

**NOVOS DESENVOLVIMENTOS PARA ANÁLISE
NUMÉRICA DE PILARES MISTOS EM CONDIÇÕES DE
INCÊNDIO BASEADO NO EUROCÓDIGO 4**

Nathália Gabriela Gonçalves

Dissertação Apresentada à
Escola Superior de Tecnologia e Gestão
Instituto Politécnico de Bragança

para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia da Construção

No âmbito da dupla diplomação com a
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Julho 2019

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

**NOVOS DESENVOLVIMENTOS PARA ANÁLISE
NUMÉRICA DE PILARES MISTOS EM CONDIÇÕES DE
INCÊNDIO BASEADO NO EUROCÓDIGO 4**

Nathália Gabriela Gonçalves

Dissertação Apresentada à
**Escola Superior de Tecnologia e Gestão
Instituto Politécnico de Bragança**

para obtenção do grau de Mestre em
Engenharia da Construção

No âmbito da dupla diplomação com a
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Orientador IPB:

Prof Dr Paulo Alexandre Gonçalves Piloto

Orientador UTFPR:

Prof Dr Ronaldo Rigobello

Julho 2018

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus a cima de tudo, que me dá forças, que atendeu minhas orações e me guiou nos caminhos que me trouxeram até aqui.

Agradeço ao professor orientador Dr. Paulo Piloto do Departamento de Mecânica Aplicada do Instituto Politécnico de Bragança pela oportunidade de trabalharmos juntos, pelos ensinamentos transmitidos e por toda a atenção dada ao desenvolvimento deste projeto.

Aos meus professores do Brasil, especialmente ao orientador Dr. Ronaldo Rigobello da Universidade Tecnológica Federal do Paraná pelo apoio, incentivo e encorajamento para que esse trabalho fosse realizado.

Agradeço ao grupo PET Civil e os amigos que fiz ao participar do programa. Ao meu professor e amigo Jorge Góes, o qual tive a oportunidade de conviver durante os anos da graduação no Brasil e me transmitiu não só ensinamentos acadêmicos, mas valores que vou levar para minha vida.

Devo a oportunidade de participar do Programa de Dupla Diplomação e o desenvolvimento deste trabalho à minha família, que sempre me apoiou e incentivou a alcançar meus objetivos, mesmo que para isso, tivéssemos que conviver com a saudade. Agradeço principalmente à minha mãe, Gislaine, guerreira e batalhadora, a quem devo tudo que eu conquistei até hoje. Ao meu tio Carlos, pelo incentivo, ajuda e atenção de sempre e a minha irmã Ana Carolina, por toda a força e o carinho.

Agradeço aos meus amigos de Campo Mourão, que foram minha família nos quatro anos de graduação no Brasil. Especialmente à Andreza, Camilla, Marcelo e Valéria que sempre estiveram ao meu lado e tornaram essa jornada muito melhor. Aos amigos que fiz em Bragança, e que tenho certeza que levarei em meu coração, mas em especial ao Fernando, Gabriela, John, Letícia, Lídia, Milena e Nadine, meu muito obrigada por todo o apoio.

Finalmente meu mais sincero agradecimento a todas as pessoas que em algum momento me apoiaram e fizeram parte das etapas decisivas da minha vida.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

ABSTRACT

Partially encased columns of steel and concrete, have a better fire resistance when compared to bare steel columns, this characteristic is attributed to the presence of concrete between the flanges. The concrete also provides improved strength and stiffness of composite columns. This work aims to study the behavior of partially encased columns exposed to two fire scenarios (fire on one side and fire on four sides). The annex G of Eurocode EN 1994-1-2[1], presents the balanced summation method, allowing the calculation of the buckling resistance of PEC, when submitted to standard fire conditions from the 4 sides, but this annex does not take into consideration the embedded effect of this PEC in the wall.

This study presents uses the finite element method to calculate the resistance to buckling of composite columns on fire. The advanced calculation method is carried out using the program ANSYS, to obtain results of transient nonlinear thermal simulations for thirty different profiles. The investigated sections are exposed to the standard fire curve ISO 834 [2] for specific fire resistance times of 30, 60, 90 and 120 minutes. New calculation proposals will be presented for the axial buckling resistance to of Partially Encased Columns embedded on wall, under fire, (single-sided fire) and the introduction of an improvement in the development of the current proposal for axial buckling resistance for insulated columns under fire conditions (four-sided fire). These proposals are compared with the current calculation method proposed in annex G of EN 1994-1-2 [1].

Key words: Partially Encased Columns; Wall; Fire Condition, Advanced Calculation Method; Fire.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

RESUMO

Pilares mistos parcialmente revestidos possuem melhor resistência à incêndio, quando comparados à pilares puros de aço, sendo essa característica atribuída a presença do concreto entre os banzos. O concreto também proporciona a melhoria da resistência e da rigidez de pilares mistos. Este trabalho tem como objetivo estudar o comportamento de pilares mistos expostos à dois cenários de incêndio (fogo de um lado e fogo de quatro lados). O anexo G da EN 1994-1-2 [1] apresenta um método simplificado de cálculo que determina a resistência à encurvadura de pilares mistos parcialmente revestidos, expostos ao fogo padrão lados, mas não considera o efeito da parede em perfis embebidos na parede.

O presente trabalho utiliza o método dos elementos finitos para o cálculo da resistência à encurvadura de pilares mistos sob ação do fogo. A investigação é feita através do método avançado de cálculo, utilizando o programa ANSYS para obter resultados de simulações térmicas transientes não lineares para trinta seções distintas de perfis metálicos. As seções analisadas são expostas à curva de incêndio padrão ISO834 [2] e analisados os campos de temperatura para os tempos de resistência ao fogo de 30, 60, 90 e 120 minutos. Novas propostas de cálculo serão apresentadas para o cálculo da resistência à encurvadura de pilares embebidos em parede em condições de incêndio (fogo de um lado) e a introdução de uma melhoria no desenvolvimento da atual proposta de resistência à encurvadura para pilares isolados em condições de incêndio (fogo de quatro lados). Estas propostas são confrontadas com o atual método de cálculo proposto pelo anexo G da EN 1994-1-2 [1].

Palavras-chave: Pilares mistos parcialmente revestidos; Paredes; Situação de incêndio; Análise numérica; Fogo.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

CÁPITULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO DO TRABALHO	1
1.2 METODOLOGIA DO TRABALHO	2
1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	3
1.4 ESTADO DA ARTE	3
2.1 AÇÃO DO FOGO	9
2.1.1 <i>Incêndio Natural</i>	10
2.1.2 <i>Incêndio Padrão</i>	11
2.2 ASPECTOS NORMATIVOS	12
2.2.1 <i>Normas Brasileiras</i>	13
2.2.2 <i>Normas Europeias</i>	13
CÁPITULO 3 – SEÇÕES MISTAS E PROPRIEDAS DOS MATERIAIS	14
3.1 SEÇÕES MISTAS	14
3.2 DIMENSIONAMENTO SEÇÃO MISTA PARCIALMENTE REVESTIDA	18
3.3 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS	19
3.3.1 <i>Propriedades Térmicas</i>	19
3.3.2 <i>Propriedades Mecânicas</i>	23
CÁPITULO 4 – MÉTODO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO	31
3-1 BANZOS DO PERFIL METÁLICO	33
3-2 ALMA DO PERFIL METÁLICO	34
3-3 CONCRETO	36
3-3 REFORÇO	37
CÁPITULO 5 – MÉTODO AVANÇADO DE CÁLCULO	39
CÁPITULO 6 – PROPOSTA EM DESENVOLVIMENTO	45
6.1 BANZO DO PERFIL METÁLICO	45
6.2 ALMA DO PERFIL METÁLICO	46
6.3 CONCRETO	47
6.4 REFORÇO	49
6.5 ANÁLISE DO APRIMORAMENTO PARA FOGO QUATRO LADOS	50
CÁPITULO 7 –NOVA PROPOSTA PARA PERFIL EMBEBIDO EM PAREDE	53
7. NOVA PROPOSTA PARA FOGO DE UM LADO	53
7.1 BANZOS DO PERFIL METÁLICO	55
7.2 ALMA DO PERFIL METÁLICO	59
7.3 CONCRETO	61
7.3.1 <i>Concreto do lado exposto ao fogo.</i>	62
7.3.2 <i>Concreto do lado não exposto ao fogo.</i>	63
7.4 REFORÇO	66

7.4.1. Reforço exposto ao fogo.	68
7.4.2. Reforço não exposto ao fogo.....	68
CÁPITULO 8– COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS	70
8.1. BANZOS DO PERFIL METÁLICO _____	70
8.2. ALMA DO PERFIL METÁLICO _____	72
8.3. CONCRETO _____	75
8.4. REFORÇO _____	80
8.5. RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO AXIAL E RIGIDEZ EFETIVA À FLEXÃO _____	83
8.6 RESISTÊNCIA À FLAMBAGEM _____	84
CÁPITULO 9– CONCLUSÕES.....	88
REFERÊNCIAS	89
ANEXO I.....	93
1.1. BANZO DO PERFIL METÁLICO _____	95
1.2. ALMA DO PERFIL METÁLICO _____	99
1.3. CONCRETO _____	102
1.4. REFORÇO _____	105
1.5. SOMA PONDERADA _____	108
1.6. RESISTÊNCIA CRÍTICA _____	109
1.7. ESBELTEZ ADIMENSIONAL _____	115
1.8. FATOR DE REDUÇÃO _____	120
1.9. RESISTÊNCIA À FLAMBAGEM _____	125
ANEXO II	131
2. MÉTODO AVANÇADO DE CÁLCULO: ANSYS MECHANICAL APDL	133
2.1. CENÁRIO FOGO 4 LADOS _____	133
2.2. CENÁRIO FOGO DE 1 LADO _____	137
ANEXO III.....	146
3.MÉTODO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO: APRIMORAMENTO PARA FOGO 4 LADOS. 148	
3.1 BANZOS DO PERFIL METÁLICO _____	148
3.2ALMA DO PERFIL METÁLICO _____	153
3.3CONCRETO _____	157
3.4REFORÇO _____	161
3.5 SOMA PONDERADA _____	164
ANEXO IV	168
4. MÉTODO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO: ATUAL PROPOSTA PARA FOGO DE 1 LADO.	
.....	170

4.1 BANZO DO PERFIL METÁLICO EXPOSTO AO FOGO _____	170
4.2 BANZO DO PERFIL METÁLICO NÃO EXPOSTO AO FOGO _____	175
4.3 ALMA DO PERFIL METÁLICO _____	179
4.4 CONCRETO EXPOSTO AO FOGO _____	185
4.5 CONCRETO NÃO EXPOSTO AO FOGO _____	189
4.6 REFORÇO EXPOSTO AO FOGO _____	192
4.7 REFORÇO NÃO EXPOSTO AO FOGO _____	195
4.8 SOMA PONDERADA _____	198
ANEXO V.....	202
5 EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA DA ANÁLISE NUMÉRICA.	204
5.1 CENÁRIO FOGO 4 LADOS _____	204
5.2 CENÁRIO FOGO 1 LADO _____	232

NOTAÇÕES

Letras maiúsculas latinas

$(EI)_{c,z}$	Rigidez efetiva à flexão do concreto em torno do eixo Z, à 20 °C.
$(EI)_{eff,z}$	Rigidez efetiva à flexão da coluna torno do eixo Z, à 20 °C.
$(EI)_{f,z}$	Rigidez efetiva à flexão dos banzos em torno do eixo Z, à 20 °C.
$(EI)_{fi,c,z}$	Rigidez efetiva à flexão do concreto em torno do eixo Z, exposto ao fogo
$(EI)_{fi,c,e,z}$	Rigidez efetiva à flexão do concreto em torno do eixo Z, do lado exposto ao fogo
$(EI)_{fi,c,ne,z}$	Rigidez efetiva à flexão do concreto em torno do eixo Z, do lado não exposto ao fogo
$(EI)_{fi,eff,z}$	Rigidez efetiva à flexão da coluna torno do eixo Z, exposta ao fogo.
$(EI)_{fi,f,z}$	Rigidez efetiva à flexão dos banzos em torno do eixo Z, exposto ao fogo.
$(EI)_{fi,f,e,z}$	Rigidez efetiva à flexão dos banzos em torno do eixo Z, do lado exposto ao fogo.
$(EI)_{fi,f,ne,z}$	Rigidez efetiva à flexão dos banzos em torno do eixo Z, do lado não exposto ao fogo.
$(EI)_{fi,s,z}$	Rigidez efetiva à flexão dos reforços em torno do eixo Z, exposto ao fogo.
$(EI)_{fi,s,e,z}$	Rigidez efetiva à flexão dos reforços em torno do eixo Z, do lado exposto ao fogo.
$(EI)_{fi,s,ne,z}$	Rigidez efetiva à flexão dos reforços em torno do eixo Z, do lado não exposto ao fogo.
$(EI)_{fi,w,z}$	Rigidez efetiva à flexão da alma em torno do eixo Z, exposto ao fogo.
$(EI)_{s,z}$	Rigidez efetiva à flexão dos reforços em torno do eixo Z, à 20 °C.
$(EI)_{w,z}$	Rigidez efetiva à flexão da alma em torno do eixo Z, à 20 °C.
A_c	Área do concreto na seção transversal.
A_m/V	Fator de sessão.
A_s	Área dos reforços na seção transversal.
C_a	Calor específico do aço.
C_p	Calor específico do concreto seco.
$C_{p(T)}$	Calor específico do material em função da temperatura.
$C_{p,peak}$	Calor específico do concreto com determinado teor de umidade.
E_a	Módulo de elasticidade do aço estrutural à 20 °C.
$E_{a,f}$	Módulo de elasticidade do aço estrutural do banzo, à 20 °C.
$E_{a,f,t}$	Módulo de elasticidade do aço estrutural do banzo, à elevadas temperaturas.
$E_{a,w}$	Módulo de elasticidade do aço estrutural da alma, à 20 °C.

$E_{a,w,t}$	Módulo de elasticidade do aço estrutural da alma, à elevadas temperaturas.
$E_{a,\theta}$	Módulo de elasticidade do aço estrutural à elevadas temperaturas.
$E_{c,sec}$	Módulo secante de elasticidade do concreto à 20 °C.
$E_{c,sec,\theta}$	Módulo secante de elasticidade do concreto à elevadas temperaturas.
E_{cm}	Módulo de elasticidade médio do concreto à 20 °C.
E_s	Módulo de elasticidade do aço de reforço à 20 °C.
$E_{s,\theta}$	Módulo de elasticidade do aço de reforço à elevadas temperaturas.
G_a	Módulo de elasticidade transversal do aço estrutural à 20 °C.
H_t	Coefficiente empírico para redução da alma.
$I_{s,z}$	Momento de segunda ordem das barras de reforços em torno do eixo Z.
L	Comprimento da coluna.
L_θ	Comprimento de flambagem.
$N_{fi,cr,z}$	Resistência crítica da coluna, em torno do eixo Z, exposta ao fogo.
$N_{fi,pl,Rd}$	Resistência plástica à compressão axial da coluna, exposta ao fogo.
$N_{fi,pl,Rd,c}$	Resistência plástica à compressão axial do concreto, exposto ao fogo.
$N_{fi,pl,Rd,c,e}$	Resistência plástica à compressão axial da componente do concreto, do lado exposto ao fogo.
$N_{fi,pl,Rd,c,ne}$	Resistência plástica à compressão axial da componente do concreto, do lado não exposto ao fogo.
$N_{fi,pl,Rd,f}$	Resistência plástica à compressão axial dos banzos, exposto ao fogo.
$N_{fi,pl,Rd,f,e}$	Resistência plástica à compressão axial dos banzos, do lado exposto ao fogo.
$N_{fi,pl,Rd,f,ne}$	Resistência plástica à compressão axial dos banzos, do lado não exposto ao fogo.
$N_{fi,pl,Rd,s}$	Resistência plástica à compressão axial dos reforços, exposto ao fogo.
$N_{fi,pl,Rd,s,e}$	Resistência plástica à compressão axial dos reforços, do lado exposto ao fogo.
$N_{fi,pl,Rd,s,ne}$	Resistência plástica à compressão axial dos reforços, do lado não exposto ao fogo.
$N_{fi,pl,Rd,w}$	Resistência plástica à compressão axial da alma, exposto ao fogo.
$N_{fi,Rd,z}$	Resistência de projeto à compressão axial da coluna, exposta ao fogo.
$N_{pl,Rd}$	Resistência plástica à compressão axial da coluna, à 20 °C.
$N_{pl,Rd,c}$	Resistência plástica à compressão axial do concreto, à 20 °C.
$N_{pl,Rd,f}$	Resistência plástica à compressão axial dos banzos, à 20 °C.
$N_{pl,Rd,s}$	Resistência plástica à compressão axial dos reforços, à 20 °C.
$N_{pl,Rd,w}$	Resistência plástica à compressão axial da alma, à 20 °C.
T	Temperatura do elemento.
T_g	Temperatura do gás.

Letras minúsculas latinas

\dot{h}_{net}	Fluxo de calor total.
$\dot{h}_{\text{net,c}}$	Fluxo de calor proveniente da convecção.
$\dot{h}_{\text{net,r}}$	Fluxo de calor proveniente da radiação.
\vec{n}	Vetor direção.
b	Largura da seção transversal.
$b_{0,ch}$	Parâmetro para cálculo da redução horizontal do concreto.
$b_{0,cv}$	Parâmetro para cálculo da redução vertical do concreto.
$b_{c,fi}$	Espessura da camada de concreto negligenciada.
$b_{c,fi,h}$	Espessura da camada de concreto negligenciada na direção horizontal.
$b_{c,fi,v}$	Espessura da camada de concreto negligenciada na direção vertical.
e_f	Espessura do banzo.
e_w	Espessura da alma.
$f_{ap,\theta}$	Tensão proporcional do aço estrutural à elevadas temperaturas.
f_{au}	Tensão máxima de tração do aço estrutural à 20 °C.
f_{ay}	Tensão de escoamento do aço estrutural à 20 °C.
$f_{ay,f}$	Tensão de escoamento aço estrutural do banzo à 20 °C.
$f_{ay,f,t}$	Tensão de escoamento aço estrutural do banzo à elevadas temperaturas.
$f_{ay,w}$	Tensão de escoamento aço estrutural da alma à 20 °C.
$f_{ay,w,t}$	Tensão de escoamento aço estrutural da alma à elevadas temperaturas.
$f_{ay,\theta}$	Tensão de escoamento do aço estrutural à elevadas temperaturas.
f_c	Resistência à compressão do concreto à 20 °C.
$f_{c,\theta}$	Resistência à compressão do concreto à elevadas temperaturas.
f_{ck}	Resistência à compressão característica do concreto à 20 °C.
$f_{ck,cube}$	Resistência à compressão característica cúbica do concreto à 20 °C.
$f_{ck,\theta}$	Resistência à compressão característica do concreto à elevadas temperaturas.
f_{cm}	Resistência média à compressão do concreto à 20 °C.
f_{ctm}	Resistência média à tração do concreto à 20 °C.
f_{su}	Tensão máxima de tração do aço de reforço à 20 °C.
f_{sy}	Tensão de escoamento do aço de reforço à 20 °C.

$f_{sy,\theta}$	Tensão de escoamento do aço de reforço à elevadas temperaturas.
h	Altura da seção transversal.
$h_{w,\bar{f}}$	Redução geométrica da alma.
k	Relação entre a tensão de escoamento e máxima do aço de reforço.
$k_{c,t}$	Redução da resistência à tração do concreto à elevadas temperaturas.
$k_{c,\theta}$	Redução da resistência a compressão do concreto à elevadas temperaturas.
$k_{E,t}$	Redução do módulo de elasticidade do aço de reforço à elevadas temperaturas presente no anexo G da EN 1994-1-2.
$k_{E,\theta}$	Redução do módulo de elasticidade do aço estrutural à elevadas temperaturas.
$k_{f,cv}$	Coefficiente para cálculo da redução vertical do concreto.
$k_{f,f}$	Coefficiente para cálculo da temperatura média do banzo.
$k_{sE,\theta}$	Redução do módulo de elasticidade do aço de reforço à elevadas temperaturas.
$k_{sy,\theta}$	Redução da tensão de escoamento do aço de reforço à elevadas temperaturas.
k_t	Coefficiente para cálculo da temperatura média da flange.
$k_{t,c}$	Coefficiente para cálculo da temperatura média do concreto.
$k_{t,ch}$	Coefficiente para cálculo da horizontal vertical do concreto.
$k_{t,cv}$	Coefficiente para cálculo da redução vertical do concreto.
$k_{t,f}$	Coefficiente para cálculo da temperatura média do banzo.
$k_{t,s}$	Coefficiente para cálculo da temperatura média dos reforços.
$k_{t,w}$	Coefficiente para cálculo da temperatura média da alma.
$k_{u,s}$	Coefficiente para cálculo da temperatura média do reforço.
$k_{w,c}$	Coefficiente para cálculo da temperatura média do concreto.
$k_{w,ch}$	Coefficiente para cálculo da horizontal vertical do concreto.
$k_{w,w}$	Coefficiente para cálculo da temperatura média da alma.
$k_{y,t}$	Redução da tensão de escoamento do aço de reforço à elevadas temperaturas presente no anexo G da EN 1994-1-2.
$k_{y,\theta}$	Redução da tensão de escoamento do aço estrutural à elevadas temperaturas.
t	Tempo.
u	Média geométrica entre u_1 e u_2 .
u_1	Cobrimento vertical de concreto da barra de reforço.
u_2	Cobrimento horizontal de concreto da barra de reforço.
ν	Coefficiente de Poisson.

Letras maiúsculas gregas

∇	Vetor gradiente.
Θ_g	Temperatura do gás.
Θ_m	Temperatura do material.
Θ_r	Temperatura irradiada.
Φ	Fator de vista.
Ω	Interior do domínio.

Letras minúsculas gregas

$\gamma_{M,fi,a}$	Fator de segurança parcial para o aço estrutural.
$\gamma_{M,fi,c}$	Fator de segurança parcial para o concreto.
$\gamma_{M,fi,s}$	Fator de segurança parcial para o aço de reforço.
$\bar{\lambda}_\theta$	Esbeltez adimensional.
α_c	Coefficiente de convecção.
β	Redução para a tensão de escoamento da alma à elevadas temperaturas.
ε	Deformação.
$\varepsilon_{ap,\theta}$	Deformação do aço à tensão proporcional à elevadas temperaturas.
$\varepsilon_{au,\theta}$	Deformação do aço à tensão máxima à elevadas temperaturas.
$\varepsilon_{ay,\theta}$	Deformação do aço à tensão de escoamento à elevadas temperaturas.
ε_{ce}	Deformação máxima do concreto à compressão.
$\varepsilon_{ce,\theta}$	Deformação máxima do concreto à compressão à elevadas temperaturas.
ε_{cu}	Deformação do concreto à compressão máxima.
$\varepsilon_{cu,\theta}$	Deformação do concreto à compressão máxima à elevadas temperaturas.
ε_f	Emissividade do fogo.
ε_m	Emissividade do material.
θ	Temperatura.
$\theta_{0,c}$	Parâmetro para cálculo da temperatura média do concreto, aprimorado.
$\theta_{0,f}$	Parâmetro para cálculo da temperatura média da flange, aprimorado.
$\theta_{0,s}$	Parâmetro para cálculo da temperatura média dos reforços, aprimorado.
$\theta_{0,t}$	Parâmetro para cálculo da temperatura média da flange.

$\theta_{0,w}$	Parâmetro para cálculo da temperatura média da alma, aprimorado.
$\theta_{c,t}$	Temperatura média do concreto.
$\theta_{f,t}$	Temperatura média dos banzos.
$\theta_{s,t}$	Temperatura média do aço de reforço.
$\theta_{w,t}$	Temperatura média da alma.
$\lambda_{(T)}$	Condutividade térmica do material em função da temperatura.
λ_a	Condutividade térmica do aço.
λ_c	Condutividade térmica do concreto.
$\rho_{(T)}$	Massa específica do material em função da temperatura.
ρ_a	Massa específica do aço.
ρ_c	Massa específica do concreto.
σ	Constante de <i>Stephan-Boltzmann</i> .
σ	Tensão
ϕ	Diâmetro das barras de reforço.
ϕ	Curva de flambagem “c”.
$\varphi_{c,\theta}$	Coefficiente de ponderação da rigidez efetiva à flexão para o concreto.
$\varphi_{f,\theta}$	Coefficiente de ponderação da rigidez efetiva à flexão para os banzos.
$\varphi_{s,\theta}$	Coefficiente de ponderação da rigidez efetiva à flexão para os reforços.
$\varphi_{w,\theta}$	Coefficiente de ponderação da rigidez efetiva à flexão para a alma.
χ_z	Coefficiente de redução para flambagem.
$\partial\Omega$	Fronteira do domínio.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curva temperatura-tempo de um incêndio real [26].....	10
Figura 2 - Curva de incêndio padrão ISO 834.....	12
Figura 3 - Tipos de seções transversais de pilar. (a) totalmente revestida (b) parcialmente revestidas (c) e (d) preenchidas. ABNT NBR 14323:2013 [29]	15
Figura 4 - Configuração de perfil embebido na parede estudado.....	16
Figura 5 - Propriedades térmicas do aço em função da temperatura.....	20
Figura 6 - Propriedades térmicas do concreto em função da temperatura.....	22
Figura 7 - Propriedades térmicas da parede de alvenaria de argila em função da temperatura	23
Figura 8 - Redução das propriedades mecânicas do aço.	25
Figura 9 - (a) Relação Tensão-Deformação para o concreto em elevadas temperaturas. (b) Fatores de redução para a resistência a compressão e módulo de elasticidade do concreto à elevadas temperaturas.....	26
Figura 10 - Determinação do fator de forma para perfil embebido na parede [23].....	30
Figura 11 - Perfil do pilar com seção parcialmente revestida.	31
Figura 12 - Diagrama do método simplificado de cálculo	33
Figura 13 – Fator de redução da tensão de escoamento	35
Figura 14 - Malha do perfil HD 320x198 para perfil isolado (a) e perfil embebido na parede (b).....	40
Figura 15 – Modelagem e etapas de criação da malha. Em (a) Malha (b) Pontos (c) Linhas (d) Áreas.	41
Figura 16 – Evolução da temperatura no perfil HD 260x172 para o cenário fogo 4 lados	43
Figura 17 – Evolução da temperatura para perfil HD 260x172 para fogo de um lado. .	43
Figura 18 – Evolução da temperatura para (a) os pontos do perfil HD 260x172 para (b) cenário fogo 4 lados e (c) fogo de 1 lado	44
Figura 19 - Comparação da temperatura média da simulação numérica do aprimoramento das componentes.....	51
Figura 20 – Comparação dos valores de temperatura para nova equação e resultados numéricos.	52
Figura 21 - Distribuição da temperatura nas componentes da seção embebida na parede para os tempos R30, R60, R90 e R120.....	53

Figura 22 - Gradiente térmico no banzo do perfil parcialmente revestido embebido na parede.....	56
Figura 23 - Temperatura média segundo ANSYS e Aprimoramento do banzo exposto ao fogo (a,b,c) e do banzo não exposto ao fogo (c,d,e).....	58
Figura 24 - Gradiente térmico na alma do perfil parcialmente revestido embebido na parede.....	59
Figura 25 - Temperatura média da alma segundo ANSYS e Aprimoramento. (a) HD (b) HEA e (c) UC.	61
Figura 26 - Gradiente térmico no concreto do perfil parcialmente revestido embebido na parede.....	61
Figura 27 –Temperatura média para ANSYS e Atual Proposta exposto ao fogo (a, b, c) e não exposto ao fogo (d,e,f).	65
Figura 28 - Redução do concreto para ANSYS e Atual Proposta do concreto exposto ao fogo (a, b, c) e não exposto ao fogo (d,e,f).....	66
Figura 29 - Gradiente térmico no reforço do perfil parcialmente revestido embebido na parede.....	67
Figura 30 - Temperatura média segundo ANSYS e Atual Proposta.do reforço exposto ao fogo (a, b, c) e não exposto (d,e,f).	69
Figura 31 - Comparação entre Anexo G (a,b,c) e o Aprimoramento (d,e,f) para a temperatura média dos banzos para o cenário fogo 4 lados.	71
Figura 32 – Temperatura média do Atual Proposta na componente do banzo exposto (a,b,c) e componente do banzo não exposto (d,e,f) no cenário fogo 1 lado.	72
Figura 33 - Comparação entre Anexo G (a,b,c) e o Aprimoramento (d,e,f) com os resultados numéricos para temperatura média da alma.	73
Figura 34 - Temperatura média do Atual Proposta na componente da alama (a,b,c) no cenário fogo 1 lado.	74
Figura 35 - Comparação entro o Anexo G (a,b,c) e o Aprimoramento (d,e,f) com os resultados numéricos para a temperatura média do concreto.	76
Figura 36 - Redução horizontal do concretos segundo Eurocódigo 4 (a,b,c) e Aprimoramento do B. F. Alfredo [3] (d,e,f).....	77
Figura 37 - Redução do vertical do concreto segundo Eurocódigo 4 (a,b,c) e Aprimoramento de B.F. Alfredo [3] (d,e,f).....	78
Figura 38 - Temperatura média do Atual Proposta na componente do concreto exposto (a,b,c) e componente do concreto não exposto (d,e,f) no cenário fogo 1 lado.....	79

