional de proporcionalidade a 20 °C poderão ser obtidos do Anexo C.

Quadro E.1 – Factores de redução do aço carbono para o cálculo das secções da Classe 4 a temperaturas elevadas

Temperatura do aço θ_a	Factor de redução (referido a f_y) para o valor de cálculo da tensão de cedência de secções da Classe 4 laminadas a quente e soldadas $k_{0,2p,\theta} = f_{0,2p,\theta} / f_y$	Factor de redução (referido a f_{yb}) para o valor de cálculo da tensão de cedência de secções da Classe 4 enformadas a frio $k_{0,2p,\theta} = f_{0,2p,\theta} / f_{yb}$
20 °C	1,00	
100 °C	1,00	
200 °C	0,89	
300 °C	0,78	
400 °C	0,65	
500 °C	0,53	
600 °C	0,30	
700 °C	0,13	
800 °C	0,07	
900 °C	0,05	
1000 °C	0,03	
1100 °C	0,02	
1200 °C	0,00	

NOTA 1: Para os valores intermédios da temperatura do aço, poderá efectuar-se uma interpolação linear.

NOTA 2: A definição de f_{yb} deverá ser obtida da EN 1993-1-3.

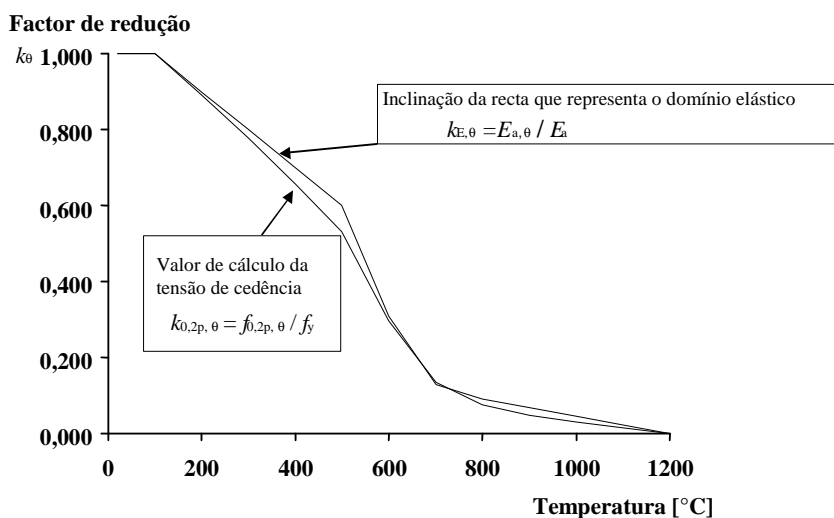


Figura E.1 – Factores de redução para a relação tensões-extensões de secções de aço da Classe 4 enformadas a frio e laminadas a quente a temperaturas elevadas

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 1993-1-2:2010 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 1993-1-2:2010 – “Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço – 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 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, as 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 – Regras de Aplicação sem prescrições a nível nacional

Relativamente a:

- 2.3(1)
- 2.3(2)
- 4.2.3.6(1)

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 – Regras de Aplicação com prescrições a nível nacional

a) NA-4.1(2)

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.

b) NA-4.2.4(2)

Na ausência do cálculo da temperatura crítica, deve ser considerado, para elementos das Classes 1, 2 e 3 utilizados em edifícios correntes, que a condição de estabilidade (4.1), da secção 4.2.1(1), é satisfeita, no instante t , se a temperatura do aço não ultrapassar os seguintes valores limites:

- Para todos os elementos traccionados e para vigas em que a encurvadura lateral não é um potencial modo de colapso:
 - 540 °C para todas as categorias de edifícios excepto os da categoria E;
 - 525 °C para os edifícios da categoria E.

NOTA: Estes valores foram obtidos pela expressão (4.22), adoptando na expressão (4.24) $\gamma_{M,fi} = \gamma_{M0} = 1,0$ e η_{fi} de acordo com a Nota 2 da secção 2.4.2(3).

- Para todas as outras situações e em particular para elementos em que possam ocorrer fenómenos de instabilidade: 500 °C.

NA.3 – Utilização dos Anexos informativos

Em Portugal, os Anexos 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 presente Norma é omissa relativamente à resistência das secções transversais à flexão desviada em situação de incêndio, pelo que conservativamente se pode adoptar uma expressão de interacção linear.

NA.4.3 – Informações específicas**a) Temperatura crítica (4.2.4(2))**

O cálculo da temperatura crítica para elementos sujeitos a fenómenos de instabilidade, como por exemplo a encurvadura em elementos comprimidos e a encurvadura lateral em elementos sujeitos a flexão, em que a resistência do elemento não é directamente proporcional à tensão de cedência do aço, é um cálculo iterativo, devendo a expressão (4.22) ser sucessivamente utilizada até se atingir a convergência. Nos elementos traccionados e nos elementos sujeitos a flexão simples sem risco de ocorrência de encurvadura lateral, em que a resistência é directamente proporcional à tensão de cedência do aço, a expressão (4.22) é de aplicação directa.

NA.5 – Correspondência entre as normas europeias referidas na presente Norma e as normas nacionais

Norma europeia	Norma nacional	Título
EN 1990:2002	NP EN 1990:2009	<i>Eurocódigo – Bases para o projecto de estruturas</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>
EN 1993-1-1:2005	NP EN 1993-1-1:2010	<i>Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço – Parte 1-1: Regras gerais e regras para edifícios</i>
EN 1993-1-8:2005	NP EN 1993-1-8:2010	<i>Eurocódigo 3 – Projecto de estruturas de aço – Parte 1-8: Projecto de ligações</i>
EN 10025-2:2004	NP EN 10025-2:2007	<i>Produtos laminados a quente de aços de construção – Parte 2: Condições técnicas de fornecimento para aços de construção não ligados</i>
EN 10210-1:2006	NP EN 10210-1:2008	<i>Perfis ocós estruturados acabados a quente de aços não ligados e de grão fino – Parte 1: Condições técnicas de fornecimento</i>
EN 10219-1:2006	NP EN 10219-1:2009	<i>Perfis ocós estruturais soldados e conformados a frio de aços não ligados e de grão fino – Parte 1: Condições técnicas de fornecimento</i>