Figura 39 - Comparação entre o Anexo G (a,b,c) e o Aprimoramento (d,e,f) com os resultados numéricos para a temperatura média do reforço.	81
Figura 40 - Temperatura média da Atual Proposta na componente do reforço exposto (a,b,c) e componente do reforço não exposto (d,e,f) no cenário fogo 1 lado.	82
Figura 41 - Comparação para fogo quatro lados entre Anexo G e o Aprimoramento para a (a) Resistência plástica à compressão axial (b) Rigidez efetiva à flexão.	83
Figura 42 - Comparação para fogo de um lado entre Anexo G e o Atual proposta para a (a) Resistência plástica à compressão axial (b) Rigidez efetiva à flexão.	84
Figura 43 - Curvas de flambagem para o comprimento $L= 3$ m, para os três comprimentos de flambagem, para EN 1994-1-2 (a,b,c) e o Aprimoramento realizado (d,e,f).....	85
Figura 44 - Curvas de flambagem para o comprimento $L= 4$ m, para os três comprimentos de flambagem, para EN 1994-1-2 (a,b,c) e o Aprimoramento realizado (d,e,f).....	86
Figura 45 - Curva de flambagem para os comprimentos $L=3$ m (a, b, c) e $L= 4$ m (d, e, f) para os três comprimentos de flambagem, no cenário fogo de um lado, segundo a Atual Proposta.	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Códigos Normativos Europeus.....	14
Tabela 2 - Propriedades da seção para perfil isolado.	15
Tabela 3 - Propriedade da seção para perfil embebido na parede	17
Tabela 4 - Relação tensão-deformação para o aço estrutural e de reforço para elevadas temperaturas.....	24
Tabela 5 - Fatores de redução para o aço estrutural e do reforço para elevadas temperaturas.....	24
Tabela 6 - Relação tensão-deformação do concreto em compressão submetido a altas temperaturas.....	25
Tabela 7 - Fatores de redução para o concreto submetido a altas temperaturas.....	26
Tabela 8- Curva de flambagem e imperfeições dos membros para colunas compostas.	28
Tabela 9 - Fator de forma para seção com fogo quatro lados.....	29
Tabela 10 - Fator de forma para seção com fogo de um lado.	30
Tabela 11 - Coeficientes de redução para rigidez à flexão.....	32
Tabela 12 - Parâmetros de determinação da temperatura média dos banzos.	33
Tabela 13 - Parâmetros para a redução da altura da alma	34
Tabela 14 - Parâmetros para a redução do concreto.....	36
Tabela 15 - Temperatura média na seção resistente de concreto.	36
Tabela 16 - Fatores de redução k_y, t para a tensão de escoamento do aço do reforço. .	38
Tabela 17 - - Fatores de redução kE, t para o módulo de elasticidade do aço de reforço.	38
Tabela 18 – Modelagem e definições da malha.	42
Tabela 19 - Parâmetros para temperatura média do banzo segundo B. F. Alfredo [3]. .	46
Tabela 20 - Parâmetros para temperatura média da alma segundo B. F. Alfredo [3]. ...	47
Tabela 21 - Parâmetros para temperatura média do concreto segundo B. F. Alfredo [3].	48
Tabela 22 - Parâmetros para redução vertical do concreto segundo B. F. Alfredo [3]. .	48
Tabela 23 - Parâmetros para redução horizontal do concreto segundo B. F. Alfredo [3].	48
Tabela 24 - Parâmetros para temperatura média do reforço segundo B. F. Alfredo[3] .	49
Tabela 25 - Novos parâmetros para o cálculo da temperatura média do reforço.	51
Tabela 26 - Norma atual e evolução dos aprimoramentos propostos.....	54

Tabela 27- Novas fórmulas e parâmetros para a média da temperatura no banzo.	56
Tabela 29 - Novas fórmulas e parâmetros para a média da temperatura na alma.	59
Tabela 30 - Nova fórmula e parâmetros para a redução horizontal do concreto exposto ao fogo.	62
Tabela 31 - Parâmetros para a determinação da temperatura média no concreto exposto ao fogo.	62
Tabela 32 - Parâmetros para determinação da temperatura média no concreto não exposto ao fogo.	64
Tabela 33 - Parâmetros para determinar a temperatura média do reforço exposto ao fogo.	68
Tabela 34 - Parâmetros para temperatura média do reforço não exposto.	68
Tabela 35 - Temperatura média do banzo - EN 1994-1-2.	95
Tabela 36 - Coeficientes de redução para tensão de escoamento e módulo de elasticidade.	95
Tabela 37 - Propriedades mecânicas do aço reduzidas a partir da temperatura média - EN 1994-1-2.	96
Tabela 38 – Resistência à compressão axial dos banzos - EN 1994-1-2.	97
Tabela 39 - Rigidez à flexão dos banzos - EN 1994-1-2.	98
Tabela 40 - Redução da altura da alma.	99
Tabela 41 - Coeficiente de redução para tensão de escoamento.	99
Tabela 42 - Resistência à compressão axial da alma - EN 1994-1-2.	100
Tabela 43 - Rigidez à flexão da alma - EN 1994-1-2.	101
Tabela 44- Redução da espessura do concreto EN 1994-1-2.	102
Tabela 45 - Temperatura média do concreto EN 1994-1-2.	102
Tabela 46 - Módulo de elasticidade secante do concreto em função da temperatura EN 1994-1-2.	103
Tabela 47 - Resistência à compressão axial do concreto EN 1994-1-2.	104
Tabela 48 - Rigidez efetiva à flexão do concreto EN 1994-1-2.	105
Tabela 49 - Fatores de redução para tensão de escoamento e módulo de elasticidade do aço EN 1994-1-2.	105
Tabela 50 - Resistência à compressão axial do reforço EN 1994-1-2.	106
Tabela 51 - Rigidez à flexão do reforço EN 1994-1-2.	107
Tabela 52 - Resistência à compressão axial dos perfis.	108
Tabela 53 - Rigidez efetiva à flexão dos perfis.	109

Tabela 54 - Resistência crítica à flambagem para $L\theta=3,0$ m	109
Tabela 55 - Resistência crítica à flambagem para $L\theta=2,1$ m	111
Tabela 56 - Resistência crítica à flambagem para $L\theta=1,5$ m	111
Tabela 57 - Resistência crítica à flambagem para $L\theta=4,0$ m	112
Tabela 58 - Resistência crítica à flambagem para $L\theta=2,8$ m	113
Tabela 59 - Resistência crítica à flambagem para $L\theta=2,0$ m	114
Tabela 60 - Esbeltez adimensional para $L\theta=3,0$ m	115
Tabela 61 - Esbeltez adimensional para $L\theta=2,1$ m	116
Tabela 62 - Esbeltez adimensional para $L\theta=1,5$ m	116
Tabela 63 - Esbeltez adimensional para $L\theta=4,0$ m	117
Tabela 64 - Esbeltez adimensional para $L\theta=2,8$ m	118
Tabela 65 - Esbeltez adimensional para $L\theta=2,0$ m.	119
Tabela 66 - Fator de Redução para $L\theta=3,0$ m.	120
Tabela 67 - Fator de Redução para $L\theta=2,1$ m.	120
Tabela 68 - Fator de Redução para $L\theta=1,5$ m.	121
Tabela 69 - Fator de Redução para $L\theta=4,0$ m.	122
Tabela 70 - Fator de Redução para $L\theta=2,8$ m.	123
Tabela 71 - Fator de Redução para $L\theta= 2,0$ m.	124
Tabela 72 – Resistência à flambagem para $L\theta=3,0$ m.....	125
Tabela 73 - Resistência à flambagem o para $L\theta=2,1$ m.	125
Tabela 74 - Resistência à flambagem para $L\theta=1,5$ m.	126
Tabela 75 - Resistência à flambagem para $L\theta=4,0$ m	127
Tabela 76 - Resistência à flambagem para $L\theta=2,8$ m.	128
Tabela 77 - Resistência à flambagem para $L\theta=2,0$ m	129
Tabela 78 - Temperatura média do banzo no cenário fogo 4 lados - ANSYS	133
Tabela 79 - Temperatura média da alma no cenário fogo 4 lados - ANSYS	134
Tabela 80 - Temperatura média do concreto residual no cenário fogo 4 lados- ANSYS	134
Tabela 81 - Redução da espessura do concreto no cenário fogo 4 lados - ANSYS	135
Tabela 82 - Temperatura média do reforço no cenário fogo 4 lados - ANSYS	136
Tabela 83 - Temperatura média do banzo exposto ao fogo no cenário fogo de 1 lado – ANSYS.....	137
Tabela 84 - Temperatura média do banzo não exposto ao fogo no cenário fogo de 1 lado – ANSYS.....	138

Tabela 85 - Temperatura média da alma no cenário fogo de 1 lado - ANSYS.....	139
Tabela 86 - Temperatura média para o concreto exposto ao fogo no cenário fogo de 1 lado - ANSYS.....	140
Tabela 87 - Redução horizontal do concreto exposto ao fogo para o cenário fogo de 1 lado - ANSYS.....	140
Tabela 88 - Temperatura média para o concreto não exposto - ANSYS.....	141
Tabela 89 - Temperatura média do reforço exposto ao fogo para fogo de 1 lado - ANSYS.....	142
Tabela 90 - Temperatura média do reforço não exposto ao fogo para o cenário fogo de 1 lado - ANSYS.....	143
Tabela 91 - Temperatura média para o banzo - APRIMORAMENTO.....	148
Tabela 92 - Coeficientes de redução para a tensão de escoamento e o módulo de Elasticidade do aço para o banzo - APRIMORAMENTO.....	149
Tabela 93 – Tensão de escoamento reduzida do aço para o banzo - APRIMORAMENTO.....	149
Tabela 94 – Módulo de elasticidade do aço para o banzo- APRIMORAMENTO.....	150
Tabela 95 – Resistência à compressão axial do banzo - APRIMORAMENTO.....	151
Tabela 96 – Rigidez à flexão do banzo - APRIMORAMENTO.....	152
Tabela 97 - Temperatura média da alma - APRIMORAMENTO.....	153
Tabela 98 - Coeficiente de redução para tensão de escoamento e o módulo de elasticidade do aço - APRIMORAMENTO.....	153
Tabela 99 – Tensão de escoamento do aço para alma - APRIMORAMENTO.....	154
Tabela 100 – Módulo de elasticidade do aço para alma - APRIMORAMENTO.....	155
Tabela 101- Resistência à compressão axial da alma - APRIMORAMENTO.....	156
Tabela 102 – Rigidez à flexão da alma - APRIMORAMENTO.....	157
Tabela 103 – Temperatura média do concreto - APRIMORAMENTO.....	157
Tabela 104 – Redução vertical e horizontal da camada do concreto - APRIMORAMENTO.....	158
Tabela 105 - Módulo de elasticidade do concreto reduzido em função da temperatura - APRIMORAMENTO.....	159
Tabela 106 – Resistência à compressão axial do concreto - APRIMORAMENTO.....	160
Tabela 107 – Rigidez à flexão do concreto - APRIMORAMENTO.....	161
Tabela 108 – Temperatura média do reforço - APRIMORAMENTO.....	162

Tabela 109 – Coeficiente de redução para tensão de escoamento e módulo de elasticidade do reforço - APRIMORAMENTO	162
Tabela 110 – Resistência à compressão axial do reforço -APRIMORAMENTO	163
Tabela 111 – Resistência à compressão axial - APRIMORAMENTO	164
Tabela 112 – Rigidez à flexão efetiva - APRIMORAMENTO.....	165
Tabela 113 - Temperatura média do concreto exposto ao fogo - ATUAL PROPOSTA	170
Tabela 114 - Coeficientes de redução para tensão de escoamento e módulo de elasticidade do aço para o banzo exposto ao fogo - ATUAL PROPOSTA	170
Tabela 115 – Tensão de escoamento do aço para o banzo exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA.....	171
Tabela 116 - Módulo de elasticidade do aço para o banzo exposto ao fogo - ATUAL PROPOSTA.....	172
Tabela 117 – Resistência à compressão axial do banzo exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA.....	173
Tabela 118 – Rigidez efetiva à flexão do banzo exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA	174
Tabela 119 – Temperatura média do banzo não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA	175
Tabela 120 - Coeficientes de redução para tensão de escoamento e módulo de elasticidade do aço para o banzo não exposto ao fogo - ATUAL PROPOSTA.....	175
Tabela 121 - Tensão de escoamento do aço para o banzo não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA.....	176
Tabela 122 – Módulo de elasticidadedo aço para o banzo não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA.....	177
Tabela 123 - Resistência à compressão axial do banzo não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA.....	178
Tabela 124 – Rigidez efetiva à flexão do banzo não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA.....	178
Tabela 125 – Temperatura média da alma – ATUAL PROPOSTA	179
Tabela 126 – Coeficientes de redução da tensão de escoamento e módulo de elasticidade do aço para a alma – ATUAL PROPOSTA	180
Tabela 127 – Tensão de escoamento do aço para a alma – ATUAL PROPOSTA.....	181
Tabela 128 – Módulo de elasticidade do aço para a alma – ATUAL PROPOSTA.....	182

Tabela 129 – Resistência à compressão axial da alma – ATUAL PROPOSTA.....	182
Tabela 130 – Rigidez efetiva à flexão para a alma – ATUAL PROPOSTA.....	183
Tabela 131 – Temperatura média do concreto exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA.	185
Tabela 132 – Redução da camada horizontal de concreto exposta ao fogo – ATUAL PROPOSTA.....	185
Tabela 133 – Módulo de elasticidade reduzido do concreto exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA.....	186
Tabela 134 – Resistência à compressão axial para o concreto exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA.....	187
Tabela 135 – Rigidez efetiva à flexão do concreto exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA.....	188
Tabela 136 – Temperatura média do concreto não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA.....	189
Tabela 137 – Módulo de elasticidade reduzido do concreto não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA.....	189
Tabela 138 – Resistência à compressão axial do concreto não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA.....	190
Tabela 139 – Rigidez efetiva à flexão do concreto não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA.....	191
Tabela 140 – Temperatura média do reforço exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA	192
Tabela 141 – Coeficientes de redução da tensão de escoamento e módulo de elasticidade para o aço do reforço exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA.....	193
Tabela 142 – Resistência à compressão axial do reforço exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA.....	193
Tabela 143 – Rigidez efetiva à flexão do reforço exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA	194
Tabela 144 – Temperatura média do reforço não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA	195
Tabela 145 – Coeficientes de redução da tensão de escoamento e módulo de elasticidade para o aço do reforço não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA.....	196
Tabela 146 – Resistência à compressão axial do reforço não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA.....	196

Tabela 147 – Rigidez efetiva à flexão do reforço não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA.....	197
Tabela 148 – Resistência à compressão axial – ATUAL PROPOSTA.....	198
Tabela 149 – Rigidez efetiva à flexão – ATUAL PROPOSTA	199

CÁPITULO 1 – INTRODUÇÃO

Os pilares de aço são frequentemente utilizados na construção de edifícios., estes pilares apresentam elevada resistência mecânica, boa ductilidade e rápida execução na obra. No entanto, a capacidade resistente e a rigidez do aço diminuem drasticamente quando exposto à altas temperaturas. Os pilares mistos, são pilares que associam perfis estruturais de aço com o betão estrutural armado. A associação desses materiais apresenta não só o aumento da rigidez e resistência, mas também maior proteção contra incêndio ao elemento estrutural.

A resistência à encurvadura de pilares mistos parcialmente revestidos, sob ação do fogo, é determinada pela aplicação do modelo da soma ponderada, definido no anexo G do Eurocódigo 4 [1]. O método simplificado de cálculo utiliza uma soma ponderada da rigidez à flexão e resistência a compressão das quatro componentes (banzo, alma, concreto e reforço).

Para a compreensão do comportamento estrutural e a aproximação do método de cálculo ao comportamento real da estrutura em sob ação do fogo, o presente trabalho investiga por meio de modelos de cálculo avançado, com o método de elementos finitos, a resistência à encurvadura de pilares mistos parcialmente revestidos em situação de incêndio.

1.1 Objetivo do Trabalho

O estudo tem como objetivo principal investigar a atual proposta de obtenção da resistência plástica à compressão axial e da rigidez efetiva à flexão de colunas mistas parcialmente revestidas submetidas a situação de incêndio apresentada no anexo G da EN 1994-1-2 [1]. A investigação através do método avançado de cálculo é feita a para colunas expostas à dois cenários de incêndio, sendo estes pilares com fogo quatro lados e pilares embutidos em parede com fogo de um lado.

Os resultados das simulações possibilita a comparação com os resultados obtidos através do método simplificado de cálculo presente no Eurocódigo EN 1994-1-2 anexo G [1] e com o método proposto por B. F. Alfredo [3] para o cenário de fogo em quatro lados.

As temperaturas obtidas por meio de simulações numéricas também permitirão desenvolver uma nova proposta para o cálculo da resistência à encurvadura de pilares embutidos em parede em condições de incêndio e a introdução de uma melhoria no desenvolvimento da atual proposta de resistência à encurvadura para pilares isolados em condições de incêndio.

1.2 Metodologia do Trabalho

No presente trabalho foram analisadas 30 seções mistas de aço parcialmente revestidas de concreto, sob situação de incêndio, para dois cenários, sendo o primeiro com fogo em quatro lados e o segundo com fogo de um único lado. Os perfis estudados tratam-se de 10 perfis da série HD, 10 perfis da série HEA e 10 perfis da série UC. A variação do fator de seção foi considerada na escolha dos perfis de cada série.

O programa ANSYS *Mechanical* APDL 18.2 foi utilizado na realização das simulações computacionais. Foram realizadas análises térmicas por meio de simulações bidimensionais transientes. As seções analisada foram expostas ao fogo padrão ISO834 [4], somente de um lado, para os perfis embutidos em parede, e nos quatro lados para perfis isolados, totalizando 60 simulações. A distribuição da temperatura para os tempos 1800, 3600, 5400 e 7200 segundos foi obtida para todas as simulações, permitindo determinar a resistência ao fogo para os tempos 30, 60, 90 e 120 minutos, respectivamente. O método utilizado permite definir a distribuição de temperatura em 4 níveis de classificação de resistência ao fogo, o R30, R60, R90 e R120, com o total de 240 resultados de perfis de distribuição de temperatura.

A determinação da temperatura na seção dos perfis mistos é feita a partir da separação da seção em componentes. Para cada período de resistência ao fogo e para cada componente são extraídos os resultados da análise de temperatura. A seção exposta à fogo quatro lados possui quatro componentes, enquanto a seção exposta à fogo somente de um lado possui sete componentes. O aprimoramento foi desenvolvido de maneira que a temperatura do aprimoramento fique maior que a temperatura encontrada numericamente, obtendo um nível de segurança maior que 1.

Novas funções de aproximações de temperatura média de cada componente para o cenário fogo de um lado foram determinadas a partir de projeções quadráticas ou lineares de fatores geométricos que aproximam as curvas de temperatura média para cada série de perfil. As temperaturas médias obtidas através das funções de temperatura propostas por B. Alfredo [3] foram comparadas com as temperaturas extraídas das análises para fogo em quatro lados. A rigidez à flexão e resistência a compressão dos perfis em análise foi determinada de acordo com a nova proposta, para o fogo de um único lado, e de acordo com a proposta existente na literatura para o fogo em quatro lados, ambos foram comparados com os resultados obtidos com o atual método simplificado de cálculo presente no EN 1994-1-2 anexo G [1].

O valor da resistência à flambagem sob ação do fogo também foi determinada para fim de comparação. O comprimento das colunas estudadas foi de 3 e 4 metros com coeficientes de flambagem igual a 0,5 (engastado-engastado), 0,7 (engastado-pino) e 1,0 (pino-pino).

1.3 Organização da Dissertação

A dissertação é organizada em nove capítulos, os parágrafos a seguir apresentam uma breve descrição do conteúdo apresentado.

O capítulo 1 é a introdução do trabalho de investigação apresentado nesta tese. No capítulo 2 é apresentado a descrição de curvas nominais e parâmetros de incêndio utilizados para determinar a evolução da temperatura, assim como os aspectos normativos sobre estruturas sob ação do fogo. No capítulo 3 é apresentado os perfis estudados. Propriedades térmicas e mecânicas do aço e do concreto são apresentadas. No capítulo 4 é apresentado o método atual de cálculo para a resistência à encurvadura de pilares isolados em condições de incêndio, proposto pelo anexo G do EN 1994-1-2 [1].

O capítulo 5 apresenta um estudo numérico sobre o comportamento de pilares em dois cenários de incêndio, fogo um lado (embebido em parede) e fogo quatro lados (pilar isolado). Os casos foram simulados utilizando o programa de elementos finitos ANSYS. O capítulo 6 descreve a proposta de aprimoramento atual para o método de cálculo da resistência à encurvadura, desenvolvida por B. F. Alfredo [3]. O capítulo 7 é desenvolvido uma proposta para expressões de cálculo da temperatura média das componentes da seção de pilares mistos embebidos em parede. No capítulo 8 está presente os resultados e as comparações realizadas entre o modelo atual e os novos desenvolvimentos, tanto na resistência à flambagem sob ação do fogo para colunas como na temperatura média das componentes da seção transversal. No capítulo 9 são apresentadas as principais conclusões e propostas para a realização de trabalhos futuros.

1.4 Estado da Arte

Em 1988, G. M. E. Cooke e P. B. E. Morgan [5] apresentaram um estudo experimental e teórico, sobre a curvatura térmica de elementos de construção. O campo de temperatura e

gradiente da seção transversal é dependente do material em análise, dados de teste mostraram que grandes deflexões de curvatura térmica ocorrem em paredes de tijolo sem restrições. Segundo o autor, o comportamento de elementos compostos é mais complexo devido à existência de gradientes térmicos não lineares no concreto. Foram apresentados modelos de cálculo simples para lidar com o efeito de “thermal bowing” em elementos de aço.

Em 1989, K. Kordina [6] estudou o comportamento de pilares compostos de aço e betão submetidos a incêndio. O dimensionamento de pilares compostos com seções de aço oco preenchido com concreto, seção de aço completamente embutidas no concreto e seções preenchida com concreto entre os banzos foi determinado a partir de tabelas que tratam da resistência ao fogo de colunas compostas.

Em 1992, I. W. Burgess, A. O. Olawale e R. J. Plank [7] realizaram um estudo sobre falhas em colunas de aço expostas ao fogo, o desempenho das colunas de aço foi estudado analiticamente pelo método das faixas finitas e incluiu características não lineares do material em função da temperatura. A esbeltez das colunas mostrou-se um fator importante no controle da temperatura de falha. A tensão residual, flambagem local e bloqueio da alma das colunas também foram estudadas. A melhoria na temperatura de falha foi observada através do bloqueio da alma com blocos de concreto, uma vez que o bloco protege a alma do calor radiante e convectivo durante um incêndio, resultando no aumento da resistência ao fogo em termos do tempo necessário para o colapso ocorrer.

Em 2002, L. H. Han et al [8] investigaram experimentalmente a resistência residual de colunas mistas, de aço preenchidas com betão, expostas ao fogo. Verificou-se no estudo que em geral, a resistência residual das colunas é influenciada pelas dimensões da seção, esbeltez e tempo de exposição ao fogo. A partir dos resultados experimentais os autores puderam estabelecer um modelo simplificado para calcular a resistência residual de colunas RHS preenchidas com concreto após exposição ao fogo padrão ISO-834, baseado em análise paramétrica.

Em 2006, E. F. A. Kimura, J. M. Neto e V. P. Silva [9] realizaram análises numéricas de pilares de aço em situação de incêndio, considerando a compartimentação do ambiente em chamas e a presença de gradientes térmicos na seção dos perfis estudados. O fator de massividade utilizado pela norma brasileira NBR 14323:1999 e norma europeia EN 1993-1-2 para o dimensionamento de estruturas de aço em temperaturas elevadas foi analisado para perfis com ação térmica de diferentes intensidades ao longo da seção. Os métodos simplificados de cálculo, para situações em que ocorre ação térmica com diferentes intensidades ao longo do

perímetro da seção (pilares embebidos em parede), apresentam fator de massividade que podem conduzir a valores de temperatura não condizentes com a real situação analisada.

Em 2007, M. E. M. Garlock e S. E. Quiel [10] apresentaram o efeito do gradiente térmico em colunas de aço com grandes espessuras do banzo, mostrando que o gradiente possui influência na modificação da posição do eixo neutro para o lado não exposto ao fogo (mais frio), introduzindo momentos extras de flexão. Os autores descrevem o efeitos dessa mudança do centro de gravidade no desempenho estrutural e na capacidade resistente de seções com gradiente térmico devido à exposição irregular ao fogo.

Ainda em 2007, R. Regobello [11] analisou numericamente seções transversais de elementos estruturais de aço e de aço-betão, sob elevadas temperaturas. Em seu estudo, avaliou as equações propostas pela norma brasileira NBR 14232:1999 para a resistência dos perfis sob a ação do fogo. Os modelos presentes na norma analisada foram desenvolvidos para casos em que ocorre o aquecimento uniforme por todos os lados da seção, em situações em que não ocorre o aquecimento uniforme ou seção com revestimento contra o fogo, o método de dimensionamento utiliza de uma simplificação normativa que pode, eventualmente, conduzir a valores de temperatura máxima não condizentes com os valores reais.

Em 2009, A. M. Correia, J.P. C. Rodrigues, V. P. e Silva et al [12] estudaram a resistência ao fogo de colunas inseridas em parede a partir de análise numérica e experimental. O aquecimento diferencial provocado pela parede, apesar de proporcionar menores temperaturas na seção, causa instabilidade na coluna. A evolução da temperatura experimental e numérica foram comparadas para a elaboração de um método de cálculo da temperatura em elementos de aço embutidos nas paredes. Foram determinados coeficientes de redução que devem ser multiplicados pelas temperaturas calculado na zona exposta da seção transversal do aço, utilizando a parte EC3 1.2 (método simplificado de cálculo), a fim de obter as temperaturas nas outras zonas da seção transversal do aço.

Em 2010, A. J. P. Moura Correia and J. P. C. Rodrigues [13] estudaram a resistência ao fogo de colunas parcialmente revestidas e a influência da restrição axial e rotacional sobre o comportamento desse tipo de colunas. A configuração experimental apresentava restrição à rigidez e um macaco hidráulico para a simulação da carga de utilização de uma estrutura real. Os parâmetros estudados foram o nível de carregamento, os índices de retenção axial e de rotação e a esbeltez. O trabalho mostrou que o aumento da rigidez da configuração experimental reduz o tempo crítico das colunas e que para baixos níveis de carga, a rigidez da estrutura envolvente tem grande influência no comportamento da coluna submetida ao fogo. O tempo crítico foi definido como sendo o instante em que o carregamento axial atinge novamente a

carga inicialmente aplicada, para níveis de carga mais elevados o mesmo comportamento não foi observado.

Ainda em 2010, X. Mao e V. K. R. Kodur [14] analisaram a resistência de colunas de aço revestidas com concreto expostas ao aquecimento padrão em 3 e 4 lados. Foram realizados ensaios experimentais em sete colunas de seção CES (*Columns Encased Steel*), a resistência da coluna foi investigada de acordo com os lados de exposição ao fogo, intensidade da carga e excentricidade da carga. Os resultados indicam que o nível de carga e a excentricidade são os principais parâmetros que influenciam a resistência ao fogo, esta tendência pode ser atribuída ao fato de que, maior carga e excentricidade produzem rachaduras no concreto sob tensão, que por sua vez acelera a elevação da temperatura para as camadas internas da coluna. As colunas aquecidas de 3 lados exibem maior resistência ao fogo do que as colunas aquecidas de 4 lados.

Em 2011, M. M. S. Dwaikat et al [15] testaram vigas-pilar de aço com flange espessa exposta ao fogo, com gradientes de temperatura introduzidos pelo efeito do forno. A simulação estimou um cenário realista com aquecimento de três lados e introduziu gradientes térmicos nas direções da seção paralela e perpendicular à alma. Com o estudo, concluiu-se que a resistência plástica devido às combinações de carga axial e momento são afetadas pelos gradientes térmicos. Os pilares estudados desenvolveram momentos de flexão em resposta a gradientes térmicos profundos e uma inversão de momento devido a uma mudança no centro de rigidez da seção.

O estudo sobre o comportamento de vigas parcialmente revestidas expostas ao fogo foi realizado em 2013, por Piloto et al [16]. Foram testadas experimentalmente 12 vigas de acordo com a norma europeia EN1363-1, também foram realizados três testes em vigas na temperatura ambiente. Os resultados dos testes revelaram a dependência da resistência ao fogo no nível de carga, com significativa diminuição na resistência ao fogo a partir do aumento no nível de carga.

Em 2014, S. Arezki e I. Said [17] estudaram o dimensionamento de pilares mistos de aço e betão expostos ao fogo de acordo com o Eurocódigo 4. Os autores adaptaram o método para o cálculo da resistência de pilares com compressão e flexão combinadas para o cálculo da resistência à flambagem de colunas com cargas excêntricas. O estudo verificou a diminuição gradual da resistência ao fogo de pilares com carga excêntricas a partir do aumento do nível de carga, esbeltez ou excentricidade.

Também em 2014, A. Agarwal, L. Choe e A.H. Varma [18] analisaram numericamente o efeito do gradiente térmico no dimensionamento de colunas de aço expostas ao fogo. A temperatura de falha foi avaliada para diferentes configurações de aquecimento, por meio do acoplamento da análise transiente de transferência de calor com análise implícita de esforço

dinâmico. As análises indicaram que a resistência da coluna e o comportamento da falha dependiam, além da esbelteza da coluna e carga axial, da configuração do aquecimento na seção. As colunas submetidas a aquecimento não uniforme falharam a temperaturas médias mais baixas em comparação com as colunas submetidas a aquecimento uniforme. No entanto, as colunas sujeitas a aquecimento uniforme atingiram as suas temperaturas de falha mais rapidamente do que as colunas submetidas a aquecimento não uniforme devido ao maior influxo de calor.

Ainda em 2014, A. J.P. M. Correia, J. P. C. Rodrigues e P. V. Real [19] estudaram o comportamento de colunas de aço embutidas em parede expostas ao fogo. O contato das colunas de aço com as paredes é responsável pelo gradiente térmico na seção transversal durante o incêndio. Os códigos atuais para projeto de incêndio assumem aquecimento uniforme na seção transversal, no entanto não é o que acontece para colunas embutidas na parede. A parede pode proporcionar redução de temperatura nas colunas (efeito favorável), por outro lado, também proporciona o aquecimento diferencial na seção transversal que pode levar a tensões indesejáveis, causando instabilidade (efeito desfavorável). Os autores desenvolveram um estudo numérico para avaliar a influência do aquecimento diferencial no projeto de incêndio de colunas de aço.

Em 2015, M. Milanovic, M. Cvetkovska, e P. Knezevic [20] apresentou os resultados do estudo sobre a capacidade de carga de três tipos de seções de pilares compostos expostos ao fogo, sendo elas, totalmente revestidas, parcialmente revestidas ou preenchida com concreto e comparou com os resultados com a capacidade de carga de um pilar de referência de concreto armado. A análise da distribuição da temperatura na seção transversal, pelo método dos elementos finitos, revelou a redução da capacidade de carga das colunas analisadas através de mudanças na curva de interação “momento fletor-força axial”. O estudo aponta maior capacidade de carga inicial, a temperatura ambiente, da seção parcialmente revestida, mas também o aquecimento em um período de tempo relativamente curto devido à posição periférica do aço e conseqüentemente, menor resistência após a exposição ao fogo.

Em 2016, A. Piquer [21] analisou a performance de pilares metálicos quando submetidos a ação do fogo, considerando a resistência e economia dos modelos. No estudo, comparou colunas compostas parcialmente revestidas e colunas em I com e sem proteção térmica. Notou-se que para o tempo de resistência ao fogo próximo de 30 minutos o preço é pouco afetado pelo material utilizado, enquanto para tempos maiores a coluna PEC (*partially encased columns*) mostrou-se a melhor opção para o comportamento contra o fogo. Segundo o

autor, o cálculo para o tempo de exposição ao fogo de 120 minutos é uma restrição de metodologia para colunas PEC, algumas configurações podem resistir a mais tempo.

No mesmo ano, A. Fellouh [22] avaliou o método de cálculo para a resistência axial de pilares parcialmente revestidos em situação de incêndio. O autor analisou o método da soma balanceada, presente no anexo G da norma europeia EM 1994-1-2, e o método dos elementos finitos, a fim de comparar os resultados de ambos os métodos de solução e fornecer a validação do modelo tridimensional para diferentes classes de resistência ao fogo. A partir dos resultados obtidos nas simulações, foi possível concluir que a curva de flambagem “c”, proposta pela norma, não é adequada. Uma proposta para o aprimoramento do método simplificado de cálculo para a resistência à flambagem de pilares mistos, com novas equações e parâmetros, foi apresentada pelo autor.

Ainda em 2016, P. C. R. Lopes [23] estudou numericamente o comportamento de pilares de aço inseridos em paredes de alvenaria sob a ação do fogo, foi apresentado um método para a avaliação da temperatura no interior da seção transversal dos perfis de aço inseridos em parede. Os pilares inseridos em parede possuem um gradiente de temperatura, segundo a autora, as tensões e forças provocadas pelo gradiente ao longo da seção transversal do elemento estrutural originam determinada distorção, formando um arco, esse fenômeno de curvatura térmica é conhecido como “thermal bowing”.

Em 2018, F. M. Rocha, J. Paulo, C. Rodrigues, e J. Munaiar Rocha; [24] estudaram o comportamento de colunas de aço e colunas mistas parcialmente revestidas, ambas embutidas na parede expostas ao fogo. Em seu estudo, realizou ensaios experimentais e variou a posição da coluna com a alma do perfil ortogonal ou paralela à superfície da parede, dessa maneira pode notar que quando a alma do pilar estava paralela à superfície da parede o aquecimento aconteceu de maneira mais uniforme. Nas colunas parcialmente revestidas a alma do perfil de aço foi a parte da seção transversal com as temperaturas mais baixas, comprovando a contribuição do concreto em sua proteção. Este fato garante uma maior resistência ao fogo da coluna, uma vez que mesmo que os banzos tenham suas propriedades mecânicas afetadas pelo aquecimento excessivo, as partes mais frias da seção transversal continuam a resistir as cargas de utilização.

Considerando os trabalhos realizados anteriormente e a importância deste campo de pesquisa, será apresentado neste trabalho, um novo estudo sobre a resistência de pilares mistos de aço e concreto, em sob ação do fogo, para dois cenários de incêndio (fogo 4 lados e fogo 1 lado), a fim de contribuir com as pesquisas existentes na área.

CÁPITULO 2 – AÇÃO DO FOGO E ASPECTOS NORMATIVOS

2.1 Ação do Fogo

O estudo realizado no presente trabalho analisa a resistência de colunas mistas, parcialmente revestidas, expostas à situação de incêndio. Para determinar o desenvolvimento do fogo em elementos estruturais, é necessário conhecer as ações do fogo em incêndios, assim como os meios de propagação do calor.

As ações térmicas, de acordo com a norma europeia EN 1991-1-2[25], são definidas em termo de fluxo de calor a partir de duas vertentes: convecção e radiação. O fluxo de calor total, por unidade de área, é apresentado na equação (1), definido na superfície do elemento exposto ao fogo.

$$h_{net} = h_{net,c} + h_{net,r} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (1)$$

A convecção é a forma de propagação de calor em que ocorre os movimentos ascendente e descende de um fluido que se encontra fora de equilíbrio térmico. O componente de fluxo de calor convectivo líquido é dado pela expressão:

$$h_{net,c} = \alpha_c (\theta_g - \theta_m) \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (2)$$

Nas faces não expostas ao fogo de um elemento, o fluxo de calor líquido é determinado usando a equação (2), $\alpha_c = 4 \text{ W/m}^2\text{K}$. Este coeficiente pode ser $\alpha_c = 9 \text{ W/m}^2\text{K}$, quando o efeito da transferência de calor por radiação é considerado.

A radiação representa a energia transferida entre dois corpos por ondas eletromagnéticas e não necessita de um meio para se propagar. O fluxo de calor por radiação é determinado na equação

$$h_{net,r} = \phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot [(\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4] \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (3)$$

A equação (3), também conhecida como Lei de Stefan-Boltzmann possui, para o caso de colunas expostas ao fogo, o fator de vista (ϕ) igual a 1. O fator de vista é um parâmetro

geométrico que prevê o tamanho e a posição relativa entre a fonte de emissão e o elemento sensor. A equação também depende da emissividade do elemento e o fogo deve ter seu valor definido conforme o caso, e pode ser $\varepsilon_m = 0,7$ para o aço ou $\varepsilon_m = 0,8$ aço inoxidável e $\varepsilon_f = 1,0$ para o fogo.

A ação térmica que atua em uma dada estrutura é caracterizada por modelos matemáticos que associam a elevação da temperatura em função do tempo. As curvas que fornecem a elevação da temperatura dos gases em função do tempo de incêndio serão estudadas a seguir.

2.1.1 Incêndio Natural

Para a ocorrência de um incêndio é necessário que exista três fatores: fonte de calor, combustível e o comburente (oxigênio). Iniciada a reação de oxidação, também denominada de combustão ou queima, o calor desprendido da reação permite a continuação do incêndio. Os estágios de um incêndio podem ser definidos por três pontos: *pré-flashover*, *flashover* e temperatura máxima [26]. Um modelo de incêndio natural é esquematizado na Figura 1

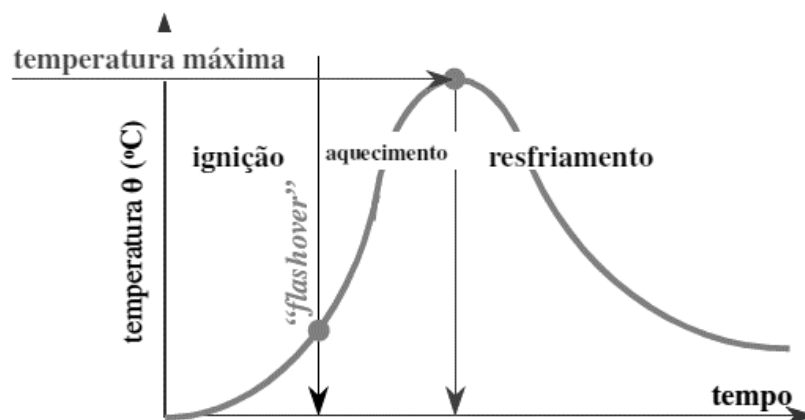


Figura 1 - Curva temperatura-tempo de um incêndio real [26].

A relação da elevação da temperatura em função do tempo de duração do incêndio permite modelar as curvas de incêndio. O incêndio natural apresenta três estágios básicos:

- Ignição: é o início da inflamação, com crescimento gradual da temperatura, nesta fase o incêndio é considerado de pequenas proporções, é conhecido como *pré-flashover*.

- Fase de aquecimento: é caracterizada pela mudança súbita de crescimento da temperatura, resultando no incêndio generalizado de todo o compartimento, fenômeno conhecido como *flashover*. Esta fase se mantém até todo o material combustível começar a extinguir-se.
- Fase de resfriamento: é representada pela redução gradativa da temperatura dos gases no ambiente, após o incêndio atingir a temperatura máxima.

2.1.2 Incêndio Padrão

O incêndio padrão é um modelo idealizado para análises experimentais, o modelo admite que a elevação da temperatura dos gases obedeça às curvas padronizadas. As curvas-padrão possuem apenas o ramo ascendente, com início no momento da combustão generalizada, aumentando a temperatura em função do tempo.

Segundo C. N. Costa e V. P. Silva [26] as curvas-padrão não representam uma situação real de incêndio, uma vez que o cenário do incêndio contém características variáveis (carga de incêndio, grau de ventilação, etc), contudo, elas são usadas para facilitar os ensaios em série de elementos construtivos e avaliar a sua resistência ao fogo. A curva-padrão pode ser indicadora qualitativa de resistência em função da severidade do aquecimento.

A curva de incêndio padrão utilizada no presente trabalho foi é normatizada pela **ISO834 – Fire Resistance Tests – Elements of Building Construction**, ver Figura 2, a norma foi publicada em 1975 pela *International Organization for Standardization (ISO)* e pode ser obtida através da equação(4).

$$\theta_g = \theta_0 + 345 \log(8t + 1) \quad (4)$$

Na equação(4), a temperatura dos gases no ambiente em chamas, em graus Celsius, é representado por θ_g , a temperatura dos gases no instante $t = 0$ (geralmente igual à 20 °C) é representado por θ_0 e o tempo é representado por t (em minutos).

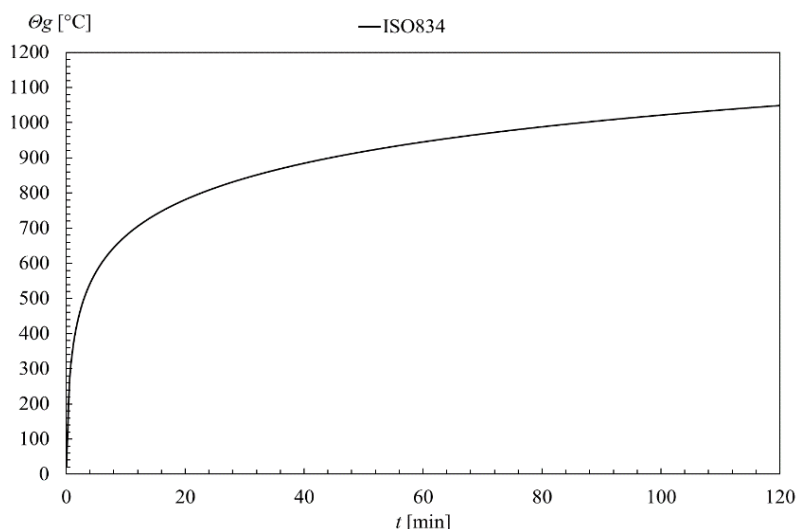


Figura 2 - Curva de incêndio padrão ISO 834.

O Eurocódigo 1 parte 1-2 [25] especifica o coeficiente de convecção $\alpha_c = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ para ser adotado juntamente com a curva ISO 834 [4].

2.2 Aspectos Normativos

A resistência ao fogo dos elementos estruturais é uma preocupação antiga da construção civil. O correto dimensionamento de estruturas expostas ao fogo, é feito de modo a considerar que a estrutura resistirá à cenários de incêndio até a evacuação total e com segurança das pessoas presentes na estrutura. Regras e normas específicas de projeto existem para determinar o modo de dimensionamento das estruturas expostas ao fogo.

As estruturas mistas de aço e concreto, em situações normais, possuem seu dimensionamento normatizado pela norma Europeia EN 1994-1-1[27] e a norma Brasileira ABNT NBR 8800:2008[28]. Em situação de incêndio, a norma Europeia EN 1994-1-2 [1] e a norma Brasileira ABNT NBR 14323:2013 [29] apresentam métodos de dimensionamento determinar a resistência ao fogo de estruturas mistas de aço e concreto.

Em Portugal são utilizadas as normas Europeias traduzidas e intituladas com o prefixo de Norma Portuguesa (ex: NP EN 1994-1-2). Para adaptar à realidade do país que não estão especificadas nos códigos Europeus, aspectos específicos do país podem ser considerados em anexos nacionais contidos no final dos códigos Europeus traduzidos.

2.2.1 Normas Brasileiras

A preocupação com o comportamento de estruturas metálicas sob ação do fogo levou um comitê com a presença da Associação Brasileira de Normas Técnicas a desenvolver normas que servem como base para o dimensionamento de projetos estruturais.

A fim de estabelecer padrões para o dimensionamento de estruturas metálicas submetidas à situação de incêndio foi publicada em 1999 a norma brasileira ABNT NBR 14323:1999[29], atualizada em 2008, intitulada - *Dimensionamento de estruturas de aço e de estruturas mistas aço-concreto de edifícios em situação de incêndio*. A norma fixa as condições exigíveis para o dimensionamento em situação de incêndio de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço-betão de edifícios.

Em 2000, foi publicada a ABNT NBR 14432:2000, intitulada *Exigências de resistência ao fogo de elementos construtivos das edificações*, atualizada em 2013, em que são apresentados critérios para o dimensionamento de elementos isolados e para a determinação do TRF – tempo de resistência ao fogo.

A norma brasileira ABNT NBR 14323:1999[29] apresenta no seu anexo B o mesmo método simplificado de cálculo para a resistência à encurvadura de colunas mistas parcialmente revestidas, em situação de incêndio, presente no anexo G da norma europeia, EN 1994-1-2[1], estudado neste trabalho.

2.2.2 Normas Europeias

Métodos de dimensionamento são desenvolvidos a partir da compreensão do comportamento do fogo e seus impactos nas estruturas, de modo a tornar estas estruturas mais seguras e econômicas.

As normas técnicas europeias foram desenvolvidas em 1975 quando uma comissão da comunidade europeia elaborou um programa de ação no campo da construção baseado em acordos, buscando eliminar os obstáculos técnicos e padronizar as especificações técnicas.

Os códigos normativos são divididos em 10 partes, ver tabela definidos em função dos materiais, cada código é dividido em algumas partes com especificações. Sendo a parte estudada neste trabalho, a parte 1-2, utilizada para o fogo, ações e resistência

Tabela 1 - Códigos Normativos Europeus

EN 1990	EN 1991	EN 1992	EN 1993	EN 1994	EN 1995	EN 1996	EN 1997	EN 1998	EN 1999
Bases para projeto de estruturas	Ações em estruturas	Projeto de estruturas de betão	Projeto de estruturas em aço	Projeto de estruturas compostas de aço e betão	Projeto de estruturas de madeira	Projeto de alvenaria	Projeto geotécnico	Projeto de estruturas para resistência a sismos	Projeto de estruturas de alumínio

Tanto a norma Brasileira como as normas Europeias apresentam métodos simplificados de cálculo para determinar a capacidade resistência de pilares mistos parcialmente revestidos, sob a ação do fogo, no entanto os métodos tratam sobre pilares aquecidos em todas as faces da seção transversal, ou seja, com campos térmicos uniformes na seção.

Ambas as normas fornecem três métodos para o cálculo da resistência ao fogo das estruturas, sendo primeiro o método a partir de valores tabelados, o segundo o método simplificado de cálculo e terceiro permite a utilização de modelo avançado de cálculo.

O estudo deste trabalho se baseia no Anexo G da norma EN 1994 parte 1-2 para a obtenção da resistência à encurvadura de pilares mistos parcialmente revestidos sob ação do fogo e os relaciona com o modelo avançado de cálculo.

CÁPITULO 3 – SEÇÕES MISTAS E PROPRIEDAS DOS MATERIAIS

3.1 Seções mistas

A seção mista de aço e concreto é aquela em que o perfil de aço trabalha em conjunto com o concreto ou a armadura presente no mesmo. Em relação às estruturas de concreto possui a vantagem da redução do peso próprio da estrutura e o aumento da precisão dimensional da construção. Enquanto em relação às estruturas de aço é possível alcançar a redução considerável do aço estrutural e maior proteção contra corrosões e incêndio.

Pilares mistos parcialmente revestidos possuem elevada rigidez e resistência, esse fator pode ser atribuído a presença do concreto entre os banzos dos perfis metálicos, geralmente seções do tipo I ou H.

A posição que o concreto ocupa na seção mista é critério de classificação das colunas mistas, segundo a norma ABNT NBR 14323:2013 [29]. As colunas são classificadas como totalmente revestidas, colunas parcialmente revestidas e colunas preenchidas.

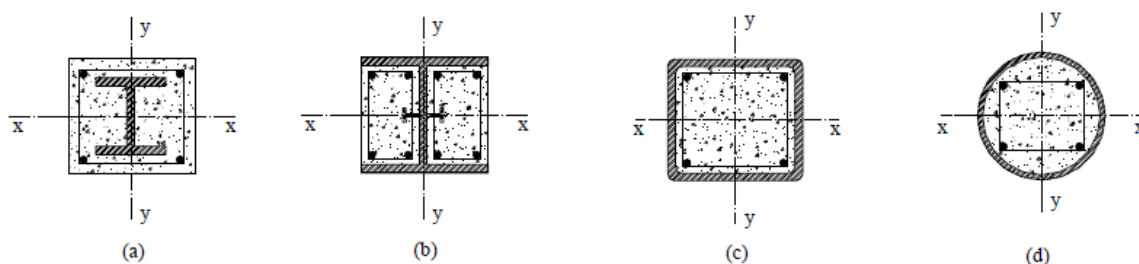


Figura 3 - Tipos de seções transversais de pilar. (a) totalmente revestida (b) parcialmente revestidas (c) e (d) preenchidas. ABNT NBR 14323:2013 [29]

As seções parcialmente revestidas possuem uma resistência final mais alta quando comparadas com seções de aço simples, segundo M. Korzen, J. P. C. Rodrigues e A. M. Correia [30], as colunas compostas de aço e concreto apresentam vantagem quando comparadas com as colunas de aço simples principalmente pelo concreto apresentar além de função resistente, função de proteção contra incêndio.

Tabela 2 - Propriedades da seção para perfil isolado.

Perfil	A_m/V [m ⁻¹]	h mm	b mm	tw mm	tf mm	Nº de barras	ϕ [mm]	As/ As + Ac	u [mm]	Área do reforço [mm ²]
HEA 240	17.03	230	240	7.5	12	4	20	2.62%	50	314.2
HEA 280	14.55	270	280	8	13	4	25	2.96%	50	490.9
HEA 320	13.12	310	300	9	15.5	4	25	2.42%	50	490.9
HEA 360	12.38	350	300	10	17.5	4	32	3.52%	50	804.2
HEA 450	11.21	440	300	11.5	21	4	32	2.80%	50	804.2
HEA 500	10.75	490	300	12	23	4	32	2.52%	50	804.2
HEA 600	10.06	590	300	13	25	4	32	2.08%	54.8	804.2
HEA 700	9.57	690	300	14.5	27	4	40	2.77%	54.8	1256.6
HEA 800	9.20	790	300	15	28	4	40	2.40%	54.8	1256.6
HEA 1000	8.69	990	300	16.5	26	4	40	1.89%	54.8	1256.6
UC 254 x 254 x 73	15.73	254.1	254.6	8.6	14.2	4	25	3.54%	50	490.9
UC 254 x 254 x 167	14.46	289.1	265.2	19.2	31.7	4	25	3.54%	50	490.9
UC 305 x 305 x 97	13.05	307.9	305.3	9.9	15.4	4	25	2.40%	50	490.9
UC 305 x 305 x 158	12.54	327.1	311.2	15.8	25	4	25	2.40%	50	490.9
UC 305 x 305 x 313	11.50	374	325	30	48.3	4	25	2.40%	50	490.9
UC 356 x 368 x 202	10.68	374.6	374.7	16.5	27	4	32	2.80%	50	804.2
UC 356 x 406 x 340	9.88	406.4	403	26.6	42.9	4	32	2.67%	50	804.2
UC 356 x 406 x 592	9.05	465	421	45	72.3	4	32	2.67%	50	804.2
UC 356 x 406 x 744	8.65	498	432	55.6	88.9	4	32	2.67%	50	804.2
UC 356 x 406 x 1086	7.92	569	454	78	125	4	32	2.68%	50	804.2
HD 260 x 93,0	15.38	260	260	10	17.5	4	25	3.49%	50	490.9
HD 260 x 172	14.36	290	268	18	32.5	4	25	3.49%	50	490.9
HD 320 x 74,2	13.31	301	300	8	11	4	25	2.41%	50	490.9

HD 320 x 198	12.37	343	306	18	32	4	25	2.44%	50	490.9
HD 320 x 300	11.72	375	313	27	48	4	25	2.46%	50	490.9
HD 400 x 237	10.33	380	395	18.9	30.2	4	32	2.68%	50	804.2
HD 400 x 347	9.86	407	404	27.2	43.7	4	32	2.67%	50	804.2
HD 400 x 509	9.29	446	416	39.1	62.7	4	32	2.66%	50	804.2
HD 400 x 900	8.29	531	442	65.9	106	4	32	2.68%	50	804.2
HD 400 x 1299	7.54	600	476	100	140	4	32	2.67%	50	804.2

3.1.1 Seções mistas embebidas em parede

O comportamento de pilares mistos de aço e concreto inseridos em parede de alvenaria é significativamente distinto do observado em pilares isolados. A alvenaria proporciona, em situação de incêndio, não só a redução da temperatura, mas também é responsável por um aquecimento diferencial que pode causar gradientes térmicos na seção. Essa situação deve-se ao fato dos pilares inseridos em parede em edifícios reais serem, geralmente, expostos ao fogo a partir do interior do compartimento.

A temperatura de falha dos pilares mistos é dependente de características como a profundidade da seção do pilar, as condições de fronteira e a sua esbelteza. Dessa forma, a temperatura de falha de pilares com distribuição não uniforme (embebidos em parede), pode verificar-se inferior ou superior aos pilares com distribuição da temperatura uniforme (isolados), dependendo das características mencionadas [23].

O Eurocódigo EN 1994-1-2 [1] não considera para seções mistas embebidas em parede temperaturas diferenciais na seção transversal, mas sim que a resistência ao fogo é determinada como se a evolução da temperatura fosse uniforme em toda a seção.

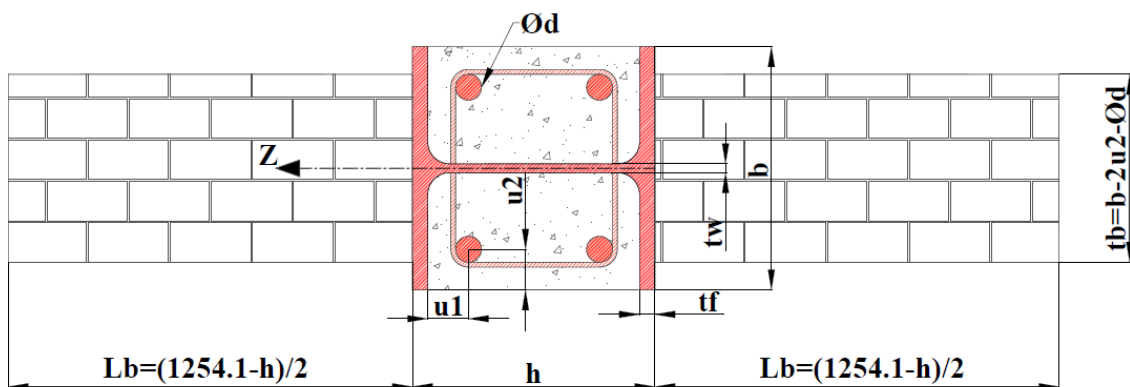


Figura 4 - Configuração de perfil embebido na parede estudado.

A Figura 4 apresenta a configuração da seção estudada para perfil embebido na parede. A espessura da parede foi definida de modo que mantivesse sempre a mesma proporção de acordo com a dimensão da seção, com sua espessura limitada à distância entre os reforços. Enquanto o comprimento da parede foi definido a partir do perfil UC 254x254x73, com comprimento $L_b = 500\text{mm}$, o comprimento total para todas as seções estudadas fixou-se em 1254.1mm.

Tabela 3 - Propriedade da seção para perfil embebido na parede

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	Nº de barras	ϕ [mm]	As/ As + Ac	u [mm]	Área do reforço [mm ²]	Comprimento da parede (L _b) [mm]	Espessura da parede (tb) [mm]
HEA 240	6.30	4	20	2.62%	50.0	314.2	512.05	122.28
HEA 280	5.19	4	25	2.96%	50.0	490.9	492.05	157.84
HEA 320	4.65	4	25	2.42%	50.0	490.9	472.05	177.84
HEA 360	4.56	4	32	3.52%	50.0	804.2	452.05	171.64
HEA 450	4.31	4	32	2.80%	50.0	804.2	407.05	171.64
HEA 500	4.21	4	32	2.52%	50.0	804.2	382.05	171.64
HEA 600	4.06	4	32	2.08%	54.8	804.2	332.05	171.64
HEA 700	3.99	4	40	2.77%	54.8	1256.6	282.05	164.55
HEA 800	3.90	4	40	2.40%	54.8	1256.6	232.05	164.55
HEA 1000	3.79	4	40	1.89%	54.8	1256.6	132.05	164.55
UC 254 x 254 x 73	5.82	4	25	3.54%	50.0	490.9	500.00	132.44
UC 254 x 254 x 167	5.36	4	25	3.54%	50.0	490.9	482.50	143.04
UC 305 x 305 x 97	4.57	4	25	2.40%	50.0	490.9	473.10	183.14
UC 305 x 305 x 158	4.41	4	25	2.40%	50.0	490.9	463.50	189.04
UC 305 x 305 x 313	4.08	4	25	2.40%	50.0	490.9	440.05	202.84
UC 356 x 368 x 202	3.58	4	32	2.80%	50.0	804.2	439.75	246.34
UC 356 x 406 x 340	3.27	4	32	2.67%	50.0	804.2	423.85	274.64
UC 356 x 406 x 592	3.03	4	32	2.67%	50.0	804.2	394.55	292.64
UC 356 x 406 x 744	2.91	4	32	2.67%	50.0	804.2	378.05	303.64
UC 356 x 406 x 1086	2.70	4	32	2.68%	50.0	804.2	342.55	325.64
HD 260 x 93,0	5.65	4	25	3.49%	50.0	490.9	497.05	137.84
HD 260 x 172	5.30	4	25	3.49%	50.0	490.9	482.05	145.84
HD 320 x 74,2	4.69	4	25	2.41%	50.0	490.9	476.55	177.84
HD 320 x 198	4.43	4	25	2.44%	50.0	490.9	455.55	183.84
HD 320 x 300	4.24	4	25	2.46%	50.0	490.9	439.55	190.84
HD 400 x 237	3.39	4	32	2.68%	50.0	804.2	437.05	266.64
HD 400 x 347	3.26	4	32	2.67%	50.0	804.2	423.55	275.64
HD 400 x 509	3.10	4	32	2.66%	50.0	804.2	404.05	287.64
HD 400 x 900	2.81	4	32	2.68%	50.0	804.2	361.55	313.64
HD 400 x 1299	2.55	4	32	2.67%	50.0	804.2	327.05	347.64

3.2 Dimensionamento seção mista parcialmente revestida

Esse método se aplica a colunas com classes de aço de S235 à S460 e concreto com classe de resistência de C20/25 à C50/60. A taxa de contribuição do aço deve ser entre 0,2 e 0,9. A relação de contribuição do aço (δ) é definida através da fórmula a seguir

$$\delta = \frac{A_a f_{yd}}{N_{pl,Rd}} \quad (5)$$

A resistência plástica à compressão de uma seção transversal composta parcialmente revestida deve ser calculada através da soma das resistências de seus componentes, sendo estas o perfil metálico, o concreto e o reforço

$$N_{pl,Rd} = A_a f_{yd} + 0,85 A_c f_{cd} + A_s f_{sd} \quad (6)$$

A resistência das componentes são obtidas através da multiplicação de sua área e sua respectiva tensão resistente. A componente referente ao concreto tem sua parcela corrigida por um coeficiente igual 0,85.

A esbeltez relativa λ para o plano de flexão pode ser determinada através do valor característico da resistência plástica à compressão (6), se em vez do valor de projeto, os valores característicos forem usados e da força elástica crítica normal (8) para o modo de flambagem relevante, calculado através da rigidez à flexão efetiva $(EI)_{eff}$.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{N_{pl,Rk}}{N_{cr}}} \quad (7)$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 (EI)_{eff}}{L_0^2} \quad (8)$$

O valor da rigidez à flexão efetiva $(EI)_{eff}$ da seção transversal da coluna composta pode ser determinado a partir da soma da rigidez à flexão das suas componentes.

$$(EI)_{eff} = E_a I_a + E_s I_s + K_c E_{cm} I_c \quad (9)$$

$$E_{cm} = 22 \left(\frac{f_{cm}}{10} \right)^{0,3} \text{ com } f_{cm} \text{ em MPa} \quad (10)$$

A rigidez à flexão de cada componente é obtida através do produto do seu respectivo momento de inércia, para o plano de flexão que está sendo considerado, e o módulo de elasticidade da componente. O concreto tem um fator de correção (K_c) em sua componente que deve ser considerado 0,6 e utiliza o módulo de elasticidade secante do concreto.

3.3 Propriedades dos Materiais

3.3.1 Propriedades Térmicas

O aumento da temperatura nos elementos estruturais, em consequência da ação térmica, é responsável pela redução da resistência e da rigidez nas estruturas. As propriedades térmicas influenciam no comportamento do aço quando submetidos a condições de elevadas temperaturas, e são definidas de acordo com o Eurocódigo EN 1993-1-2 [31].

3.3.1.1 Aço

O aço é um material muito afetado pela elevação da temperatura. A condutibilidade térmica do aço estrutural e do reforço pode ser determinada de acordo com a temperatura no aço (θ_a) através equações a seguir.

$$\lambda_a = 54 - 3,33 \cdot 10^{-2} \theta_a \quad [\text{W/mK}] \text{ for } 20^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 800^\circ\text{C} \quad (11)$$

$$\lambda_a = 27,3 \quad [\text{W/mK}] \text{ for } 800^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 1200^\circ\text{C} \quad (12)$$

A variação da condutibilidade térmica do aço de acordo com a temperatura pode ser observada na Figura 5.

O calor específico de um material é definido como a quantidade de energia necessária para que 1 g do material tenha variação de temperatura de 1°C. O calor específico do aço varia com a elevação da temperatura do material e pode ser determinado através das equações a seguir:

$$20^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 600^\circ\text{C}$$

$$c_a = 425 + 7,73 \cdot 10^{-1} \theta_a - 1,69 \cdot 10^{-3} \theta_a^2 + 2,22 \cdot 10^{-6} \theta_a^3 \quad (13)$$

$$600^{\circ}\text{C} < \theta_a \leq 735^{\circ}\text{C}$$

$$c_a = 666 - \left(\frac{13002}{\theta_a - 738} \right) \quad (14)$$

$$735^{\circ}\text{C} < \theta_a \leq 900^{\circ}\text{C}$$

$$c_a = 545 + \left(\frac{17820}{\theta_a - 731} \right) \quad (15)$$

$$900^{\circ}\text{C} < \theta_a \leq 1200^{\circ}\text{C}$$

$$c_a = 650 \quad (16)$$

Onde θ_a é a temperatura do aço. A variação do calor específico de acordo com a temperatura está ilustrada na Figura 5.

A massa específica do aço ρ_a não é afetada pela variação da temperatura, e permanece constante mesmo quando submetido a altas temperaturas.

$$20 \leq \theta_a \leq 1200^{\circ}\text{C}$$

$$\rho_a = 7850 \text{ [kg / m}^3\text{]} \quad (17)$$

A massa específica do aço em função da temperatura pode ser observada no gráfico representado na. Figura 5

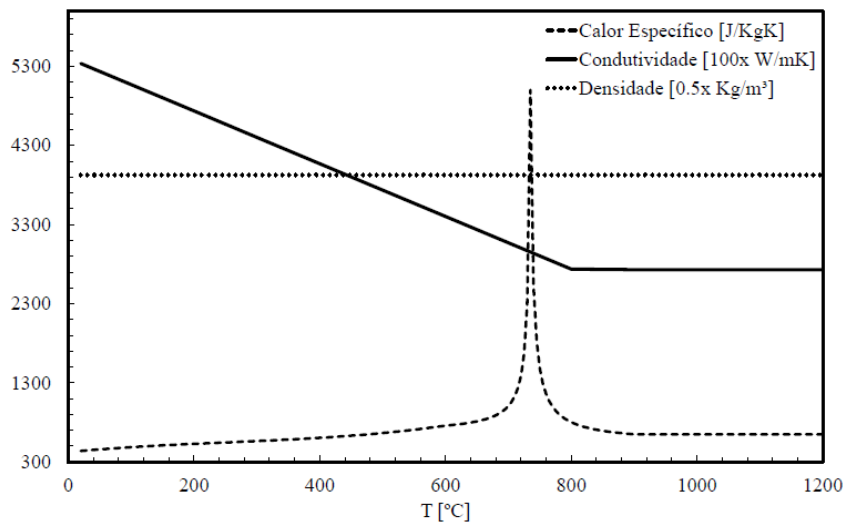


Figura 5 - Propriedades térmicas do aço em função da temperatura.

3.3.1.2 Concreto

O Eurocódigo EN 1992-1-2 determina que a condutibilidade térmica do concreto λ_c varia conforme a temperatura e deve ser tomada entre os limites inferior e superior.

O limite inferior da condutibilidade térmica do concreto é definido pela equação a seguir.

$$20 \leq \theta_a \leq 1200^\circ\text{C}$$

$$\lambda_c = 1,36 - 0,136(\theta_c/100) + 0,0057(\theta_c/100)^2 \quad [\text{W/mK}] \quad (18)$$

Enquanto o limite superior da condutibilidade térmica do concreto é definido pela equação a seguir.

$$20^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 1200^\circ\text{C}$$

$$\lambda_c = 2 - 0,2451(\theta_c/100) + 0,0107(\theta_c/100)^2 \quad [\text{W/mK}] \quad (19)$$

A temperatura no concreto é representada por θ_c em $^\circ\text{C}$. O presente trabalho utiliza o limite superior para a condutibilidade térmica do concreto, assim como recomenda o Eurocódigo EN 1994-1-2, e pode ser observado graficamente na Figura 6.

Segundo Eurocódigo EN 1992-1-2 O calor específico do concreto deve ser determinado de acordo com a temperatura, para agregados silícios ou calcários com teor de umidade $u = 0\%$, conforme as equações a seguir.

$$20^\circ\text{C} \leq \theta_c \leq 100^\circ\text{C}$$

$$c_c = 900 \quad [\text{J/kgK}] \quad (20)$$

$$100^\circ\text{C} < \theta_c \leq 200^\circ\text{C}$$

$$c_c = 900 + (\theta_c - 100) \quad [\text{J/kgK}] \quad (21)$$

$$200^\circ\text{C} < \theta_c \leq 400^\circ\text{C}$$

$$c_c = 1000 + (\theta_c - 200)/2 \quad [\text{J/kgK}] \quad (22)$$

$$400^\circ\text{C} < \theta_c \leq 1200^\circ\text{C}$$

$$c_c = 900 \quad [\text{J / kgK}] \quad (23)$$

Onde θ_c é a temperatura no concreto em °C.

Quando o teor de umidade não for considerado explicitamente no método de cálculo o Eurocódigo EN 1992-1-2 sugere ainda que uma função para o calor específico do concreto seja modelada por um valor constante $c_{p,peak}$, situado entre as temperaturas 100°C e 115°C com um decréscimo linear entre as temperaturas 115°C e 200°C.

$$c_{p,peak}(u = 0\%) = 900 \text{ [J/kgK]} \quad (24)$$

$$c_{p,peak}(u = 1,5\%) = 1470 \text{ [J/kgK]} \quad (25)$$

$$c_{p,peak}(u = 3\%) = 2020 \text{ [J/kgK]} \quad (26)$$

A massa específica do concreto em função da temperatura considerada no presente trabalho pode ser observada através do gráfico representado na Figura 6.

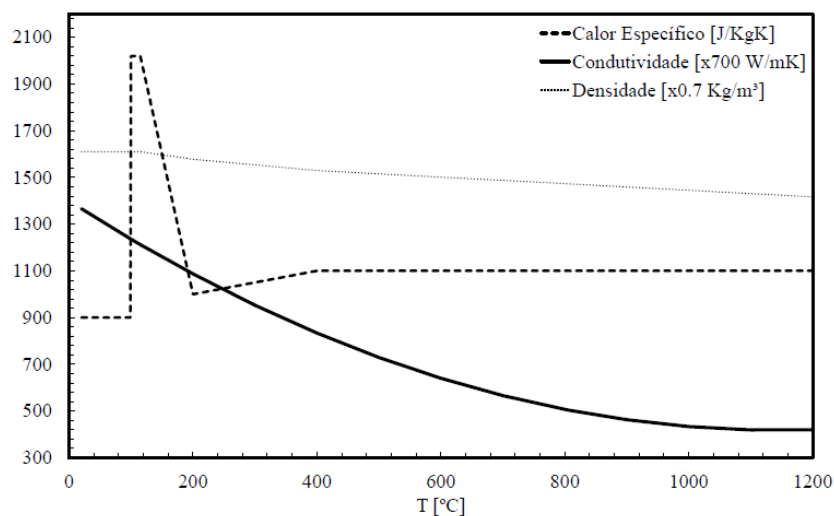


Figura 6 - Propriedades térmicas do concreto em função da temperatura.

3.3.1.3 Alvenaria

A parede de alvenaria é constituída por blocos de argila e possui suas propriedades térmicas determinadas pelo EN 1996-1-2 [32]. A capacidade de carga da parede é impactada pela ação do fogo, dessa maneira é preciso considerar, a condutividade e calor específico desse

material em função da temperatura. A variação das propriedades da parede de argila considerada neste trabalho, de acordo com a temperatura, para a densidade entre 900 e 1200 kg/m³ e está representada na Figura 7.

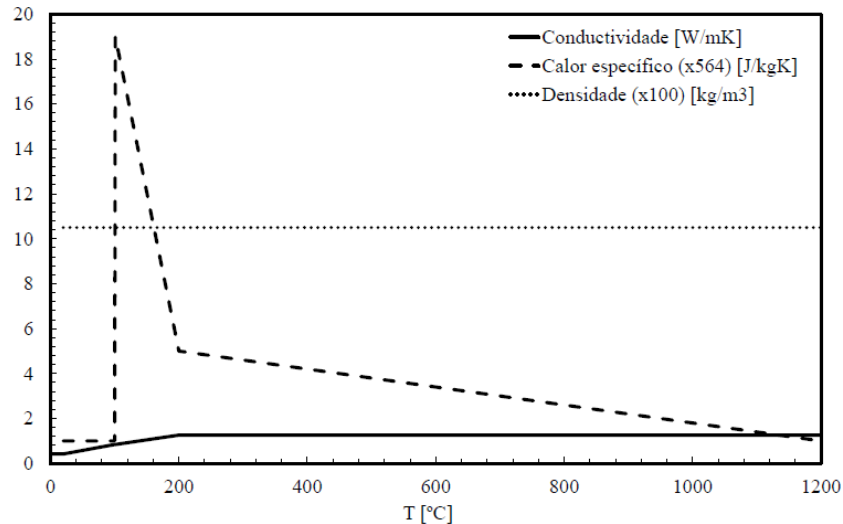


Figura 7 - Propriedades térmicas da parede de alvenaria de argila em função da temperatura

3.3.2 Propriedades Mecânicas

3.3.2.1 Aço Estrutural e do Reforço

As principais características mecânicas associadas ao aço são a alta resistência e a ductilidade, essas características são responsáveis por grandes deformações antes da ruptura.

Diagramas de tensão vs. deformação do aço podem ser obtidos por meio de ensaios de tração. O aumento da temperatura faz com que os valores de tensão e deformação dos aços sejam alterados.

O Eurocódigo 1994-1-2 [1] determina valores para tensão e deformação de acordo com o aumento da temperatura, para aço estrutural e do reforço, podendo ser calculados da mesma forma. A norma também determina fatores para redução das propriedades mecânicas do aço estrutural (laminado a quente) e de reforço (trabalhado a frio) a partir do aumento da temperatura.

Tabela 4 - Relação tensão-deformação para o aço estrutural e de reforço para elevadas temperaturas

Faixa de deformação	Tensão σ (θ)	Módulo de Elasticidade
$\varepsilon \leq \varepsilon_{ap,\theta}$	$\varepsilon_{a,\theta} E_{a,\theta}$	$E_{a,\theta}$
$\varepsilon_{ap,\theta} < \varepsilon < \varepsilon_{ay,\theta}$	$f_{ap,\theta} - c + (b/a)[a^2 - (\varepsilon_{ay,\theta} - \varepsilon_{a,\theta})^2]^{0,5}$	$\frac{b(\varepsilon_{ay,\theta} - \varepsilon_{a,\theta})}{a[a^2 - (\varepsilon_{ay,\theta} - \varepsilon_{a,\theta})^2]^{0,5}}$
$\varepsilon_{ay,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{au,\theta}$	$f_{ay,\theta}$	0
Parâmetros	$\varepsilon_{ap,\theta} = f_{ap,\theta}/E_{a,\theta}$ $\varepsilon_{ay,\theta} = 0,02$	
Funções	$a^2 = (\varepsilon_{ay,\theta} - \varepsilon_{ap,\theta})(\varepsilon_{ay,\theta} - \varepsilon_{ap,\theta} + c/E_{a,\theta})$	
	$b^2 = c(\varepsilon_{ay,\theta} - \varepsilon_{ap,\theta})E_{a,\theta} + c^2$	
	$c = \frac{(f_{ay,\theta} - f_{ap,\theta})^2}{(\varepsilon_{ay,\theta} - \varepsilon_{ap,\theta})E_{a,\theta} - 2(f_{ay,\theta} - f_{ap,\theta})}$	

Os valores de tensão-deformação para o aço estão presentes na Tabela 4, enquanto os fatores de redução para o aço estão presentes na Tabela 5.

Tabela 5 - Fatores de redução para o aço estrutural e do reforço para elevadas temperaturas.

Temp. [°C]	Aço Estrutural		Aço do Reforço	
	$k_{y,\theta}$	$k_{E,\theta}$	$k_{y,\theta}$	$k_{E,\theta}$
20	1.00	1.00	1.00	1.00
100	1.00	1.00	1.00	1.000
200	1.00	0.900	1.00	0.870
300	1.00	0.800	1.00	0.720
400	1.00	0.700	0.940	0.560
500	0.780	0.600	0.670	0.400
600	0.470	0.310	0.400	0.240
700	0.230	0.130	0.120	0.080
800	0.110	0.090	0.110	0.060
900	0.060	0.068	0.080	0.050
1000	0.040	0.045	0.050	0.030
1100	0.020	0.023	0.030	0.020
1200	0.00	0.00	0.00	0.00

A representação gráfica dos fatores de redução para o aço estrutural e o aço do reforço está presente na Figura 8.

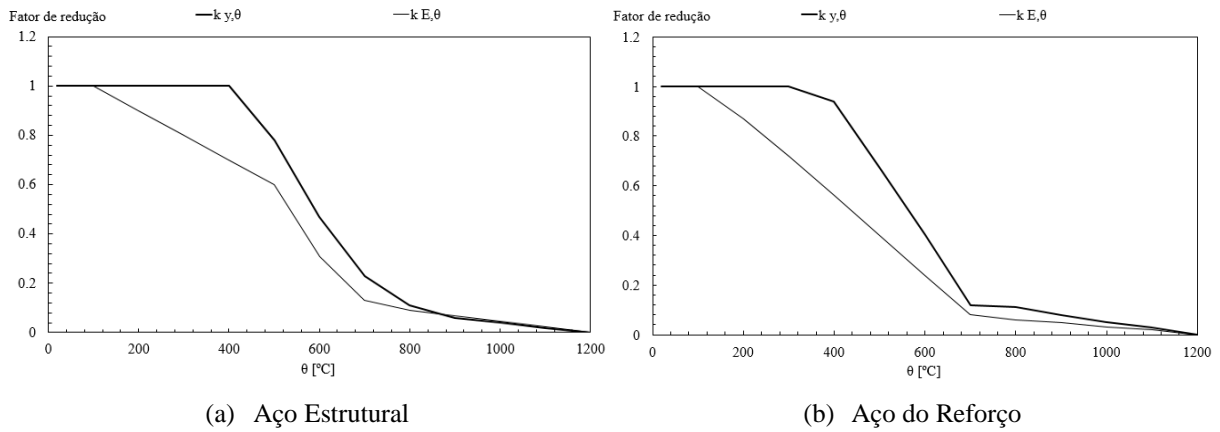


Figura 8 - Redução das propriedades mecânicas do aço.

3.3.2.2 Concreto

Para a caracterização mecânica do concreto é necessário considerar as características e proporções de cada material que o constitui. A alta resistência e durabilidade são características atribuídas ao concreto. A resistência a compressão do concreto é a propriedade mais valorizada no cálculo de elementos estruturais de concreto.

Quando submetido à altas temperaturas, este material tem suas propriedades alteradas. Para a determinação dos valores de tensão e deformação, para elevadas temperaturas, o EN 1994-1-2 [1] define valores apresentados nas expressões da Tabela 6.

Tabela 6 - Relação tensão-deformação do concreto em compressão submetido a altas temperaturas.

Faixa de deformação	Tensão $\sigma(\theta)$
$\varepsilon \leq \varepsilon_{cu,\theta}$	$f_{c,\theta} [3(\varepsilon_{c,\theta}/\varepsilon_{cu,\theta}) / \{2 + (\frac{\varepsilon_{c,\theta}}{\varepsilon_{cu,\theta}})^3\}]$
$\varepsilon_{cu,\theta} < \varepsilon \leq \varepsilon_{ce,\theta}$	Em modelagens numéricas o ramo descendente deve ser adotado. Modelos lineares e não-lineares são permitidos.

Na

Tabela 6 é apresentado os fatores de redução das características mecânicas, para o concreto convencional com agregado de sílica, definido pela norma EN 1994-1-2 [1]. A norma não apresenta um fator de redução para o módulo de elasticidade, mas sim uma equação (27) para reduzir indiretamente o módulo de elasticidade por meio de um coeficiente de redução $k_{E,\theta}$. A

equação para o fator de redução da resistência a compressão à elevadas temperaturas para o concreto está estabelecido em (28).

$$k_{E,\theta} = E_{c,sec,\theta} / E_{c,sec} \quad (27)$$

$$k_{c,\theta} = f_{ck,\theta} / f_{ck} \quad (28)$$

Tabela 7 - Fatores de redução para o concreto submetido a altas temperaturas.

Temperatura do concreto θ_c [°C]	$k_{c,\theta}$	$k_{E,\theta}$	$\varepsilon_{cu,\theta}$
20	1,00	1,0000	0,0025
100	1,00	0,6250	0,0040
200	0,95	0,4318	0,0055
300	0,85	0,3036	0,0070
400	0,75	0,1875	0,0100
500	0,60	0,1000	0,0150
600	0,45	0,0450	0,0250
700	0,30	0,0300	0,0250
800	0,15	0,0150	0,0250
900	0,08	0,0080	0,0250
1000	0,04	0,0040	0,0250
1100	0,01	0,0010	0,0250
1200	0,00	-	-

Na figura 9 é possível analisar graficamente o fator de redução da resistência a compressão e o módulo de elasticidade do concreto à altas temperaturas.

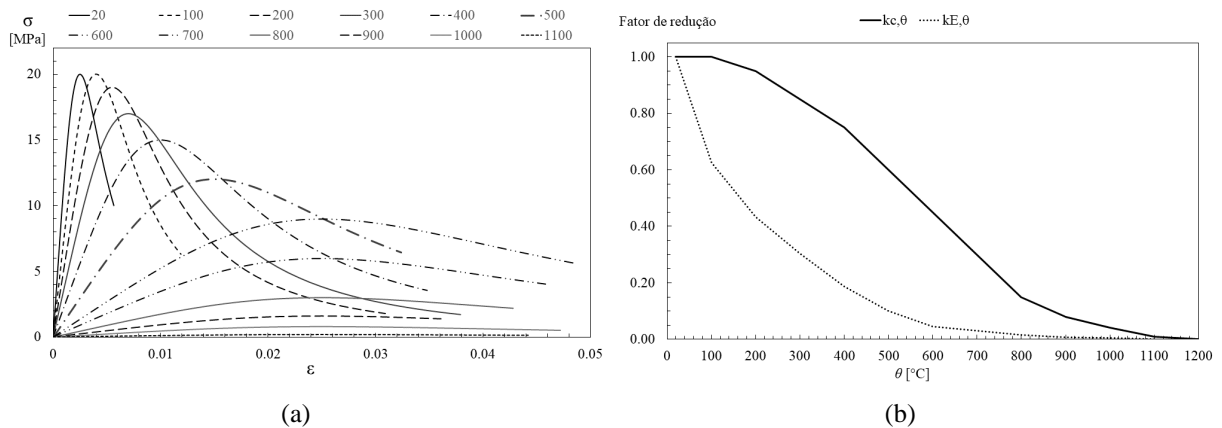


Figura 9 - (a) Relação Tensão-Deformação para o concreto em elevadas temperaturas. (b) Fatores de redução para a resistência a compressão e módulo de elasticidade do concreto à elevadas temperaturas.

3.3.2.3. Resistência à compressão axial

Para simplificação para os membros em compressão axial, o valor de projeto da força N_{Ed} deve satisfazer:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi N_{pl,Rd}} \leq 1,0 \quad (29)$$

Onde χ é o fator de redução para o modo relevante de flambagem presente no EN 1993-1-1, em termos de esbeltez relativa relevante. Para a compressão axial dos membros o valor de χ para a esbeltez não dimensional apropriada deve ser determinada a partir da curva de flambagem de acordo com:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \text{ com } \chi \leq 1,0 \quad (30)$$

$$\phi = 0,5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2] \quad (31)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} \quad (32)$$

A força elástica crítica para o modo relevante de flambagem N_{cr} é baseada nas propriedades da seção transversal bruta (8). A tabela a seguir determina o fator de imperfeição α a ser utilizado.

Tabela 8- Curva de flambagem e imperfeições dos membros para colunas compostas

Seção transversal	Limites	Eixo de flambagem	Curva de flambagem	Imperfeição do membro
Revestida de concreto		y-y	b	L/200
		z-z	c	L/150
Parcialmente revestida de concreto		y-y	b	L/200
		z-z	c	L/150
Circular ou Retângular preenchida de concreto	$\rho_s \leq 3\%$	y-y	a	L/300
	$3 < \rho_s \leq 6\%$	z-z	b	L/200
Circular preenchida de concreto com seção I adicionada		y-y	b	L/200
		z-z	b	L/200
Parcialmente revestida de concreto com seções transversais em I		todos	b	L/200

3.3.2.4. Fator de forma

O método de cálculo simplificado, para o cálculo da temperatura em elementos estruturais de aço expostos ao fogo, considera a evolução da temperatura homogeneia em toda a seção transversal ao longo do comprimento do elemento de interesse, baseando-se no cálculo de um fator conhecido como: fator de forma ou fator de massividade.

O fator de forma depende dos lados expostos ao fogo de um pilar e é obtido através do cálculo da área superficial do pilar exposto ao fogo, dividido pelo seu volume. Para o cenário de incêndio com fogo quatro lados, a simplificação da equação do fator de seção é obtida pelo quociente definido pelo perímetro da seção transversal exposta ao fogo e a área da seção reta e está representada na equação (33). Os valores obtidos por meio da equação para os perfis estudados estão presentes na Tabela 9.

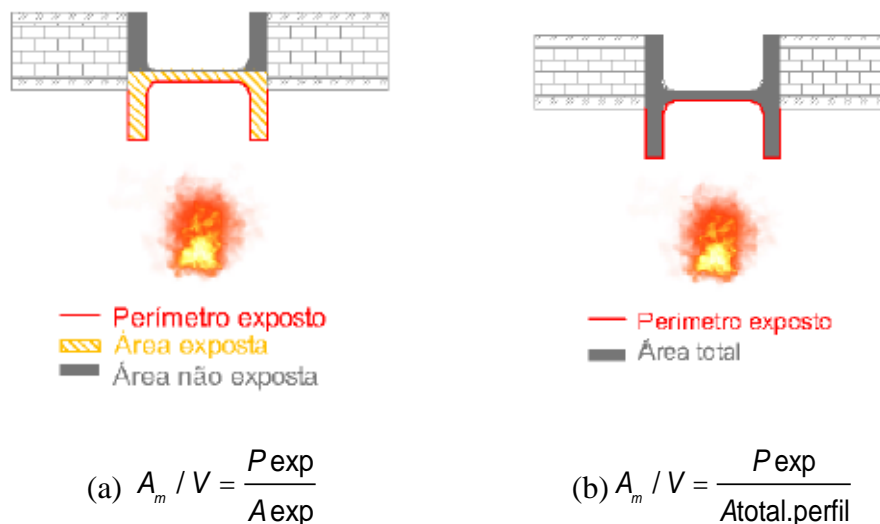
$$(A_m / V) = \frac{2(h+b)}{hb} \left[m^{-1} \right] \quad (33)$$

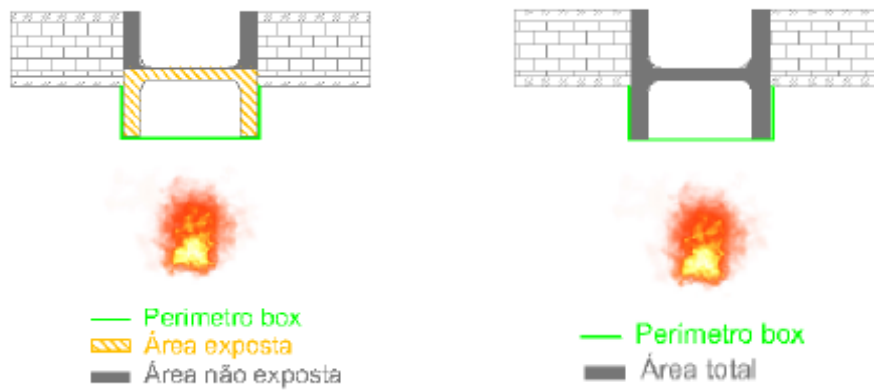
Tabela 9 - Fator de forma para seção com fogo quatro lados.

Perfil	A_m/V	Perfil	A_m/V	Perfil	A_m/V
HEA 240	17.03	UC 254 x 254 x 73	15.73	HD 260 x 93,0	15.38
HEA 280	14.55	UC 254 x 254 x 167	14.46	HD 260 x 172	14.36
HEA 320	13.12	UC 305 x 305 x 97	13.05	HD 320 x 74,2	13.31
HEA 360	12.38	UC 305 x 305 x 158	12.54	HD 320 x 198	12.37
HEA 450	11.21	UC 305 x 305 x 313	11.50	HD 320 x 300	11.72
HEA 500	10.75	UC 356 x 368 x 202	10.68	HD 400 x 237	10.33
HEA 600	10.06	UC 356 x 406 x 340	9.88	HD 400 x 347	9.86
HEA 700	9.57	UC 356 x 406 x 592	9.05	HD 400 x 509	9.29
HEA 800	9.20	UC 356 x 406 x 744	8.65	HD 400 x 900	8.29
HEA 1000	8.69	UC 356 x 406 x 1086	7.92	HD 400 x 1299	7.54

No estudo realizado por É. Kimura [9] sobre a resistência de pilares com diferentes configurações de perfil de aço embebido em parede, o resultado obtido pelos métodos simplificados de cálculo EN 1993-1-2 e NBR 14323:1999 não apresentou distinção entre as configurações na resposta estrutural. Isso se deve ao fato de ambos apresentarem, coincidentemente, o mesmo valor de fator de massividade.

Quatro formas distintas para o cálculo do fator de massividade foram estudadas por Lopes, P. R. [23] para pilares embebidos na parede, para a configuração de perfil de alma paralela à parede. Os melhores resultados da investigação para o cálculo do fator de massividade, segundo a autora, estão representados em (b) e (d) na Figura 10.





$$(c) A_m / V = \frac{P_{\text{box}}}{A_{\text{exp}}}$$

$$(d) A_m / V = \frac{P_{\text{box}}}{A_{\text{tot. perfil}}}$$

Figura 10 - Determinação do fator de forma para perfil embebido na parede [23].

Neste trabalho, o fator de forma pode ser calculado para seção parcialmente revestidas, embebidas na parede com fogo de um lado a partir da equação(34) e os valores obtidos para o mesmo estão descritos na Tabela 10.

$$(A_m / V) = \frac{(b - tb) + h}{b h} \text{ [m}^{-1}\text{]} \quad (34)$$

Tabela 10 - Fator de forma para seção com fogo de um lado.

Perfil	A_m/V	Perfil	A_m/V	Perfil	A_m/V
HEA 240	6.30	UC 254 x 254 x 73	5.82	HD 260 x 93,0	5.65
HEA 280	5.19	UC 254 x 254 x 167	5.36	HD 260 x 172	5.30
HEA 320	4.65	UC 305 x 305 x 97	4.57	HD 320 x 74,2	4.69
HEA 360	4.56	UC 305 x 305 x 158	4.41	HD 320 x 198	4.43
HEA 450	4.31	UC 305 x 305 x 313	4.08	HD 320 x 300	4.24
HEA 500	4.21	UC 356 x 368 x 202	3.58	HD 400 x 237	3.39
HEA 600	4.06	UC 356 x 406 x 340	3.27	HD 400 x 347	3.26
HEA 700	3.99	UC 356 x 406 x 592	3.03	HD 400 x 509	3.10
HEA 800	3.90	UC 356 x 406 x 744	2.91	HD 400 x 900	2.81
HEA 1000	3.79	UC 356 x 406 x 1086	2.70	HD 400 x 1299	2.55

CÁPITULO 4 – MÉTODO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO

O método simplificado de cálculo foi definido pelo Eurocódigo 4 – Anexo G [1] para determinar a capacidade de carga de colunas mistas parcialmente revestidas em situação de incêndio por meio da divisão da sessão em quatro componentes, ver Figura 11.

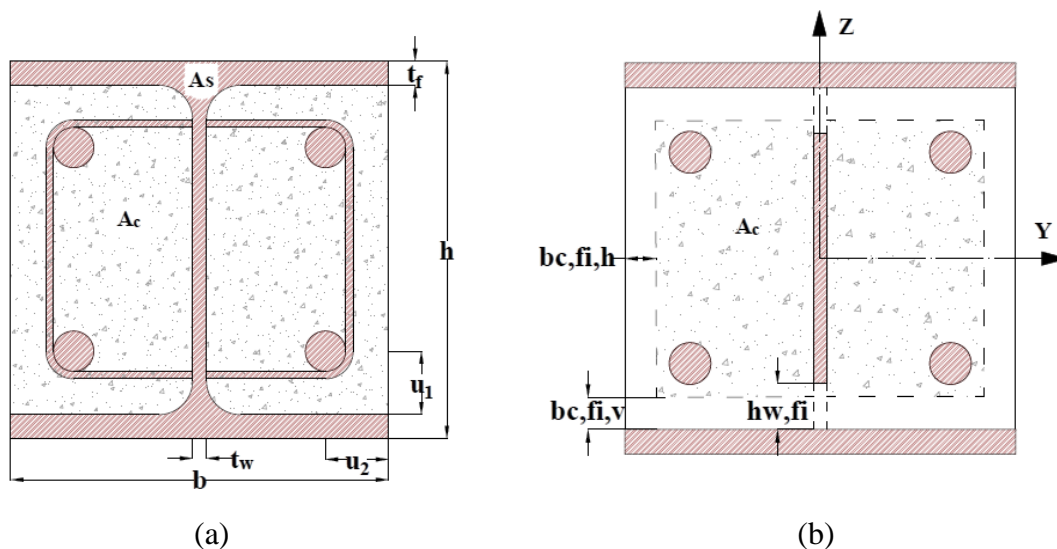


Figura 11 - Perfil do pilar com seção parcialmente revestida.

A estabilidade dos pilares parcialmente revestidos requer o cálculo da rigidez de flexão e o cálculo da resistência plástica efetiva à compressão axial em torno do eixo de menor inércia de cada componente da seção transversal.

$$(EI)_{fi,eff,z} = \varphi_{f,\theta} (EI)_{fi,f,z} + \varphi_{w,\theta} (EI)_{fi,w,z} + \varphi_{c,\theta} (EI)_{fi,c,z} + \varphi_{s,\theta} (EI)_{fi,s,z} \quad (35)$$

$$N_{fi,pl,Rd} = N_{fi,pl,Rd,f} + N_{fi,pl,Rd,w} + N_{fi,pl,Rd,c} + N_{fi,pl,Rd,s} \quad (36)$$

A contribuição de cada parte deve ser ponderada de acordo com os fatores φ , a redução do módulo de elasticidade e a redução da seção transversal. Os fatores de ponderação estão relacionados com a classificação de resistência ao fogo e são apresentados na Tabela 11.

O método de cálculo foi desenvolvido considerando o efeito do fogo em quatro componentes da seção transversal. Os quatro componentes estão incluindo os banzos representados por “*f*” (*flanges*), a alma por “*w*” (*web*), o concreto por “*c*” (*concrete*) e os componentes do reforço por “*s*” (*reinforcing bars*).

Tabela 11 - Coeficientes de redução para rigidez à flexão.

Resistência ao Fogo Padrão	$\varphi_{f,\theta}$	$\varphi_{w,\theta}$	$\varphi_{c,\theta}$	$\varphi_{s,\theta}$
R30	1	1	0,8	1
R60	0,9	1	0,8	0,9
R90	0,8	1	0,8	0,8
R120	1	1	0,8	1

O dimensionamento para a carga axial de flambagem dos pilares mistos parcialmente revestidos sob condições de incêndio depende do cálculo da carga crítica de Euler $N_{fi,cr,z}$ em torno do eixo de menor inércia, que utiliza o comprimento de flambagem L_θ dependente das condições de vinculação adotadas.

A esbeltez adimensional $\bar{\lambda}$ pode ser determinada a partir da carga crítica de Euler e é utilizada para a curva de flambagem “c” do Eurocódigo EN 1993-1-1, cujo valor do fator de imperfeição a considerar é, $\alpha = 0,49$. Em seguida é determinado o coeficiente de redução χ_z , que quando multiplicado pela resistência plástica à compressão axial, resulta no valor de projeto para resistência à flambagem para determinado tempo de exposição ao fogo. As equações referentes a estes procedimentos serão apresentadas abaixo, e dependem das equações (35) e (36) previamente apresentadas.

$$N_{fi,cr,z} = \frac{\pi^2 (EI)_{fi,eff,z}}{L_\theta^2} \quad (37)$$

$$\bar{\lambda}_\theta = \sqrt{\frac{N_{fi,pl,Rd}}{N_{fi,cr,z}}} \quad (38)$$

$$\phi = 0,5 \times [1 + \alpha \times (\bar{\lambda}_\theta - 0,2) + \bar{\lambda}_\theta^{-2}], \text{ com } \alpha = 0,49 \quad (39)$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}_\theta^{-2}}} \quad (40)$$

$$N_{fi,Rd,z} = \chi_z N_{fi,pl,Rd} \quad (41)$$

Na Figura 12 é apresentado um diagrama com o resumo do método simplificado de cálculo desde a resistência à compressão axial e a rigidez à flexão axial até a determinação da resistência de cálculo à flambagem de colunas revestidas, expostas ao fogo.

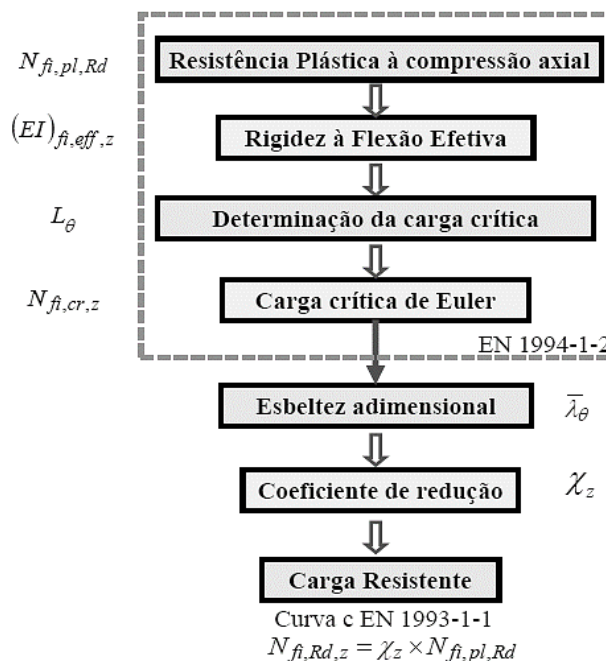


Figura 12 - Diagrama do método simplificado de cálculo

3-1 Banzos do Perfil Metálico

A média da temperatura $\theta_{f,t}$ deve ser determinada de acordo com a fórmula (42). O valor depende de um coeficiente empírico k_t , do valor de referência $\theta_{0,t}$ e do fator de seção do perfil metálico (A_m/V).

$$\theta_{f,t} = \theta_{0,t} + k_t(A_m / V) \quad (42)$$

A temperatura média dos banzos permite o cálculo do efeito do fogo nas propriedades mecânicas. Esse efeito é definido pelos coeficientes de redução $k_{y,\theta}$ e, $k_{E,\theta}$.

Tabela 12 - Parâmetros de determinação da temperatura média dos banzos.

Resistência ao Fogo Padrão	$\theta_{0,t}$ [°C]	k_t [m°C]
R30	550	9,65
R60	680	9,55
R90	805	6,15
R120	900	4,65

A tensão de escoamento e o módulo de elasticidade efetivos devido as altas temperaturas nos banzos é definido através das equações a seguir:

$$f_{ay,f,t} = f_{ay,f} k_{y,\theta} \quad (43)$$

$$E_{a,f,t} = E_{a,f} k_{E,\theta} \quad (44)$$

Os valores da resistência plástica à compressão axial e a rigidez de flexão dos banzos do perfil metálico expostos ao fogo são determinados a partir das equações (45) e (46).

$$N_{\tilde{f}_i,pl,Rd,f} = \frac{2(b e_f f_{ay,f,t})}{\delta_{M,\tilde{f}_i,a}} \quad (45)$$

$$(EI)_{\tilde{f}_i,f,z} = E_{a,f,t} \frac{(e_f b^3)}{6} \quad (46)$$

3-2 Alma do Perfil Metálico

A altura efetiva da alma é reduzida, devido ao efeito do fogo, para a determinação da resistência e rigidez da alma. A parte que deve ser desprezada pode ser calculada pela equação(47) e medida a partir do lado interno do banzo, que utiliza a altura total do perfil (h), o parâmetro (H_t) e a espessura do banzo (e_f):

$$h_{w,\tilde{f}_i} = 0,5(h - 2e_f) \left(1 - \sqrt{1 - 0,16 \left(\frac{H_t}{h} \right)} \right) \quad (47)$$

Tabela 13 - Parâmetros para a redução da altura da alma

Resistência ao Fogo Padrão	H_t [mm]
R30	350
R60	770
R90	1100
R120	1250

A área residual da alma afetará o cálculo da rigidez efetiva, no entanto o módulo de elasticidade não sofre redução, de acordo com a norma. A redução da geometria e também o coeficiente de redução para a tensão de escoamento afetam a resistência plástica à compressão axial. A tensão de escoamento para a alma da seção transversal pode ser calculada através da equação a seguir.

$$f_{ay,w,t} = f_{ay,w} \sqrt{1 - \left(\frac{0,16H_t}{h}\right)^2} \quad (48)$$

O fator de redução da tensão de escoamento pode ser representado por um fator β em função da característica de sessão “h” e do valor da classificação da resistência ao fogo R, este fator de redução está representado na figura a seguir e pode ser calculado através da equação(49).

$$\beta = \sqrt{1 - (0,16xH_t / h)^2} \quad (49)$$

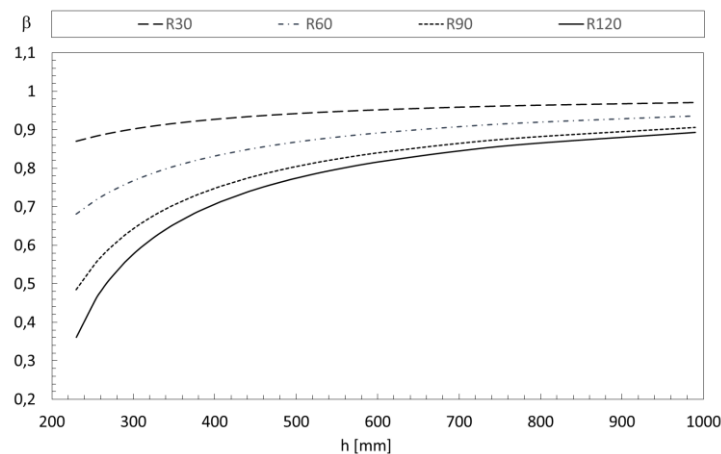


Figura 13 – Fator de redução da tensão de escoamento

O valor de projeto da resistência plástica à compressão axial e a rigidez à flexão da alma do perfil na situação de incêndio são determinados a partir de:

$$N_{fi,pl,Rd,w} = \frac{[e_w(h - 2e_f - 2h_{w,fi})f_{ay,w,t}]}{\gamma_{M,fi,a}} \quad (50)$$

$$(EI)_{fi,w,z} = \frac{[E_{a,w}(h - 2e_f - 2h_{w,fi})e_w^3]}{12} \quad (51)$$

3-3 Concreto

Uma camada exterior de concreto pode ser descartada no cálculo da resistência à compressão axial e rigidez efetiva à flexão do concreto. A espessura a ser descartada ($b_{c,fi}$) pode ser definida através de uma fórmula empírica que leva em consideração o fator de seção.

Tabela 14 - Parâmetros para a redução do concreto.

Resistência ao Fogo Padrão	b _{cfi} [mm]
R30	4,0
R60	15,0
R90	0,5*(A _m /V)+22,5
R120	2,0*(A _m /V)+24,0

A média da temperatura no concreto é definido na tabela, em função do fator de seção, considerando a classe de resistência ao fogo. Para fatores de seção intermediários a definição pode ser feita por meio de interpolação linear

Tabela 15 - Temperatura média na seção resistente de concreto.

R30		R60		R90		R120	
A _m /V [m ⁻¹]	θ _{c,t} [°C]	A _m /V [m ⁻¹]	θ _{c,t} [°C]	A _m /V [m ⁻¹]	θ _{c,t} [°C]	A _m /V [m ⁻¹]	θ _{c,t} [°C]
4	136	4	214	4	256	4	265
23	300	9	300	6	300	5	300
46	400	21	400	13	400	9	400
-	-	50	600	33	600	23	600
-	-	-	-	54	800	38	800
-	-	-	-	-	-	41	900
-	-	-	-	-	-	43	1000

A rigidez à flexão efetiva e a resistência plástica à compressão axial do concreto são reduzidos de acordo com a temperatura média do concreto, através do cálculo do fator de redução para a resistência à compressão do concreto $k_{c,\theta}$ e do módulo de elasticidade secante $E_{c,sec,\theta}$,

$$f_{c,\theta} = f_c k_{c,\theta} \quad (52)$$

$$E_{c,sec,\theta} = \frac{f_{c,\theta}}{\varepsilon_{cu,\theta}} \quad (53)$$

A resistência plástica à compressão axial e rigidez de flexão da seção transversal residual de concreto podem ser determinadas através das equações (54) e (55), respectivamente.

$$N_{f_i,pl,Rd,c} = 0,86\{((h - 2e_f - 2b_{c,f_i})(b - e_w - 2b_{c,f_i})) - A_s\}f_{c,\theta} / \gamma_{M_s,f_i,c} \quad (54)$$

$$(EI)_{f_i,c,z} = E_{c,sec,\theta} \left[\frac{(h - 2e_f - 2b_{c,f_i})((b - 2b_{c,f_i})^3 - e_w^3)}{12} \right] - I_{s,z} \quad (55)$$

Onde A_s é a área da seção transversal de aço do reforço e 0,86 é o coeficiente de calibração. $I_{s,z}$ é o momento de segunda ordem das barras de reforço em relação ao eixo Z da seção transversal da coluna e pode ser calculado com a equação (56), utilizando o teorema dos eixos paralelos, para as quatro barras de reforço.

$$I_{s,z} = 4 * \left[\frac{\pi(\phi / 2)^4}{4} + \pi(\phi / 2)^2 * \left(\frac{b}{2} - u_2 \right)^2 \right] \quad (56)$$

3-3 Reforço

A resistência plástica à compressão axial e a rigidez à flexão efetiva é determinada através de um parâmetro geométrico relacionado com a posição das barras de reforço. O parâmetro u representa a média geométrica das distâncias do eixo vertical e eixo horizontal, u_1 e u_2 respectivamente, e pode ser calculado de acordo com a equação abaixo:

$$u = \sqrt{u_1 u_2} \quad [\text{mm}] \quad (57)$$

O parâmetro u_1 representa o cobrimento de concreto vertical, representado pela distância do eixo da barra de reforço externa até a borda interna do banzo e u_2 é o cobrimento de concreto horizontal representado pela distância do eixo da barra de reforço externa até a superfície do concreto. Existem algumas condições a ser consideradas

$$\text{se } (u_1 - u_2) > 10 \text{ mm, então } u = \sqrt{u_2(u_2 + 10)} \quad (58)$$

$$\text{ou } (u_2 - u_1) > 10 \text{ mm, então } u = \sqrt{u_1(u_1 + 10)} \quad (59)$$

Tabela 16 - Fatores de redução $k_{y,t}$ para a tensão de escoamento do aço do reforço.

Resistência ao Fogo Padrão	u [mm]	40	45	50	55	60
R30		1	1	1	1	1
R60	$k_{y,t}$	0,789	0,883	0,883	1	1
R90		0,314	0,434	0,572	0,696	0,822
R120		0,170	0,223	0,288	0,367	0,436

Tabela 17 - Fatores de redução $k_{E,t}$ para o módulo de elasticidade do aço de reforço.

Resistência ao Fogo Padrão	u [mm]	40	45	50	55	60
R30		0,83	0,065	0,888	0,914	0,935
R60	$k_{E,t}$	0,604	0,647	0,689	0,729	0,763
R90		0,193	0,283	0,406	0,522	0,619
R120		0,110	0,128	0,173	0,233	0,285

Após a determinação dos coeficientes $k_{y,t}$ e $k_{E,t}$, será possível o cálculo da resistência plástica à compressão axial e a rigidez efetiva do reforço da seção transversal.

$$N_{\tilde{f}_i,pl,Rd,s} = \frac{A_s k_{y,t} f_{sy}}{\gamma_{M,\tilde{f}_i,s}} \quad (60)$$

$$(EI)_{\tilde{f}_i,s,z} = k_{E,t} E_s I_{s,z} \quad (61)$$

CÁPITULO 5 – MÉTODO AVANÇADO DE CÁLCULO

Os campos de temperatura, nas seções transversais dos pilares mistos estudados, foram calculados através do método dos elementos finitos com o auxílio do programa ANSYS – *Mechanical APDL* [33], no qual se desenvolveu um modelo de simulação térmica transiente não linear, na seção transversal dos pilares em estudo.

O método dos elementos finitos requer a solução da equação (62) no domínio da seção transversal (Ω), e da equação (63) na fronteira ($\partial\Omega$), quando expostas ao fogo.

$$\nabla(\lambda_{(T)} \cdot \nabla T) = \rho_{(T)} \cdot C_{p(T)} \cdot \partial T / \partial t \rightarrow (\Omega) \quad (62)$$

$$\lambda_{(T)} \cdot \nabla T \cdot \vec{n} = \alpha_c (T_g - T) + \Phi \cdot \varepsilon_m \cdot \varepsilon_f \cdot \sigma \cdot (T_g^4 - T^4) \rightarrow (\partial\Omega) \quad (63)$$

Nessas equações: T define a temperatura de cada nó da seção transversal; $\rho_{(T)}$ define a massa específica de cada nó, diferente para cada material e dependente da temperatura; $C_{p(T)}$ define o calor específico para cada material e dependente da temperatura; $\lambda_{(T)}$ define a condutividade térmica para cada material, dependente da temperatura; α_c especifica o coeficiente de convecção; T_g define a temperatura dos gases do compartimento de incêndio, de acordo com a curva ISO834 [4]; Φ representa o fator de vista; ε_m define a emissividade dos materiais; ε_f representa a emissividade do incêndio; σ representa a constante de *Stefan-Boltzmann* com valor de $5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-2}$.

O estudo bidimensional foi desenvolvido com o objetivo de determinar a distribuição da temperatura, em toda seção transversal, para cada tempo de resistência ao fogo (30, 60, 90 e 120 minutos). A análise 2D utiliza o elemento PLANE55, com quatro nós e um grau de liberdade por nó. O elemento utiliza funções de interpolação linear entre os nós e um esquema de integração completo de Gauss (2x2).

A malha foi definida, de maneira que a dimensão se aproximasse de 1 mm, de modo a garantir de resultados precisos para a isotérmica de 500 °C. Para que a malha se mantivesse toda com elementos quadrangulares uniformes, a seção transversal da barra de reforço foi convertida em um quadrilátero, ver Figura 14.

As análises foram realizadas para dois cenários de incêndio, o primeiro fogo 4 lados e o segundo fogo de 1 lado. O primeiro cenário teve sua análise definida com um incremento de tempo de integração de 60s, podendo ser diminuído para 1s, com o valor máximo de incremento

de tempo fixado em 60s. As análises para o segundo cenário, teve seu incremento de tempo diminuído até 0,1s, com o máximo também fixado em 60s.

Para o critério de convergência da solução foi utilizado um valor de referência mínimo de fluxo de calor com 1×10^{-6} e tolerância de 0,001 para fogo 4 lados e 0,1 para fogo de um lado. As diferenças adotadas nas análises fogo 4 lados e fogo 1 lado, deve-se à presença da parede e as propriedades térmicas da argila.

Os materiais utilizados foram: S355 para os perfis de aço, C20 / 25 para o concreto e B500 para os reforços. Uma parede de barro foi considerada em ambos os lados da seção parcialmente revestida. As propriedades térmicas para os materiais (aço estrutural, concreto, aço do reforço e parede de argila) foram adicionadas, de acordo com o tópico dos materiais, presentes no Capítulo 3, sendo dependente da temperatura.

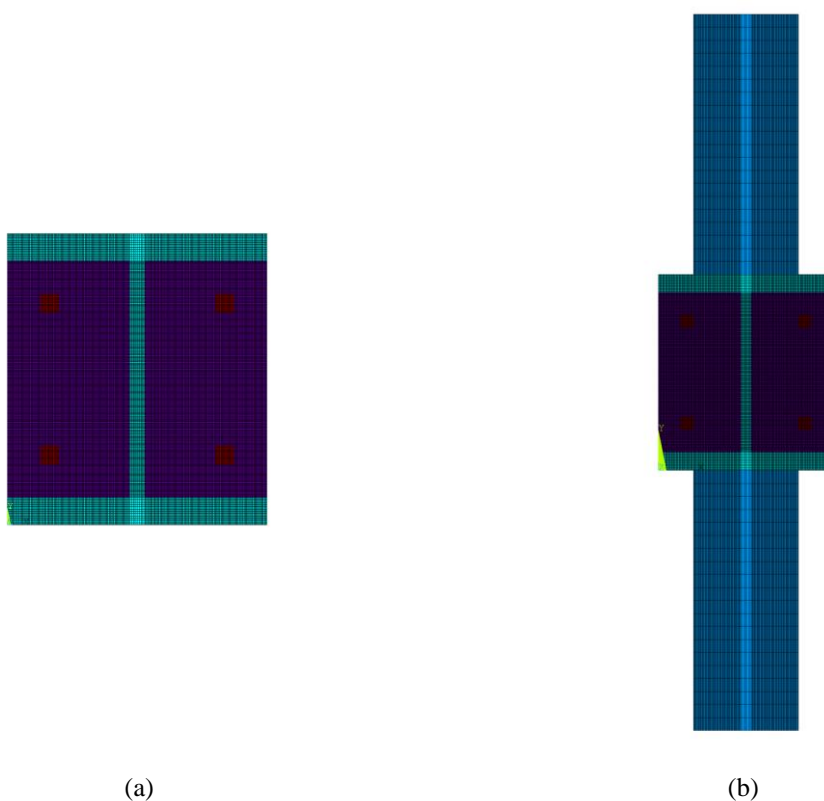


Figura 14 - Malha do perfil HD 320x198 para perfil isolado (a) e perfil embebido na parede (b).

A emissividade do concreto e do aço tem valor de 0,7, de acordo com o Eurocódigo 1994-1-2 [1] e igual a 1,0 para o fogo, de acordo com Eurocódigo 1991-1-2 [25]. Para as condições de contorno, nos lados expostos ao fogo, o coeficiente de convecção utilizado foi 25 W/m²K, fator de vista 1,0 e a temperatura do gás (T_g) determinada de acordo com a curva de incêndio padrão ISO834[4]. Enquanto que no lado não exposto ao fogo, o coeficiente de

convecção utilizado foi $9 \text{ W/m}^2\text{K}$, fator de vista 1,0 e a temperatura do gás (T_g) constante e igual à 20°C .

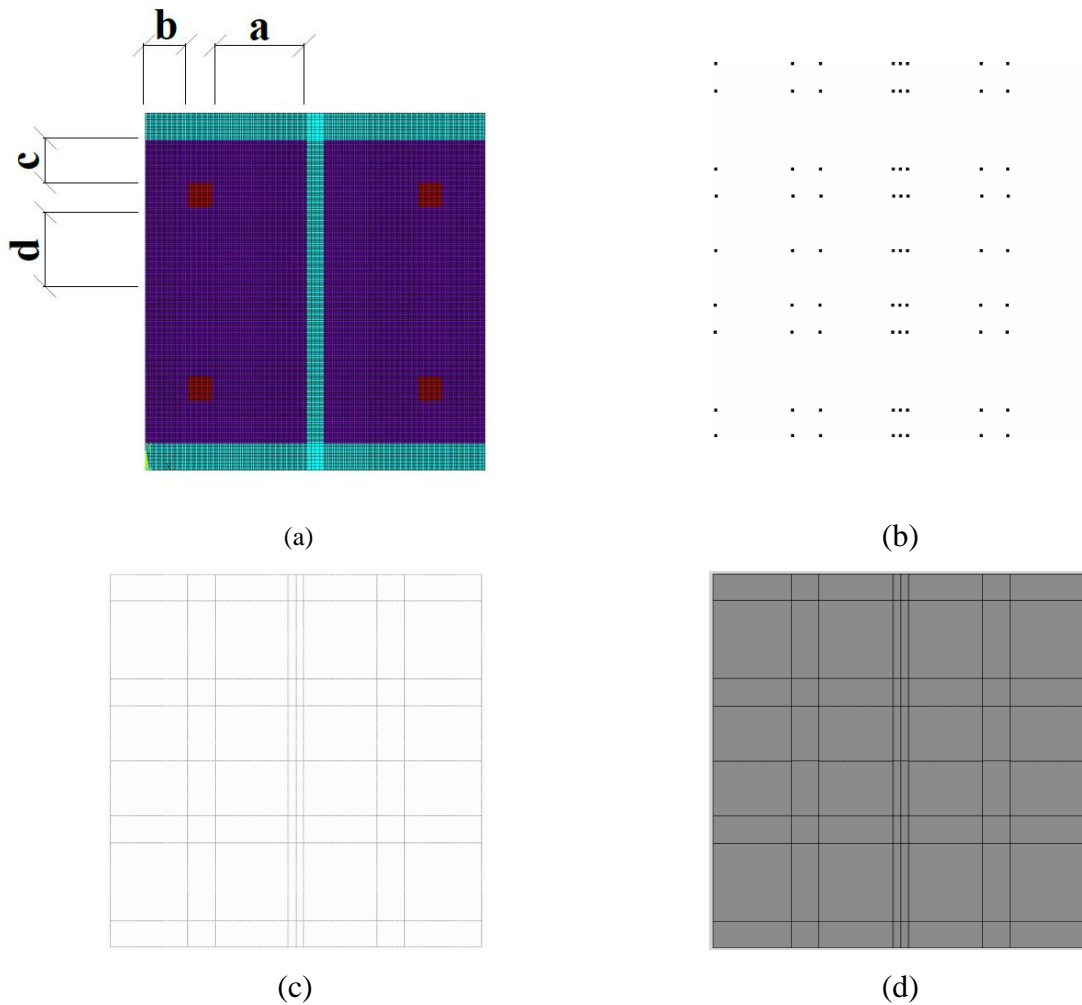


Figura 15 – Modelagem e etapas de criação da malha. Em (a) Malha (b) Pontos (c) Linhas (d) Áreas.

A modelagem da malha está definida na Figura 15 e suas definições estão presentes na Tabela 18. Em a, b, c, d e reforço na tabela estão definidos o número de divisões da malha, para que a mesma atingisse dimensões próximas de 1 mm.

Tabela 18 – Modelagem e definições da malha.

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	Área Reforço [mm ²]	Lado do quadrado equivalente [mm]	a	b	c	d	Reforço
HEA 240	17.03	314.20	17.72	57	41	41	44	18
HEA 280	14.55	490.90	22.16	75	39	39	61	22
HEA 320	13.12	490.90	22.16	84	39	39	78	22
HEA 360	12.38	804.20	28.36	81	36	36	93	28
HEA 450	11.21	804.20	28.36	80	36	36	135	28
HEA 500	10.75	804.20	28.36	80	36	36	158	28
HEA 600	10.06	804.20	28.36	79	36	56	186	28
HEA 700	9.57	1256.60	35.45	75	32	52	230	36
HEA 800	9.20	1256.60	35.45	75	32	52	279	36
HEA 1000	8.69	1256.60	35.45	74	32	52	381	36
UC 254 x 254 x 73	15.73	490.90	22.16	62	39	39	52	22
UC 254 x 254 x 167	14.46	490.90	22.16	62	39	39	52	22
UC 305 x 305 x 97	13.05	490.90	22.16	87	39	39	77	22
UC 305 x 305 x 158	12.54	490.90	22.16	87	39	39	77	22
UC 305 x 305 x 313	11.50	490.90	22.16	86	39	39	78	22
UC 356 x 368 x 202	10.68	804.20	28.36	115	36	36	96	28
UC 356 x 406 x 340	9.88	804.20	28.36	124	36	36	96	28
UC 356 x 406 x 592	9.05	804.20	28.36	124	36	36	96	28
UC 356 x 406 x 744	8.65	804.20	28.36	124	36	36	96	28
UC 356 x 406 x 1086	7.92	804.20	28.36	124	36	36	95	28
HD 260 x 93,0	15.38	490.90	22.16	64	39	39	51	22
HD 260 x 172	14.36	490.90	22.16	64	39	39	51	22
HD 320 x 74,2	13.31	490.90	22.16	85	39	39	78	22
HD 320 x 198	12.37	490.90	22.16	83	39	39	78	22
HD 320 x 300	11.72	490.90	22.16	82	39	39	78	22
HD 400 x 237	10.33	804.20	28.36	124	36	36	96	28
HD 400 x 347	9.86	804.20	28.36	124	36	36	96	28
HD 400 x 509	9.29	804.20	28.36	124	36	36	96	28
HD 400 x 900	8.29	804.20	28.36	124	36	36	95	28
HD 400 x 1299	7.54	804.20	28.36	124	36	36	96	28

Os resultados obtidos para temperatura média das componentes através das simulações estão presentes no ANEXO II deste trabalho.

Nas Figura 16 e Figura 17 é possível perceber a evolução da temperatura para o perfil HD 260x172 a partir da simulação no programa ANSYS, para as Classes de Resistência ao fogo analisadas, para o cenário fogo 4 lados e fogo de um lado, respectivamente.

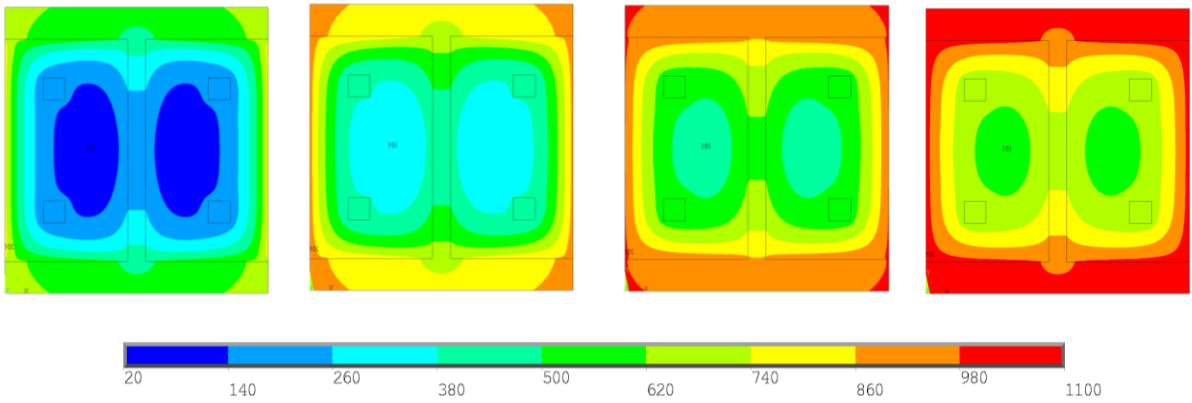


Figura 16 – Evolução da temperatura no perfil HD 260x172 para o cenário fogo 4 lados

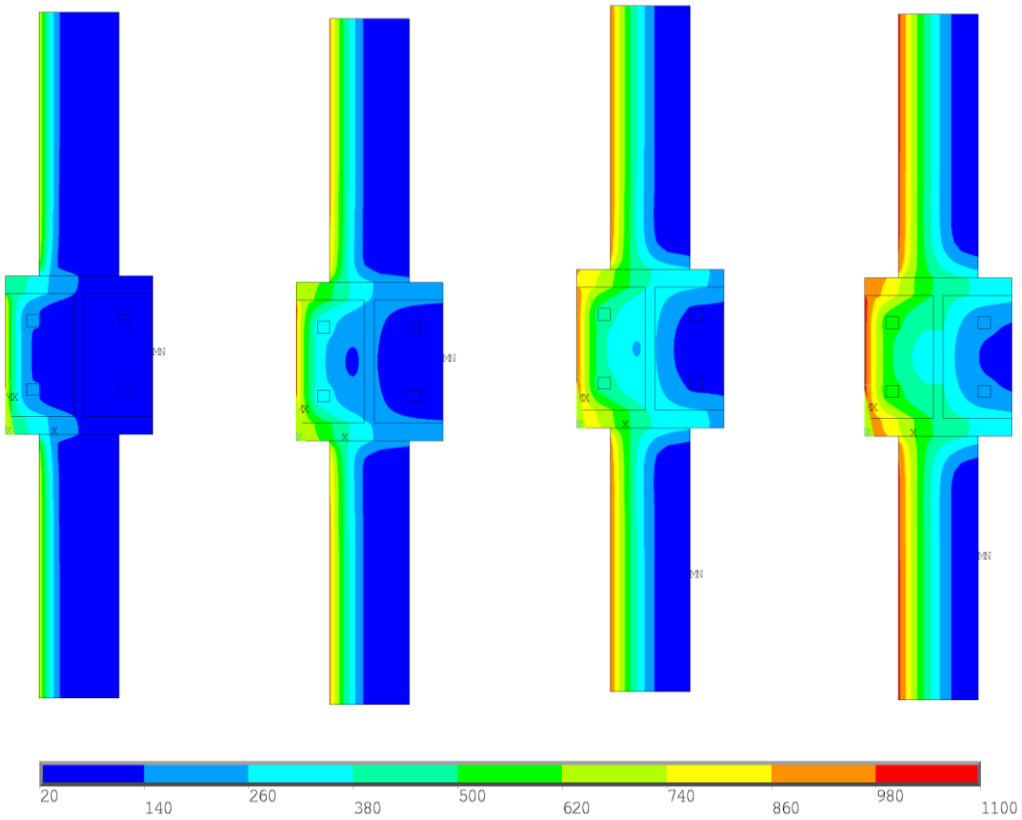
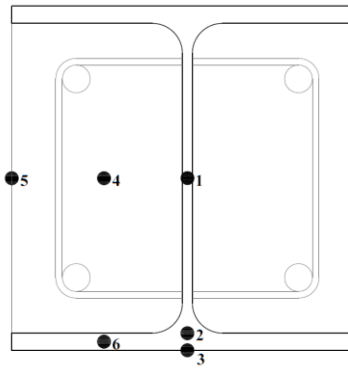
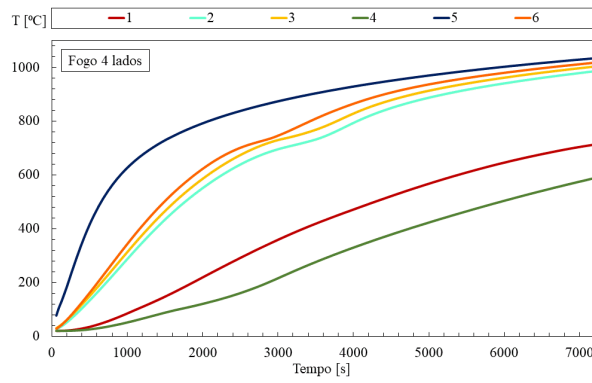


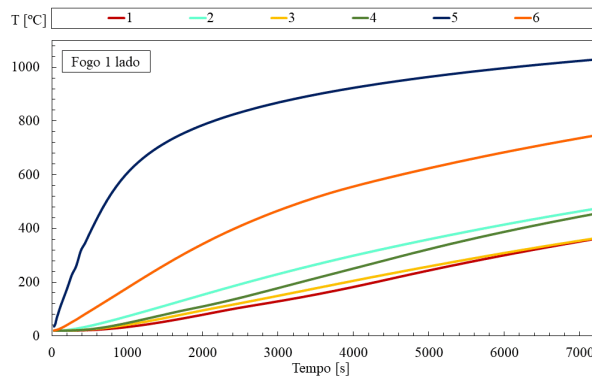
Figura 17 – Evolução da temperatura para perfil HD 260x172 para fogo de um lado.



(a)



(b)



(c)

Figura 18 – Evolução da temperatura para (a) os pontos do perfil HD 260x172 para (b) cenário fogo 4 lados e (c) fogo de 1 lado

CÁPITULO 6 – PROPOSTA EM DESENVOLVIMENTO

A busca de melhorias no EN 1994-1-2[1] levou vários autores a estudar o Anexo G, onde é apresentado o método de cálculo para a obtenção de resistência a flambagem de colunas mistas parcialmente revestidas em situação de incêndio, os estudos têm objetivo de revisar e aproximar o método de cálculo ao comportamento real dessas estruturas expostas a ação do fogo.

O aprimoramento do método simplificado de cálculo analisado neste trabalho refere-se ao estudo de B. F. Alfredo [3], que foi baseado em trabalhos anteriores de de A. Fellouh [22], seguido pelo trabalho de L Calió [34].

Os perfis estudados neste trabalho serão analisados a partir do aprimoramento de B. F. Alfredo [3], a proposta de aprimoramento para o modelo do autor apresenta novas equações para o cálculo da temperatura média para as quatro componentes da seção transversal dos pilares mistos parcialmente revestidos. As novas equações consideram parâmetros diferentes para cada série de perfil, tendo em consideração a variação da geometria das séries dos perfis. Os perfis estudados pelo autor foram HEB, HD e UC.

6.1 Banzo do Perfil Metálico

A temperatura média dos banzos é determinada para cada seção através da equação(64) . A equação possui um termo a mais quando comparada a original, contida na norma EN 1994-1-2[1], a nova expressão relaciona a espessura do banzo com um parâmetro de acordo com o tempo de resistência ao fogo.

$$\theta_{f,t} = \theta_{0,f} + k_{f,f} (e_f) + k_{t,f} (A_m / V) \quad (64)$$

Os coeficientes e parâmetros são definidos na Tabela 19: $\theta_{f,t}$ representa a temperatura média do banzo para um determinado tempo de resistência ao fogo; $\theta_{0,t}$ representa um parâmetro de referência dado em [°C]; $k_{f,f}$ representa um coeficiente empírico afetado pela espessura do banzo; e_f representa a espessura do banzo do perfil, em [mm]; $k_{f,t}$ representa um coeficiente empírico que é afetado pelo fator de seção; (A_m/V) representa o fator de seção em [m⁻¹], ver equação (33).

Tabela 19 - Parâmetros para temperatura média do banzo segundo B. F. Alfredo [3].

Resistência ao Fogo Padrão	HEB			HD			UC		
	$\theta_{0,f}$ [°C]	$k_{f,f}$ [mm ⁻¹ °C]	$k_{t,f}$ [m°C]	$\theta_{0,f}$ [°C]	$k_{f,f}$ [mm ⁻¹ °C]	$k_{t,f}$ [m°C]	$\theta_{0,f}$ [°C]	$k_{f,f}$ [mm ⁻¹ °C]	$k_{t,f}$ [m°C]
R30	687	-4,50	3,43	463	-2,00	16,91	659	-2,89	4,07
R60	909	-3,76	2,06	785	-1,90	8,73	887	-2,42	2,10
R90	971	-1,38	1,42	965	-1,80	3,29	995	-2,06	1,25
R120	1018	-0,89	1,37	1063	-1,55	0,53	1058	-1,51	0,06

Depois de calculado o valor das temperaturas médias é possível determinar os fatores de redução $k_{y,\theta}$ e $k_{E,\theta}$, utilizando a Tabela 5.

Aplicando as equações(65) e (66), determina-se o valor da tensão de escoamento do banzo afetada pela temperatura e o módulo de elasticidade também afetado pela temperatura. Por fim, torna-se possível a determinação da resistência plástica à compressão axial e a rigidez efetiva à flexão dos banzos, a partir das equações (67) e (68), respectivamente.

$$f_{ay,f,t} = f_{ay,f} k_{y,\theta} \quad (65)$$

$$E_{a,f,t} = E_{a,f} k_{E,\theta} \quad (66)$$

$$N_{\bar{f}_i,pl,Rd,f} = 2(b e_f f_{ay,f,t}) / \gamma_{M,\bar{f}_i,a} \quad (67)$$

$$(EI)_{\bar{f}_i,f,z} = E_{a,f,t} (e_f b^3) / 6 \quad (68)$$

6.2 Alma do Perfil Metálico

A redução geométrica da alma, presente no atual modelo do anexo G do Eurocódigo 4 parte 1.2 [1] foi desprezada e toda a área foi considerada como resistente, utilizando outro método para representar o efeito que o aumento da temperatura provoca neste componente. Por tanto, analogamente ao tratamento da componente do banzo, a alma terá suas propriedades mecânicas afetadas pela ação da temperatura com os mesmos coeficientes de redução utilizados para o banzo. Surgiu, neste modelo, a necessidade de determinar a temperatura média da alma. A equação semelhante a do banzo, mas desta vez com o efeito da espessura da alma é utilizada para a determinação da temperatura nesta componente.

$$\theta_{w,t} = \theta_{0,w} + k_{w,w} (1/e_w) + k_{t,w} (A_m / V) \quad (69)$$

O cálculo da temperatura média da alma utiliza os parâmetros e coeficientes presentes na Tabela 20 para cada perfil estudado por B. F. Alfredo [3].

Tabela 20 - Parâmetros para temperatura média da alma segundo B. F. Alfredo [3].

Resistência ao Fogo Padrão	HEB			HD			UC		
	$\theta_{0,w}$ [°C]	$k_{w,w}$ [mm°C]	$k_{t,w}$ [m°C]	$\theta_{0,w}$ [°C]	$k_{w,w}$ [mm°C]	$k_{t,w}$ [m°C]	$\theta_{0,w}$ [°C]	$k_{w,w}$ [mm°C]	$k_{t,w}$ [m°C]
R30	-159	2500	14	-83	-480	30	-60	-170	26
R60	-233	4170	23	15	-810	40	47	-850	37
R90	-221	4900	29	126	-1120	44	127	-1160	44
R120	-186	5500	31	233	-1100	45	239	-1300	45

Aplicando os coeficientes de redução para o aço estrutural da Tabela 5, é determinado a tensão de escoamento e o módulo de elasticidade, ambos afetados pela temperatura, de acordo com a equação (70) e (71). Novas equações para o cálculo da resistência plástica e para o cálculo da rigidez efetiva à flexão foram propostas pelo autor, ver equações(72) e (73).

$$f_{ay,w,t} = f_{ay,w} k_{y,\theta} \quad (70)$$

$$E_{a,w,t} = E_{a,w} k_{E,\theta} \quad (71)$$

$$N_{fi,pl,Rd,w} = \left[e_w (h - 2e_f) f_{ay,w,t} \right] / \gamma_{M,fi,a} \quad (72)$$

$$(EI)_{fi,w,z} = \left[E_{a,w,t} (h - 2e_f) e_w^3 \right] / 12 \quad (73)$$

6.3 Concreto

Nesta componente, a redução da área de concreto acordo com o tempo de resistência ao fogo é mantida, no entanto, há uma redução específica na direção vertical e outra na direção horizontal. O autor usou a isométrica de 500°C como critério para determinar as reduções, dessa maneira, toda seção resistente de concreto possui temperatura inferior a 500°C. A temperatura média do concreto no interior dessa região é determinada pela equação (74).

$$\theta_{c,t} = \theta_{0,c} + k_{w,c} (1/e_w) + k_{t,c} (A_m / V) \quad (74)$$

Os parâmetros e coeficientes, são análogos aos utilizados para as componentes da alma, mas aplicados ao concreto e são apresentados na Tabela 21.

Tabela 21 - Parâmetros para temperatura média do concreto segundo B. F. Alfredo [3].

Resistência ao Fogo Padrão	HEB			HD			UC		
	$\theta_{0,c}$ [°C]	$k_{w,c}$ [mm°C]	$k_{t,c}$ [m°C]	$\theta_{0,c}$ [°C]	$k_{w,c}$ [mm°C]	$k_{t,c}$ [m°C]	$\theta_{0,c}$ [°C]	$k_{w,c}$ [mm°C]	$k_{t,c}$ [m°C]
R30	29	-230	14,8	4	-255	16,8	9	-154	15,9
R60	-6	-950	30,5	20	-600	27,3	16	-660	27,5
R90	-3	1355	22,2	60	-700	32,5	54	-822	32,8
R120	35	2140	19,4	129	-1077	33,8	134	-867	31,9

Uma equação para cada redução foi determinada, vertical e horizontal, semelhante à da temperatura, mas com o fator de seção quadrático. A redução vertical considera a influência da espessura do banço e a redução horizontal considera a influência da espessura da alma, a redução vertical e horizontal estão representadas nas equações (75) e (76), respectivamente, assim como os parâmetros podem ser encontrados nas Tabela 22 e Tabela 23.

Caso o perfil possua temperaturas médias superiores à 500°C, não há seção resistente do concreto, ou seja, não há isotérmica de 500°C na seção e, portanto a redução vertical e redução a horizontal devem ser total.

$$b_{c,fi,v} = b_{0,cv} + k_{f,cv} (e_f) + k_{t,cv} (A_m / V)^2 \quad (75),$$

$$b_{c,fi,h} = b_{0,ch} + k_{w,ch} (1/e_w) + k_{t,ch} (A_m / V) \quad (76)$$

Tabela 22 - Parâmetros para redução vertical do concreto segundo B. F. Alfredo [3].

Resistência ao Fogo Padrão	HEB			HD			UC		
	$b_{0,cv}$ [mm]	$k_{f,cv}$	$k_{t,cv}$ [m ² mm]	$b_{0,cv}$ [mm]	$k_{f,cv}$	$k_{t,cv}$ [m ² mm]	$b_{0,cv}$ [mm]	$k_{f,cv}$	$k_{t,cv}$ [m ² mm]
R30	-0,96	0,08	0,025	-1,45	0,01	0,045	3,40	-0,03	0,022
R60	12,46	0,06	0,062	14,11	-0,10	0,068	17,50	-0,13	0,061
R90	-75,80	2,39	0,435	19,00	-0,10	0,200	13,00	-0,10	0,250
R120	-208,00	5,40	1,120	-11,00	0,04	0,650	25,00	-0,09	0,380

Tabela 23 - Parâmetros para redução horizontal do concreto segundo B. F. Alfredo [3].

Resistência ao Fogo Padrão	HEB			HD			UC		
	$b_{0,ch}$ [mm]	$k_{w,ch}$	$k_{t,ch}$ [m ² mm]	$b_{0,ch}$ [mm]	$k_{w,ch}$	$k_{t,ch}$ [m ² mm]	$b_{0,ch}$ [mm]	$k_{w,ch}$	$k_{t,ch}$ [m ² mm]
R30	11,68	0	0,000	11,68	0	0,000	11,68	0	0,000
R60	25,40	-102	0,050	22,00	-10	0,026	21,90	-13	0,026
R90	43,10	-636	0,300	26,60	-85	0,135	26,60	-60	0,120
R120	39,60	-1000	0,690	26,60	-189	0,300	29,80	-114	0,240

O concreto tem seu módulo de elasticidade secante variando de acordo com a temperatura, $E_{c,sec,\theta}$ é determinado com a equação (78), onde $k_{c,\theta}$ e $\varepsilon_{cu,\theta}$ podem ser encontrados na Tabela 7, relativa às propriedades mecânicas do concreto. As equações (79) e (80) apresentam as formulas para o cálculo da resistência plástica à compressão axial e a rigidez á flexão efetiva

$$f_{c,\theta} = f_c k_{c,\theta} \quad (77)$$

$$E_{c,sec,\theta} = f_{c,\theta} / \varepsilon_{cu,\theta} \quad (78)$$

$$N_{f\bar{i},pl,Rd,c} = 0,86 \left\{ \left((h - 2e_f - 2b_{c,f\bar{i},v}) (b - e_w - 2b_{c,f\bar{i},h}) \right) - A_s \right\} f_{c,\theta} / \gamma_{M,f\bar{i},c} \quad (79)$$

$$(EI)_{f\bar{i},c,z} = E_{c,sec,\theta} \left[\left\{ (h - 2e_f - 2b_{c,f\bar{i},v}) \left((b - 2b_{c,f\bar{i},h})^3 - e_w^3 \right) / 12 \right\} - I_{s,z} \right] \quad (80)$$

6.4 Reforço

O parâmetro u , demonstrado na equação (57), é definido pelo Eurocódigo 4 [1] como a média entre os comprimentos u_1 e u_2 e tornou-se o fator de restrição para aplicação da equação desenvolvida no aprimoramento.

O reforço passou a ter sua temperatura média calculada a partir de um coeficiente empírico afetado pelo fator de seção (A_m/V). Foi apresentado apenas uma equação para a temperatura média que serve para os três tipos de perfis, variando os parâmetros e coeficientes para cada tempo de resistência ao fogo, com a restrição de $u = 50$ mm.

$$\theta_{s,t} = \theta_{0,s} + k_{t,s} (A_m / V) \quad (81)$$

Tabela 24 - Parâmetros para temperatura média do reforço segundo B. F. Alfredo[3]

HEB / HD / UC para u=50 mm		
Resistência ao Fogo Padrão	$\theta_{0,s}$ [°C]	$k_{t,s}$ [m°C]
R30	67	5,19
R60	151	14,23
R90	250	18,53
R120	336	20,82

Deverão ser aplicados os fatores de redução das propriedades mecânicas presentes na Tabela 5. O cálculo da resistência plástica à compressão e rigidez efetiva à flexão axial é dado através das equações (82) e (83), respectivamente.

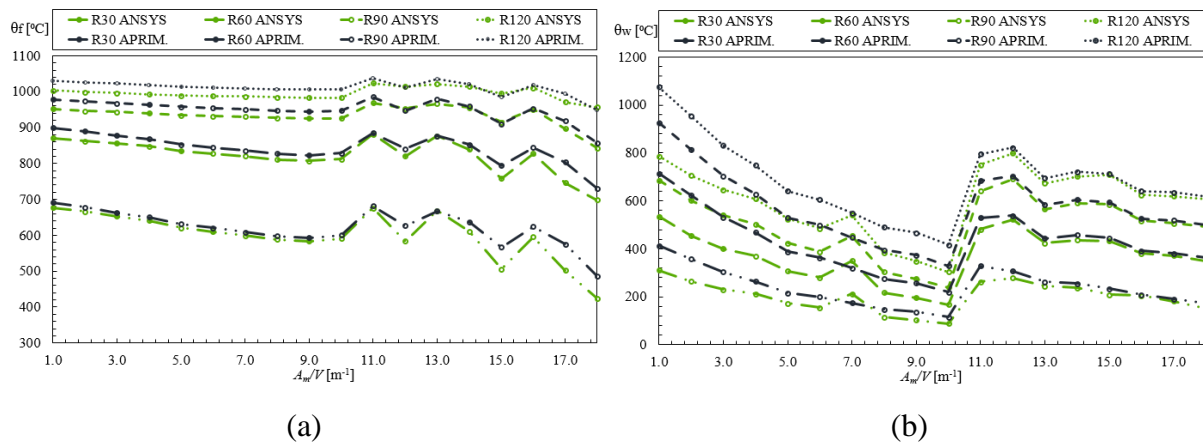
$$N_{fi,pl,Rd,s} = A_s k_{sy,\theta} f_{sy} / \gamma_{M,fi,s} \quad (82)$$

$$(EI)_{fi,s,z} = k_{sE,\theta} E_s I_{s,z} \quad (83)$$

6.5 Análise do Aprimoramento Para Fogo Quatro Lados

As temperaturas obtidas numericamente para as séries de perfis HEA, HD e UC foram comparadas com as temperaturas obtidas por meio do aprimoramento de B. F. Alfredo [3] para as séries de perfis HEB, HD e UC, respectivamente.

De maneira geral, as aproximações do aprimoramento se mostraram satisfatórias com temperaturas médias próximas às obtidas numericamente e a favor da segurança, como é possível observar na Figura 19, a não ser pela componente do reforço. Em (d) podemos ver que as temperaturas médias obtidas através do aprimoramento para o reforço são menores do que obtidas numericamente.



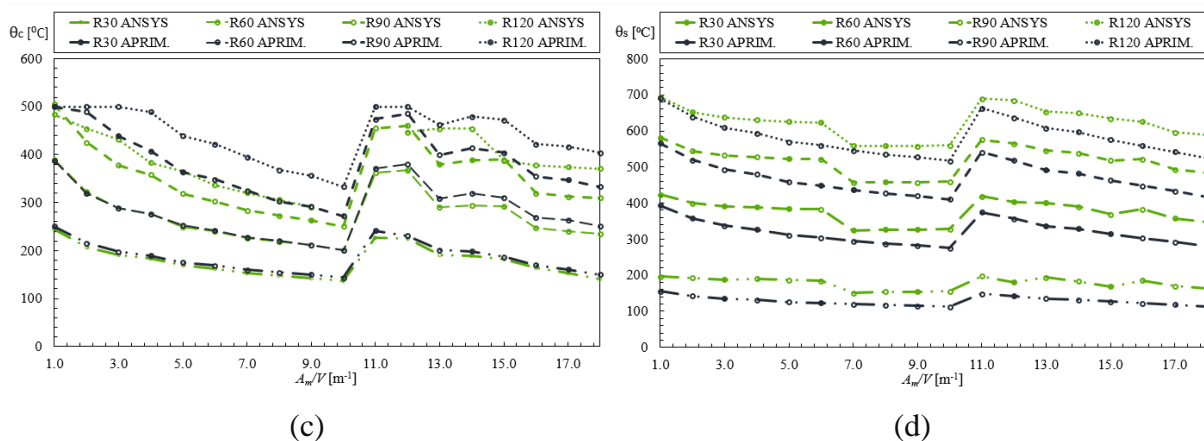


Figura 19 - Comparação da temperatura média da simulação numérica do aprimoramento das componentes

Buscando aproximar o método de cálculo ao comportamento real das estruturas sob situação de incêndio, novos parâmetros foram obtidos para a determinação da temperatura média do reforço, nos perfis estudados. Além disso, foram estudados dois valores diferentes de u para o perfil HEA ($u=50\text{mm}$ e $u=54,8\text{mm}$). Foi possível notar a influência do fator u na determinação da temperatura do reforço e incluiu-se o fator u como parâmetro na equação que determina a temperatura média dos reforços, ver equação (84).

$$\theta_{s,e,t} = \theta_{0,s,e,t} + k_{t,s,e} (A_m / V) + k_{u,s,e} (u) \quad (84)$$

Tabela 25 - Novos parâmetros para o cálculo da temperatura média do reforço.

Tempo de Resistência ao Fogo	HEA			HD / UC		
	$\theta_{0s,ne,t}$	$k_{t,s,ne}$	$k_{u,s,ne}$	$\theta_{0s,ne,t}$	$k_{t,s,ne}$	$k_{u,s,ne}$
	[°C]	[m°C]	[m°C]	[°C]	[m°C]	[m°C]
R30	480	2,0	-6,2	115	6,60	0
R60	800	7,0	-9,65	240	13,50	0
R90	910	10,0	-9,74	340	17,20	0
R120	970	12,0	-9,32	430	18,50	0

Os novos parâmetros e coeficientes para cada tempo de resistência ao fogo estão na Tabela 25. A figura a seguir ilustra o comportamento da nova equação para os valores de temperatura e os compara com os resultados de temperatura obtidos numericamente.

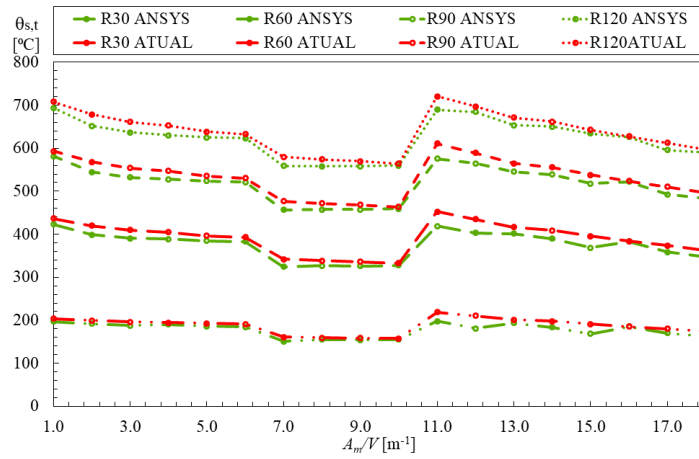


Figura 20 – Comparação dos valores de temperatura para nova equação e resultados numéricos.

CÁPITULO 7 –NOVA PROPOSTA PARA PERFIL EMBEBIDO EM PAREDE

7. Nova Proposta para fogo de um lado

Os perfis embebidos em parede, possuem fogo somente de um lado, simulando pilares em edifícios reais com fogo somente no compartimento interno. A presença da parede, no cenário com fogo de um lado, introduz um gradiente térmico na seção, como pode ser notado na Figura 21. Esse fato, implica que soma da compressão axial e da rigidez efetiva à flexão das componentes possui a partir de agora, sete componentes, sendo, a flange, concreto e reforço divididos em duas componentes: exposto e não exposto ao fogo e a componente da alma.

As componentes referentes ao lado exposto ao fogo são representadas por “e” (exposto ao fogo), enquanto as componentes referentes ao lado não exposto ao fogo são representados por “ne” (não exposto ao fogo). Cada componente recebe parâmetros e coeficientes específicos para o cálculo da sua temperatura média.

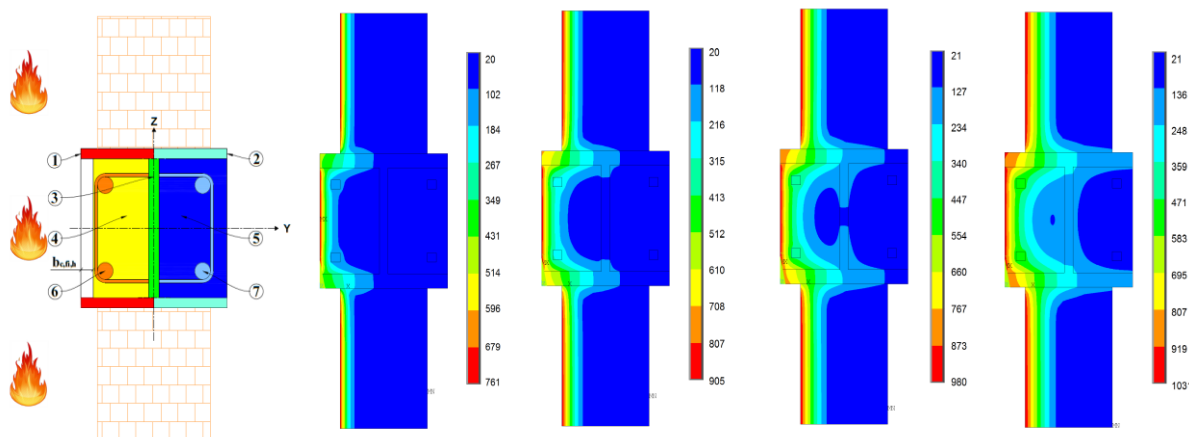


Figura 21 - Distribuição da temperatura nas componentes da seção embebida na parede para os tempos R30, R60, R90 e R120.

As equações para o cálculo da temperatura média foram desenvolvidas para cada componente utilizando a temperatura média de cada seção transversal, obtidas por simulação numérica no programa ANSYS. Na tabela a seguir é apresentado a evolução do aprimoramentos para o método de cálculo, incluindo a proposta que será desenvolvida neste trabalho para fogo somente de um lado.

Tabela 26 - Norma atual e evolução dos aprimoramentos propostos [3]

	EN 1994-1-2 Anexo G [1]	Proposta A. Fellouh [22]	Proposta L. Calió [34]	B. F. Alfredo [3]	Atual Proposta
Banzos	Área não reduzida; Temperatura linear; Propriedade E (elevada); Propriedade f_y (elevada).	Área não reduzida; <u>Temperatura bi linear</u> <u>(novos parâmetros)</u> ; Propriedade E (elevada); Propriedade f_y (elevada).	Área não reduzida; Temperatura bi linear <u>(novos parâmetros)</u> ; Propriedade E (elevada); Propriedade f_y (elevada).	Área não reduzida; <u>Temperatura linear (três</u> <u>novos parâmetros)</u> ; Propriedade E (elevada); Propriedade f_y (elevada).	Divisão do banzo em duas metades, exposta e não exposta ao fogo. Área não reduzida; <u>Temperatura linear</u> <u>(três novos</u> <u>parâmetros)</u> ; Propriedade E (elevada); Propriedade f_y (elevada).
Alma	Área reduzida; Redução da alma: equação empírica (classe de resist. ao fogo, geometria); Temperatura não calculada; Propri. E (temp. ambiente); Propri. f_y (elevada).	Área reduzida; Redução da alma: <u>equação paramétrica</u> <u>(fator de seção, classe</u> <u>de resist. ao fogo),</u> <u>baseado no critério 400</u> <u>°C;</u> Temperatura não calculada; Propri. E (temp. ambiente); <u>Propri. f_y (temp.</u> <u>ambiente).</u>	Área reduzida; Redução da alma: equação paramétrica (fator de seção, classe de resist. ao fogo), baseado no critério 400 °C; <u>Temperatura calculada,</u> <u>bi linear;</u> <u>Propri. E (elevada);</u> Propri. f_y (temp. ambiente).	Área não reduzida; <u>Temperatura calculada,</u> <u>linear (três novos</u> <u>parâmetros)</u> ; Propri. E (elevada); Propri. f_y (elevada).	Área não reduzida; <u>Temperatura</u> <u>calculada, linear (três</u> <u>novos parâmetros)</u> ; Propri. E (elevada); Propri. f_y (elevada).

Concreto	Área reduzida da mesma maneira em ambas as direções (depende do fator de seção para maiores classificações de resistência ao fogo); Temperatura não uniforme; Propri. <i>Esec</i> (temp. elevada); Propri. <i>fc</i> (temp. elevada).	<u>Área reduzida de maneira diferente em ambas as direções, baseado no critério da isotérmica de 500 °C (depende do fator de seção), nova equação: parâmetros e limites; Temperatura não uniforme inferior a 500 °C;</u> Propri. <i>Esec</i> (temp. elevada); Propri. <i>fc</i> (temp. elevada).	Área reduzida de maneira diferente em ambas as direções, baseado no critério da isotérmica de 500 °C (depende do fator de seção), nova equação: <u>novos parâmetros e limites;</u> Temperatura não uniforme inferior a 500 °C; Propri. <i>Esec</i> (temp. elevada); Propri. <i>fc</i> (temp. elevada).	Área reduzida de maneira diferente em ambas as direções, baseado no critério da isotérmica de 500 °C (<u>fator de seção e geometria</u>), <u>nova equação: novos parâmetros e limites;</u> Temperatura <u>nova equação</u> inferior a 500 °C; Propri. <i>Esec</i> (temp. elevada); Propri. <i>fc</i> (temp. elevada).	Componente dividida em duas, exposta e não exposta ao fogo; Área reduzida de maneira diferente em ambas as direções, baseado no critério da isotérmica de 500 °C (<u>fator de seção e geometria</u>), <u>nova equação: novos parâmetros e limites;</u> Temperatura <u>nova equação</u> inferior a 500 °C; Propri. <i>Esec</i> (temp. elevada); Propri. <i>fc</i> (temp. elevada).
	Área não reduzida; Temperatura inferida; Propri. <i>E</i> (elevada); Propri. <i>fy</i> (elevada).	<u>Área não reduzida; Temperatura nova equação paramétrica (dependente do fator de seção);</u> Propri. <i>E</i> (elevada); Propri. <i>fy</i> (elevada).	Área não reduzida; Temperatura nova equação paramétrica (dependente do fator de seção); Propri. <i>E</i> (elevada); Propri. <i>fy</i> (elevada).	Área não reduzida; <u>Temperatura linear (fator de seção);</u> Propri. <i>E</i> (elevada); Propri. <i>fy</i> (elevada).	Componente dividida em duas, exposta e não exposta ao fogo. Área não reduzida; <u>Temperatura linear (fator de seção e fator geométrico do cobrimento do concreto);</u> Propri. <i>E</i> (elevada); Propri. <i>fy</i> (elevada).
Reforços					

7.1 Banzos do Perfil Metálico

O banzo é dividido na metade, em duas componentes com diferentes médias de temperatura, sendo um referente ao lado exposto ao fogo e a outra ao lado sem exposição ao fogo. O gradiente de temperatura no banzo está representado na Figura 22.

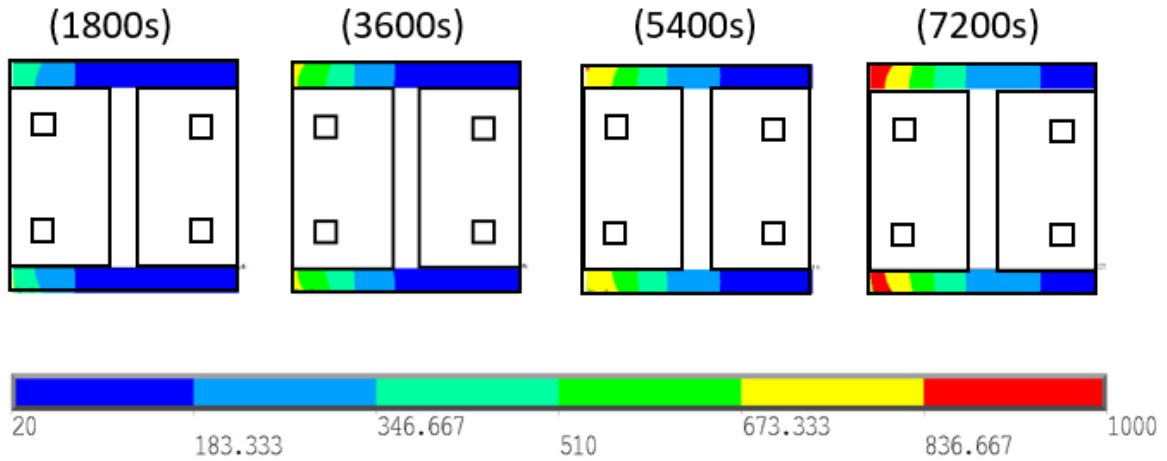


Figura 22 - Gradiente térmico no banzo do perfil parcialmente revestido embebido na parede.

As médias de temperatura das componentes referentes ao banzo são calculadas de maneiras semelhante. Assim como na proposta para fogo 4 lados, foi acrescentado um termo que relaciona a espessura do banzo com o parâmetro obtido para cada tempo de resistência. A equação para o cálculo da temperatura é apresentado na equação (85).

$$\theta_{f,t} = \theta_{0,t} + k_{f,f} (t_f) + k_{t,f} (Am/V) \quad (85)$$

Para a determinação da temperatura $\theta_{f,t}$ representa a temperatura média do banzo para um determinado tempo de resistência ao fogo, subdividido em $\theta_{f,e,t}$, para a componente exposta ao fogo e $\theta_{f,ne,t}$, para a componente não exposta ao fogo; $\theta_{0,f}$ define um parâmetro de referência em [°C]; $k_{f,f}$ representa um coeficiente empírico dependente do fator de massividade (A_m/V).

Tabela 27- Novas fórmulas e parâmetros para a média da temperatura no banzo.

$$\theta_{f,e,t} = \theta_{0,t} + k_{f,e,f} (t_f) + k_{t,f,e} (Am/V)$$

Tempo de Resistência ao Fogo	HEA			HD			UC		
	kf,e [°C/mm]	kt,fe [m°C]	θ0,t [°C]	kf,e [°C/mm]	kt,fe [m°C]	θ0,t [°C]	kf,e [°C/mm]	kt,fe [m°C]	θ0,t [°C]
R30	0.09	36	185	-0.42	45.95	140	-0.55	40.9	150
R60	1.48	45	295	-0.40	59.6	254	-0.53	54.5	262
R90	2.25	54	348	-0.20	69.95	307	-0.34	62.5	326
R120	3.15	58	389	0.01	74	344	-0.20	67.0	375

$$\theta_{f,ne,t} = \theta_{0,t} + k_{f,ne,f} (t_f) + k_{t,f,ne} (Am/V)$$

Tempo de Resistência ao Fogo	HEA			HD			UC		
	kf,ne [°C/mm]	kt ,fne [m°C]	θ0,t [°C]	kf,ne [°C/mm]	kt ,fne [m°C]	θ0,t [°C]	kf,ne [°C/mm]	kt ,fne [m°C]	θ0,t [°C]
R30	2.18	22	-66.4	0.11	23.62	-38	0.10	21.8	-31
R60	5.19	41	-139.0	0.30	46.8	-63	0.30	42.0	-45
R90	8.39	65	-245.0	0.72	71.4	-110	0.79	66.2	-96
R120	10.20	85	-305.0	0.92	93.8	-144	0.98	83.8	-110

A tensão de escoamento e o modulo de elasticidade efetivos devido as altas temperaturas nos banzos é definido através das equações a seguir:

$$f_{ay,f,t} = f_{ay,f} k_{y,\theta} \quad (86)$$

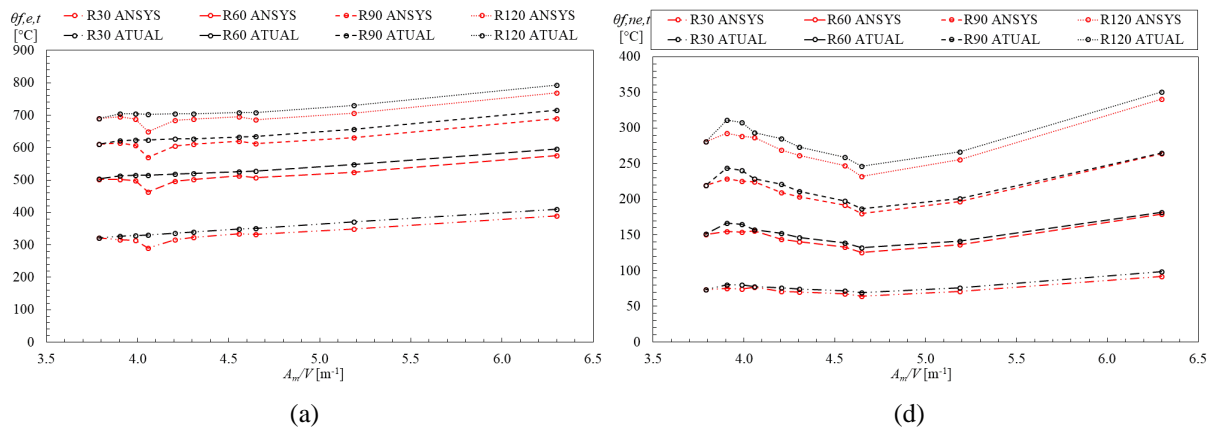
$$E_{a,f,t} = E_{a,f} k_{E,\theta} \quad (87)$$

Os valores da resistência plástica à compressão axial e a rigidez de flexão dos banzos do perfil metálico expostos ao fogo são determinados a partir das equações (88) e (89).

$$N_{fi,pl,Rd,f} = \frac{(bt_f f_{ay,f,t})}{\delta_{M,fi,a}} \quad (88)$$

$$(EI)_{fi,f,z} = E_{a,f,t} \frac{t_f \left(\frac{b}{2}\right)^3}{6} \quad (89)$$

O aprimoramento do cálculo da temperatura média pode ser percebido na Figura 23 com a aproximação da temperatura proposta superior a temperatura extraída numericamente.



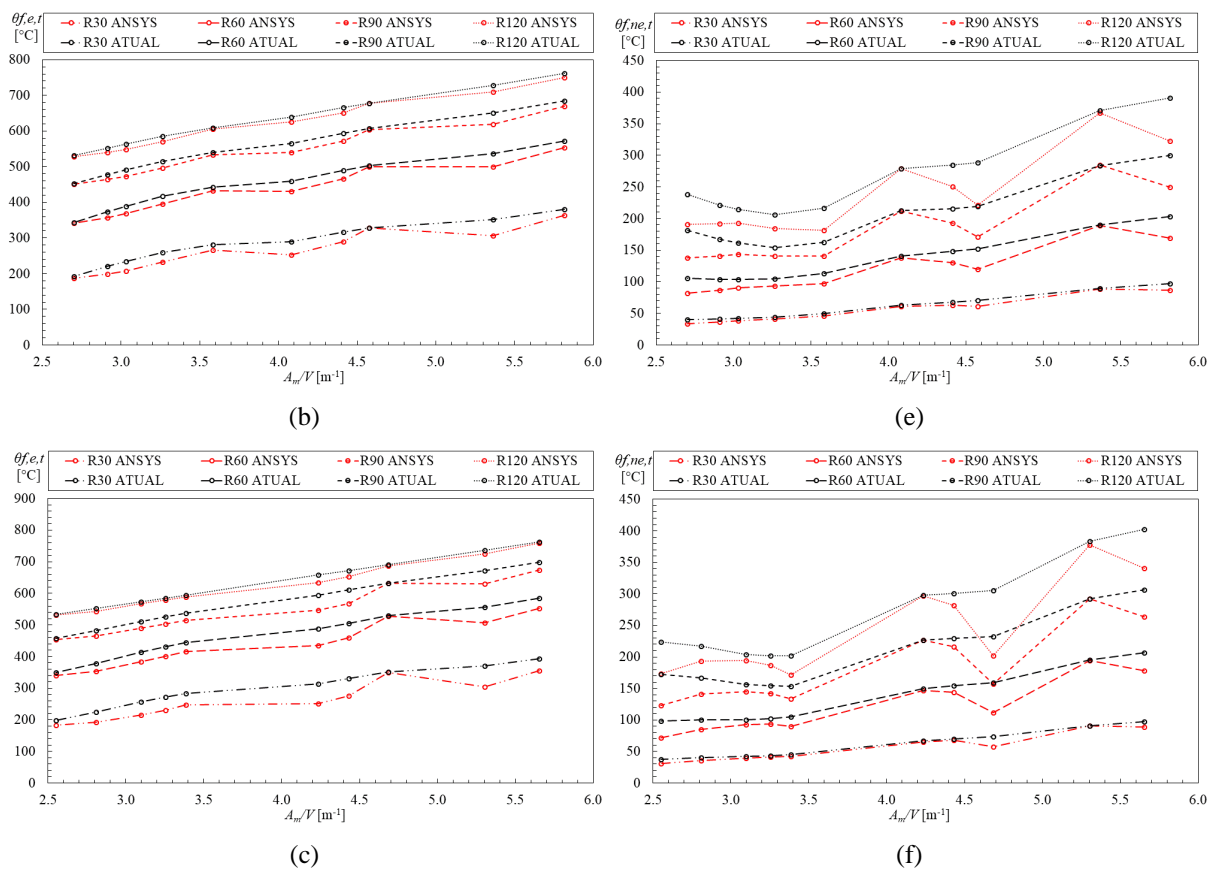


Figura 23 - Temperatura média segundo ANSYS e Aprimoramento do banco exposto ao fogo (a,b,c) e do banco não exposto ao fogo (c,d,e)

7.2 Alma do Perfil Metálico

A alma tem sua redução geométrica desprezada, a considerar toda a área como resistente. O efeito da temperatura é mensurado analogamente ao tratamento da componente dos banzos, ou seja, suas propriedades mecânicas são afetadas pela ação da temperatura. A equação para a determinação da temperatura média na alma é a mesma da proposta com fogo 4 lados, no entanto, com novos coeficientes.

$$\theta_{w,t} = \theta_{0,w} + k_{w,w} (1/t_w) + k_{t,w} (Am/V) \quad (90)$$

A evolução da temperatura para os tempos de 1800s, 3600s, 5400s e 7200s para a alma do perfil parcialmente revestido embebido na parede está representada na Figura 24.

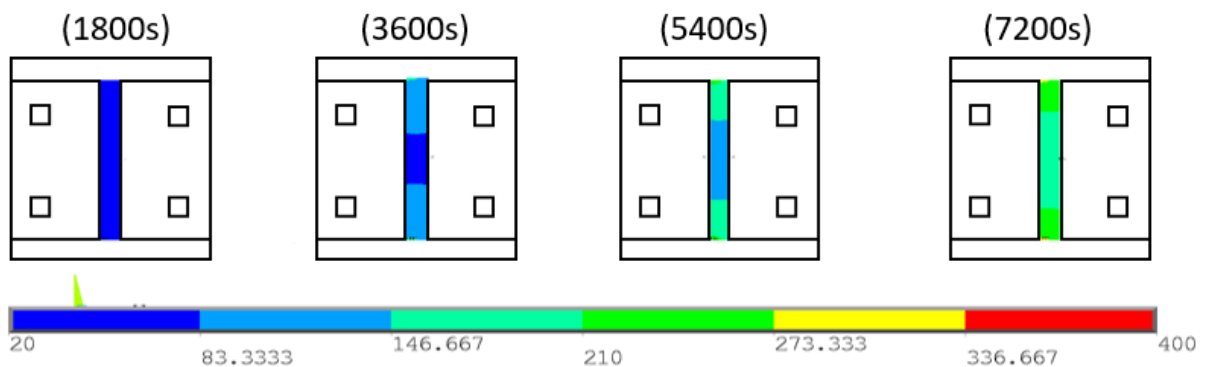


Figura 24 - Gradiente térmico na alma do perfil parcialmente revestido embebido na parede.

Os coeficientes desenvolvidos para a componente da alma estão representados na Tabela 28.

Tabela 28 - Novas fórmulas e parâmetros para a média da temperatura na alma.

Tempo de Resistência ao Fogo	HEA			HD			UC		
	$k_{w,w}$ [mm°C]	$k_{t,w}$ [m°C]	$\theta_{0,w}$ [°C]	$k_{w,w}$ [mm°C]	$k_{t,w}$ [m°C]	$\theta_{0,w}$ [°C]	$k_{w,w}$ [mm°C]	$k_{t,w}$ [m°C]	$\theta_{0,w}$ [°C]
R30	90.93	22.00	-50	-251.00	23.80	22.00	-234.62	23.05	20.00
R60	344.12	36.00	-75	-694.57	49.00	30.00	-630.00	50.00	35.00
R90	212.59	64.00	130.	1220.32	79.00	45.00	1142.11	77.49	40.00
R120	578.77	73.00	145	1585.77	102.50	45.00	1500.00	103.00	45.00

A redução das propriedades mecânicas da alma é feita através da temperatura média obtida, usando os fatores presentes no Eurocódigo 4-1-2 [1]. As equações utilizadas no cálculo estão presentes em (91) e (92).

$$f_{ay,w,t} = f_{ay,w} k_{y,\theta} \quad (91)$$

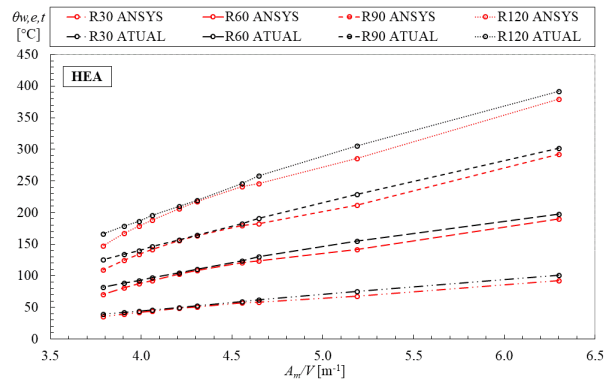
$$E_{a,w,t} = E_{a,w} k_{E,\theta} \quad (92)$$

O valor de projeto da resistência plástica à compressão axial e a rigidez à flexão da alma do perfil na situação de incêndio são determinados a partir de:

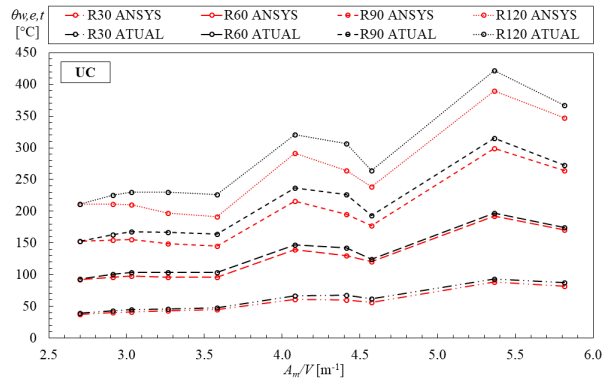
$$N_{f_i,pl,Rd,w} = \frac{[t_w (h - 2t_f) f_{ay,w,t}]}{\gamma_{M,f_i,a}} \quad (93)$$

$$(EI)_{f_i,w,z} = \frac{[E_{a,w} (h - 2t_f) t_w^3]}{12} \quad (94)$$

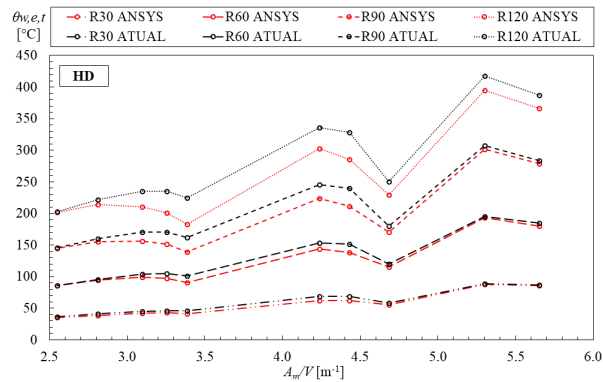
Na Figura 25 é analisado graficamente a proposta de aprimoramento para o cálculo da temperatura média no reforço.



(a)



(b)



(c)

Figura 25 - Temperatura média da alma segundo ANSYS e Aprimoramento. (a) HD (b) HEA e (c) UC.

7.3 Concreto

As componentes para o cálculo da resistência à compressão e rigidez efetiva à flexão referentes ao concreto são calculadas a partir das temperaturas médias, sendo a primeira componente referente ao lado exposto ao fogo e a segunda ao lado sem exposição ao fogo.

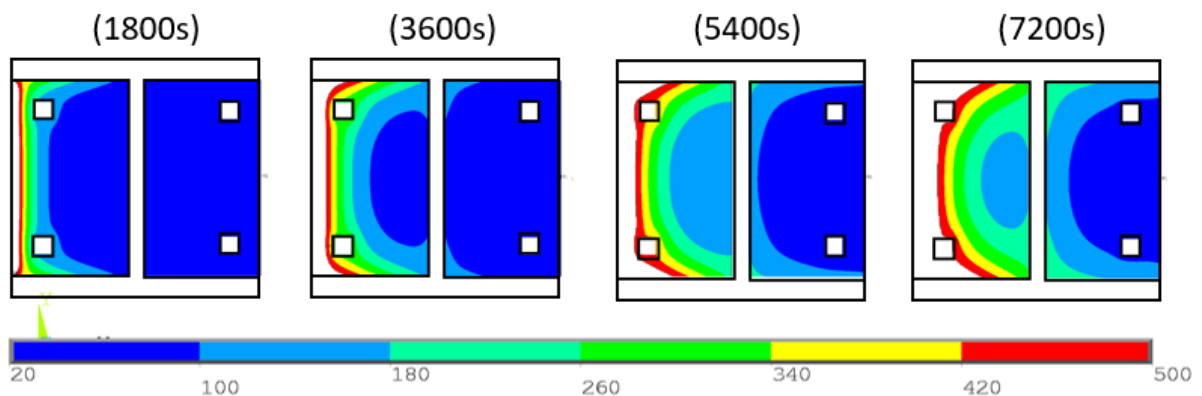


Figura 26 - Gradiente térmico no concreto do perfil parcialmente revestido embebido na parede.

O gradiente térmico no concreto para os tempos de resistência R30, R60, R90 e R120, respectivamente 1800s, 3600s, 5400s e 7200s, está representado na Figura 26.

7.3.1 Concreto do lado exposto ao fogo.

O concreto presente na face exposta ao fogo deve ter uma espessura a ser descartada ($b_{c,fi}$), para considerar que toda a seção resistente do concreto deverá apresentar temperatura menor que 500 °C, ver equação (95).

$$b_{c,fi,h} = b_{0,ch} + k_{w,ch} (1/t_w) + k_{t,ch} (A_m / V) \quad (95)$$

se $\theta_{c,t} = 500^\circ\text{C}$, então $b_{c,fi,h} = (b - t_w) / 2$

Os coeficientes utilizados na determinação da redução horizontal do concreto para o lado exposto ao fogo está presente na Tabela 29.

Tabela 29 - Nova fórmula e parâmetros para a redução horizontal do concreto exposto ao fogo.

Tempo de Resistência ao Fogo	HEA			HD			UC		
	b0,ch [mm]	kt,ch [m ² °C]	kw,ch [mm°C]	b0,ch [mm]	ktc [m ² °C]	kwc [mm°C]	b0,ch [mm]	ktc [m ² °C]	kwc [mm°C]
R30	11.68	0	0	11.68	0.000	0	11.68	0.000	0
R60	25.4	0.05	17	23.25	0.026	-4	23.00	0.026	4.52
R90	28	0.34	-12	31.00	0.180	-12	31.00	0.23	-21
R120	31	0.25	65	38.00	0.400	-26	38.00	0.400	-27

A temperatura média para o concreto exposto ao fogo é calculada a partir da equação (96) e tem seus parâmetros definidos na Tabela 30.

$$\theta_{ce,t} = \theta_{0,t} + k_{ce} (1/t_w) + k_{t,ce} (A_m / V) \quad (96)$$

Tabela 30 - Parâmetros para a determinação da temperatura média no concreto exposto ao fogo.

Tempo de Resistência ao Fogo	HEA			HD			UC		
	kce [°C/mm]	kt [m°C]	θ0,t [°C]	kce [°C/mm]	kt [m°C]	θ0,t [°C]	kce [°C/mm]	kt [m°C]	θ0,t [°C]
R30	-131	30	24	-37	28.0	33	-172	26.5	50
R60	26	40	39	-155	38.9	70	-444	46.5	60
R90	86	50	35	-449	58.9	75	-785	68.9	50

A rigidez à flexão efetiva e a resistência plástica à compressão axial do concreto são reduzidos de acordo com a temperatura média do concreto, através do cálculo do fator de redução para a resistência à compressão do concreto $k_{c,\theta}$ e do módulo de elasticidade secante $E_{c,sec,\theta}$.

$$f_{c,\theta} = f_c k_{c,\theta} \tag{97}$$

$$E_{c,sec,\theta} = \frac{f_{c,\theta}}{\epsilon_{cu,\theta}} \tag{98}$$

A resistência plástica à compressão axial e rigidez de flexão da seção transversal residual de concreto exposta ao fogo podem ser determinadas através das equações (99) e (100), respectivamente.

$$N_{f_i,pl,Rd,c,e} = \frac{0,86\left\{\left((h-2t_f)\left(\frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - b_{c,e,f_i,h}\right)\right) - A_s\right\}f_{c,\theta}}{\gamma_{M,f_i,c}} \tag{99}$$

$$(EI)_{f_i,c,z} = E_{c,sec,\theta} \left[\left\{ \frac{\left((h-2t_f) \left(\left(\frac{b}{2} - b_{c,f_i,h} \right)^3 - t_w^3 \right) \right)}{12} \right\} - I_{s,z} \right] \tag{100}$$

Onde A_s é a área da seção transversal de aço do reforço e 0,86 é o coeficiente de calibração. $I_{s,z}$ é o momento de segunda ordem das barras de reforço em relação ao eixo Z da seção transversal da coluna e pode ser calculado com a equação (56), utilizando o teorema dos eixos paralelos, para as quatro barras de reforço.

7.3.2 Concreto do lado não exposto ao fogo.

O concreto na face não exposta ao fogo possui toda a seção com temperatura menor que 500 °C, dessa maneira não deverá ter sua área penalizada. A temperatura média da seção pode

ser calculada considerando parâmetros geométricos da seção, como a espessura da alma e o fator de forma, ver equação (101).

$$\theta_{cne,t} = \theta_{0,t} + k_{f,cne} (1/t_w) + k_{t,cne} (A_m/V) \quad (101)$$

Os coeficientes utilizados na equação para os perfis estudados estão presentes na Tabela 31.

Tabela 31 - Parâmetros para determinação da temperatura média no concreto não exposto ao fogo.

Tempo de Resistência ao Fogo	HEA			HD			UC		
	Kcne [°C/mm]	kt [m°C]	θ0,t [°C]	kcne [°C/mm]	kt [m°C]	θ0,t [°C]	Kt [°C/mm]	θ0,t [m°C]	θ0,t [°C]
R30	-32	10.2	-11.00	-70	10.0	-1	-100	10.50	-3.27
R60	79	22.7	-48.00	-272	27.6	-29	-348	27.80	-29.00
R90	76	39.0	-84.75	-535	47.0	-49	-654	48.00	-51.50
R120	75	53.9	-118.00	-683	56.9	-35	-888	54.80	-17.00

A rigidez à flexão efetiva e a resistência plástica à compressão axial do concreto são reduzidos de acordo com a temperatura média do concreto, através do cálculo do fator de redução para a resistência à compressão do concreto $k_{c,\theta}$ e do módulo de elasticidade secante $E_{c,sec,\theta}$.

$$f_{c,\theta} = f_c k_{c,\theta} \quad (102)$$

$$E_{c,sec,\theta} = \frac{f_{c,\theta}}{\epsilon_{cu,\theta}} \quad (103)$$

A resistência plástica à compressão axial e rigidez de flexão da seção transversal residual de concreto podem ser determinadas através das equações (104) e (105), respectivamente.

$$N_{fi,pl,Rd,c,ne} = \frac{0,86 \left\{ \left((h - 2e_f) \left(\frac{b - e_w}{2} \right) \right) - A_s \right\} f_{c,\theta}}{\gamma_{M,fi,c}} \quad (104)$$

$$(EI)_{fi,c,z} = E_{c,sec,\theta} \left[\frac{\left((h - 2e_f - 2b_{c,fi,v}) \left(\frac{b}{2} - b_{c,fi,h} \right) \right)^3}{12} - I_{s,z} \right] \quad (105)$$

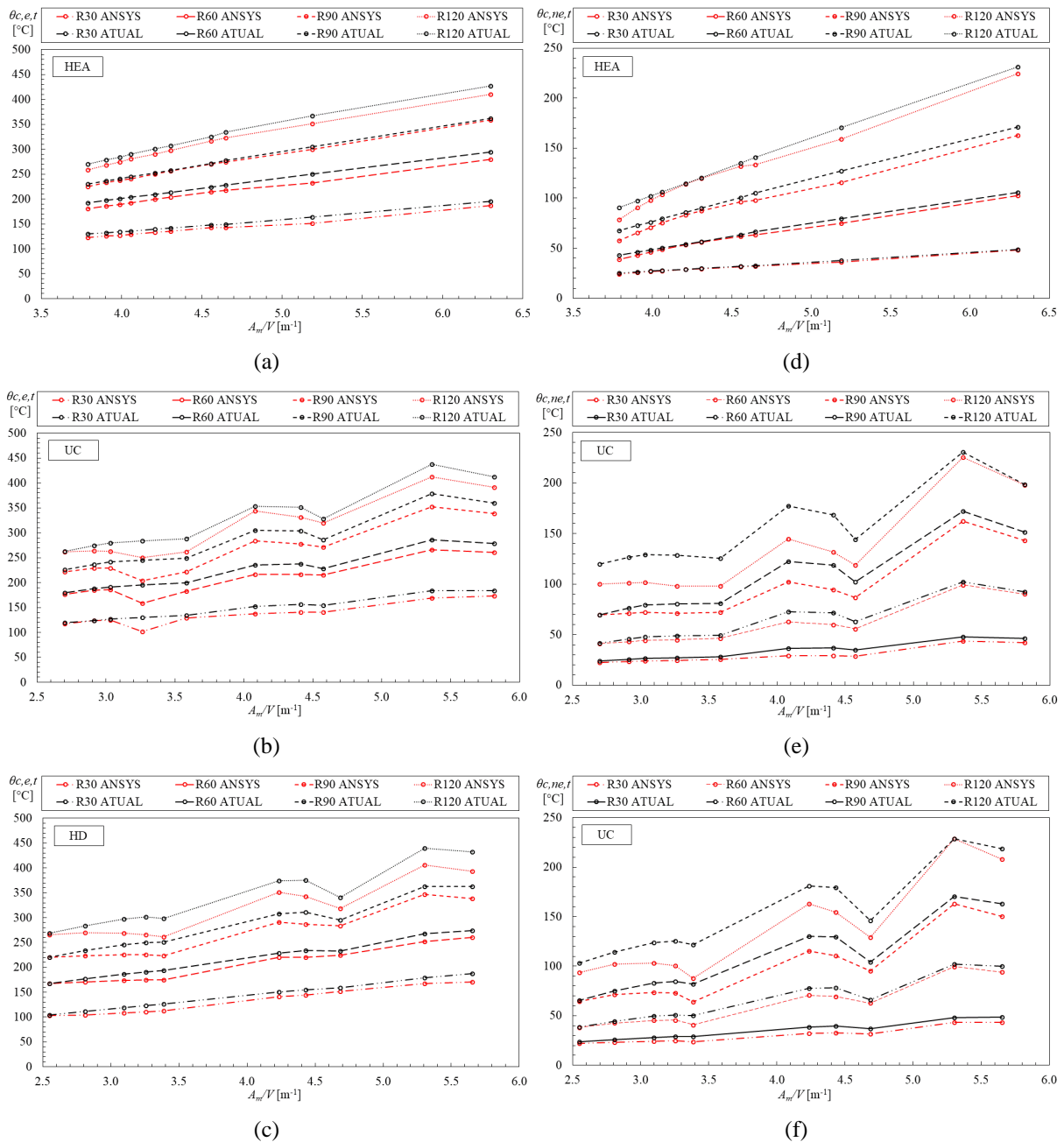
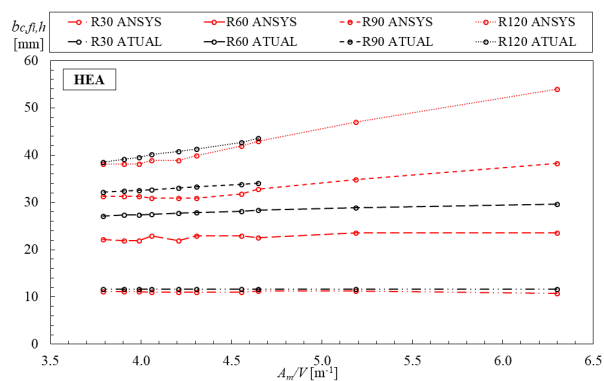
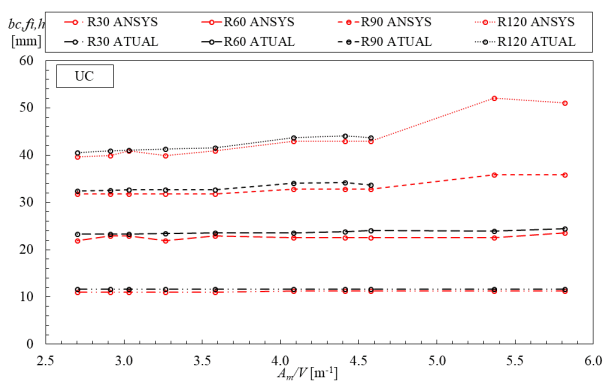


Figura 27 –Temperatura média para ANSYS e Atual Proposta exposto ao fogo (a, b, c) e não exposto ao fogo (d,e,f).

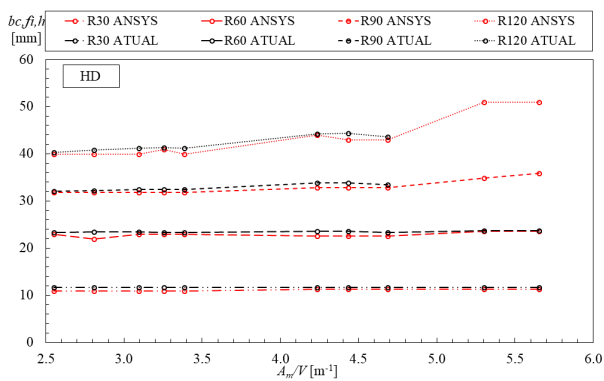
Na Figura 27 está representado a aproximação linear das temperaturas médias para o concreto exposto (esquerda) e concreto não exposto (direita). Enquanto na Figura 28 está representado a aproximação para a redução do concreto exposto.



(a)



(b)



(c)

Figura 28 - Redução do concreto para ANSYS e Atual Proposta do concreto exposto ao fogo (a, b, c) e não exposto ao fogo (d,e,f).

7.4 Reforço

O perfil posicionado com a alma paralela a parede, exposto ao fogo de um lado, apresenta diferença significativa na temperatura dos reforços expostos ou não ao fogo, a evolução da temperatura nas componentes do reforço pode ser observada na Figura 29. Dessa maneira, as barras de reforço são divididas em duas componentes: Reforço exposto ao fogo e Reforço não exposto ao fogo.

O comportamento térmico do reforço é dependente da posição geométrica de u , equação (57), para o perfil HEA, dois valores diferentes de u foram analisados ($u=50\text{mm}$ e $u=54,8\text{mm}$), sendo assim, desenvolveu-se uma nova equação para a determinação da temperatura média das barras de reforço, a partir de uma fórmula que considera o fator de massividade e o fator u do cobrimento na equação. Para os perfis UC e HD somente $u=50\text{ mm}$ foi analisado, o que implica nos valores dos parâmetros estabelecidos.

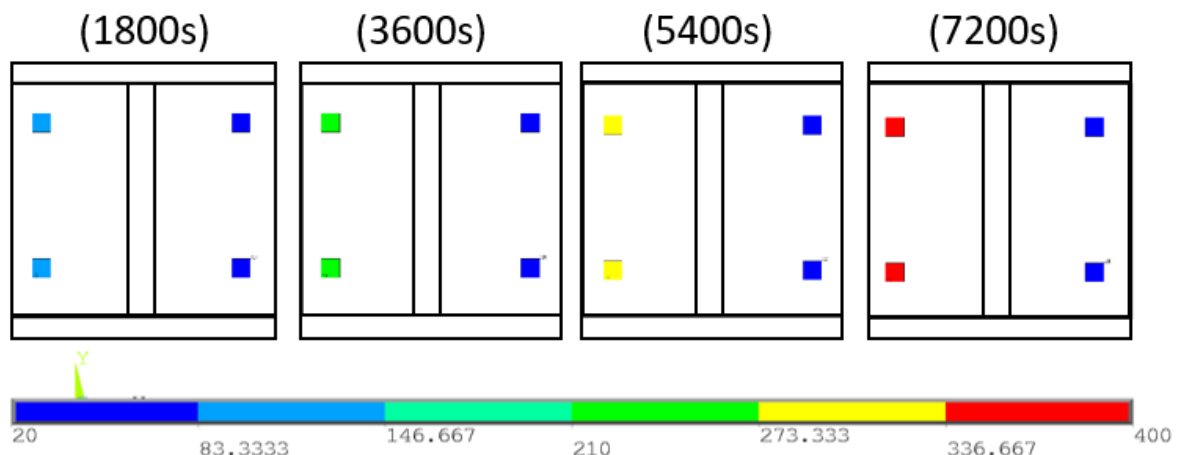


Figura 29 - Gradiente térmico no reforço do perfil parcialmente revestido embebido na parede.

Na proposta apresentada é necessário a determinação da temperatura média das barras de reforço, a partir de uma nova fórmula que considera o fator de massividade e o fator u do cobrimento na equação.

A partir da temperatura média dos reforços é possível a redução das propriedades mecânicas do aço do reforço, usando os fatores apresentados na Tabela 5. Após a determinação dos coeficientes $k_{y,t}$ e $k_{E,t}$, será possível o cálculo da resistência plástica à compressão axial e a rigidez efetiva do reforço da seção transversal.

O cálculo da resistência plástica à compressão e rigidez efetiva à flexão axial é dado através das equações (82) e (83), respectivamente, para ambas as componentes do reforço.

$$N_{f_i,pl,Rd,s} = A_s k_{sE,\theta} f_{s,y} / \gamma_{M,f_i,s} \quad (106)$$

$$(EI)_{f_i,s,z} = k_{sE,\theta} E_s I_{s,z} \quad (107)$$

7.4.1. Reforço exposto ao fogo.

A temperatura média das barras de reforço expostas ao fogo, é determinada a partir da equação (108) e tem seus parâmetros definidos na Tabela 32.

$$\theta_{s,e,t} = \theta_{0,s,e,t} + k_{t,s,e} (A_m / V) + k_{u,s,e} (u) \quad (108)$$

Tabela 32 - Parâmetros para determinar a temperatura média do reforço exposto ao fogo.

Tempo de Resistência ao Fogo	HEA			HD / UC		
	$\theta_{0s,e,t}$ [°C]	$k_{t,s,e}$ [m°C]	$k_{u,s,e}$ [m°C]	$\theta_{0s,e,t}$ [°C]	$k_{t,s,e}$ [m°C]	$k_{u,s,e}$ [m°C]
R30	310	0,4	-2,992	140	6	0
R60	640	5,7	-6,719	245	20	0
R90	765	11	-7,400	360	22	0
R120	840	16	-7,600	420	26	0

7.4.2. Reforço não exposto ao fogo.

A temperatura média no reforço não exposto ao fogo é determinada através da equação (109) Os parâmetros para determinar a temperatura média nos reforços estão presentes na Tabela 33.

$$\theta_{s,ne,t} = \theta_{0,s,ne,t} + k_{t,s,ne} (A_m / V) + k_{u,s,ne} (u) \quad (109)$$

Tabela 33 - Parâmetros para temperatura média do reforço não exposto.

Tempo de Resistência ao Fogo	HEA			HD / UC		
	$\theta_{0s,ne,t}$ [°C]	$k_{t,s,ne}$ [m°C]	$k_{u,s,ne}$ [m°C]	$\theta_{0s,ne,t}$ [°C]	$k_{t,s,ne}$ [m°C]	$k_{u,s,ne}$ [m°C]
R30	20	3,5	-0,158	10	4	0
R60	35	12,0	-0,61	-10	16	0
R90	45	17,5	-0,60	-9	25	0
R120	-30	30,0	0,50	6	33	0

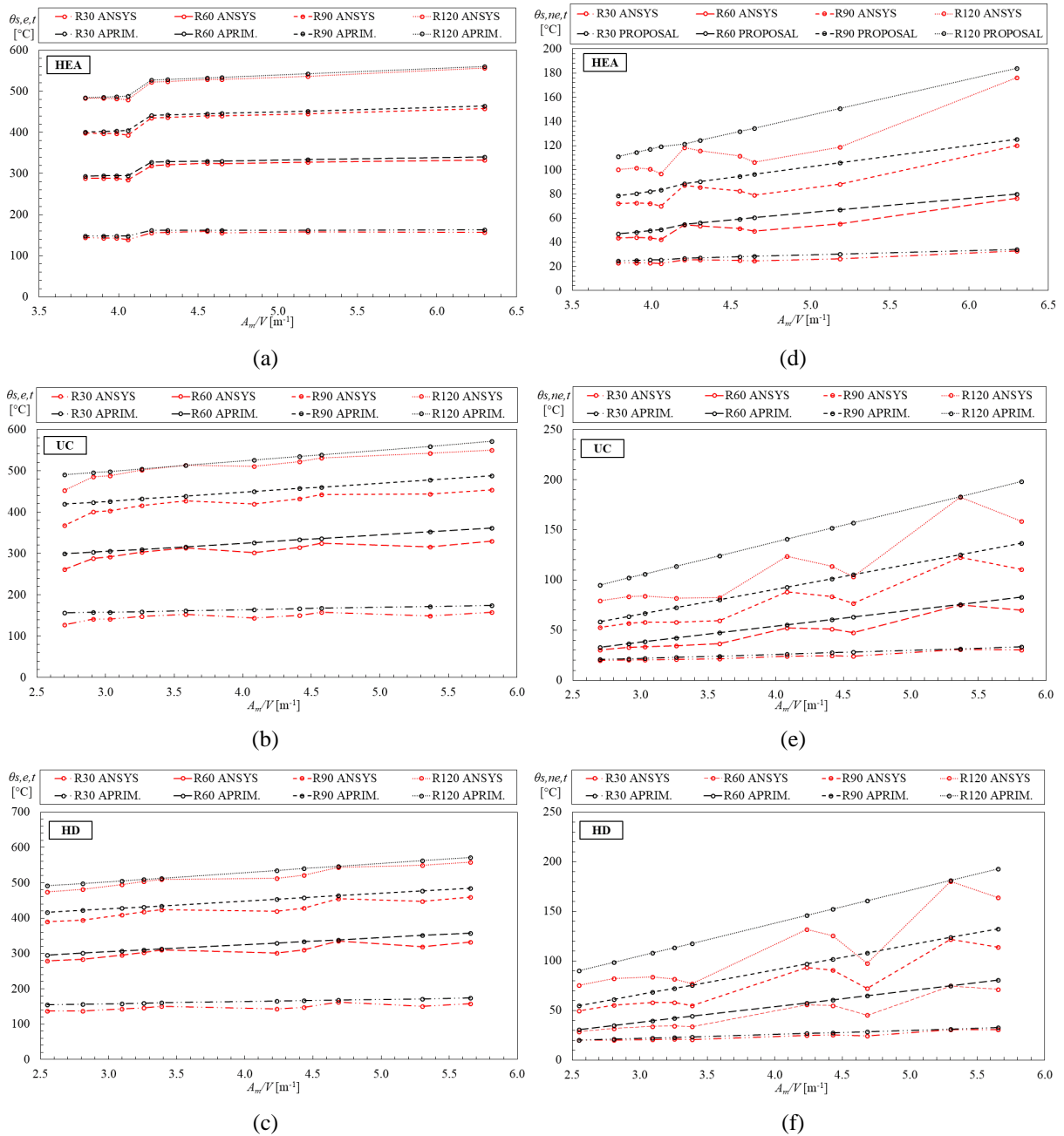


Figura 30 - Temperatura média segundo ANSYS e Atual Proposta.do reforço exposto ao fogo (a, b, c) e não exposto (d,e,f).

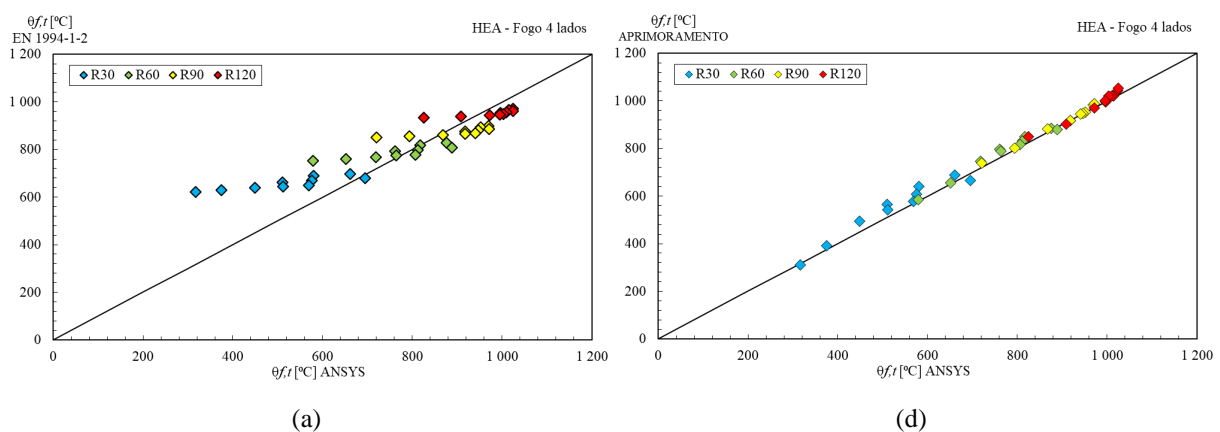
CÁPITULO 8– COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

8.1. Banzos do Perfil Metálico

Os banzos dos perfis estudados (HEA, UC e HD) apresentam temperaturas determinadas pela norma que não corresponderam as temperaturas encontradas através do método avançado de cálculo. As temperaturas médias obtidas através do EN 1994-1-2, para o banzo do perfil metálico, nos perfis com menores valores do fator de massividade, podem ser classificadas como seguras, uma vez que são maiores do que encontradas numericamente. No entanto, para perfis com maiores valores do fator de massividade, as temperaturas encontradas numericamente são maiores do que as determinadas pelo Eurocódigo 4, neste caso, são classificadas como inseguras.

No cenário fogo 4 lados, comparando os resultados das temperaturas médias obtidas numericamente para os banzos, e as temperaturas médias obtidas através da nova formulação desenvolvida por B. F. Alfredo [3] e aprimorada no presente trabalho, os valores de temperatura médias para os banzos estão seguros e próximos aos valores numéricos.

Na Figura 31, na esquerda a comparação dos resultados numéricos com o valores do Eurocódigo 4-1-2 e na direita a comparação para os valores de acordo com o Aprimoramento para fogo 4 lados.



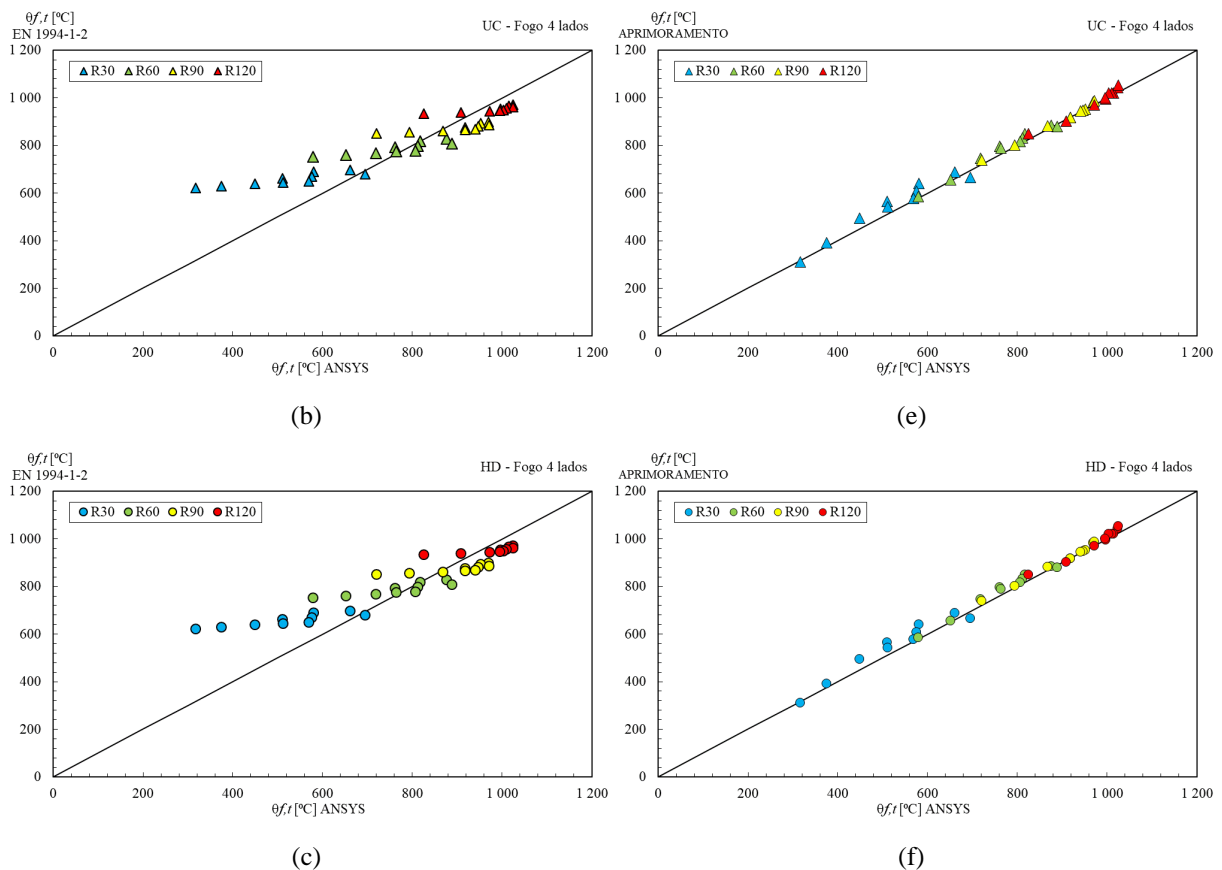
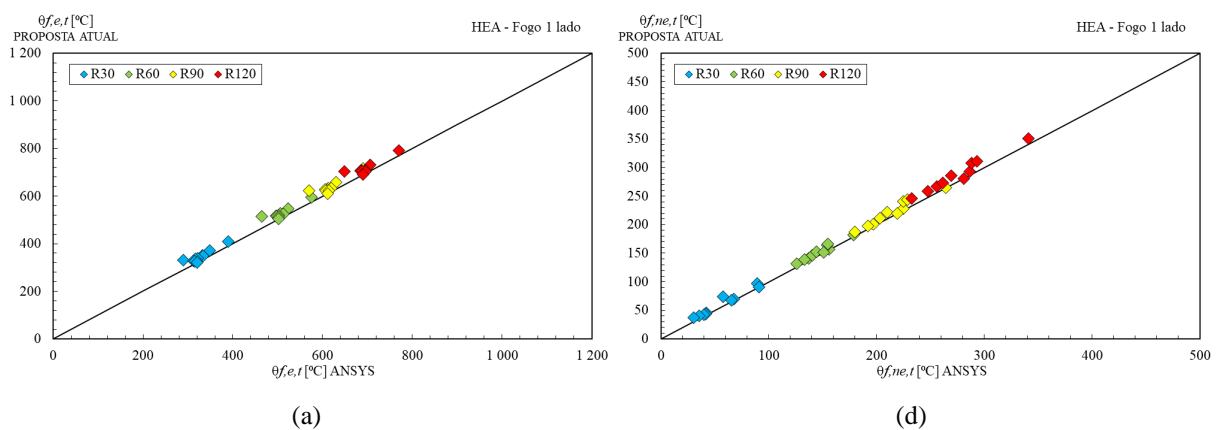


Figura 31 - Comparação entre Anexo G (a,b,c) e o Aprimoramento (d,e,f) para a temperatura média dos banzos para o cenário fogo 4 lados.

Na Figura 32, está representado os resultados para a temperatura média obtida através do Aprimoramento para pilares embecidos em parede. No lado esquerdo a componente exposta ao fogo e no direito a componente não exposta ao fogo do banzo. As temperaturas calculadas por meio da atual proposta mostraram-se próximas e seguras em relação as obtidas através da simulação numérica. Para a componente não exposta as temperaturas são significativamente mais baixas, fazendo com que a diferença entre a temperatura da atual proposta e da simulação numérica seja mais perceptível graficamente do que a diferença para a componente exposta.



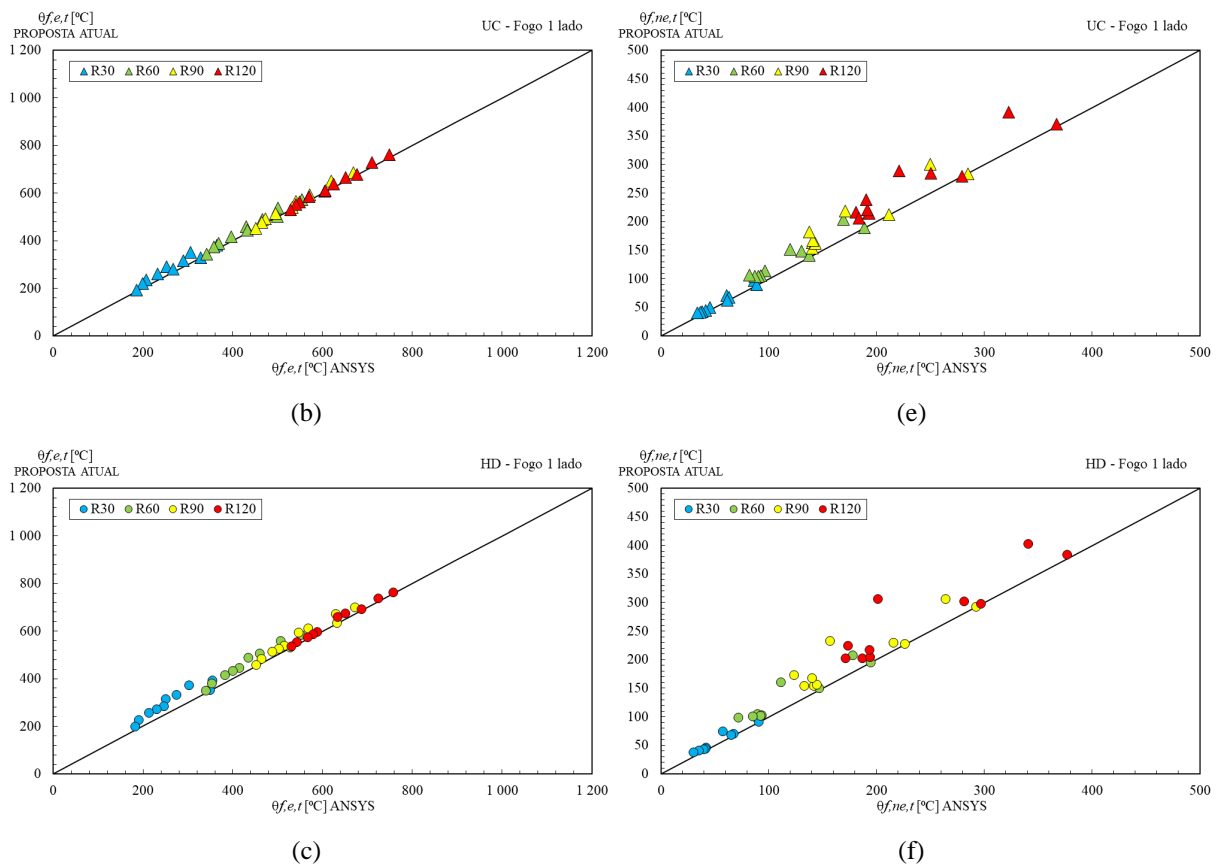


Figura 32 – Temperatura média do Atual Proposta na componente do banco exposto (a,b,c) e componente do banco não exposto (d,e,f) no cenário fogo 1 lado.

8.2. Alma do Perfil Metálico

A comparação entre as temperaturas médias da alma de acordo com a norma e a simulação numérica mostrou que para o tempo de resistência ao fogo de 30 minutos as temperaturas obtidas através da norma são mais altas do que as numéricas, por tanto, são consideradas seguras. Enquanto para os tempos de resistência 60, 90 e 120 minutos as temperaturas do código, podem ser consideradas inseguras.

O anexo G determina uma redução geométrica na área da alma e a temperatura média da componente é calculada excluindo uma região da alma. No início da exposição ao fogo a parcela da alma desconsiderada no cálculo tem influência na diminuição temperatura média da alma, já nos tempos finais de exposição, a parcela desprezada é responsável pelo aumento da temperatura média. Essas considerações fazem com que os resultados da formulação atual cruzem a zona segura nos tempos iniciais, para zona insegura nos tempos maiores de resistência ao fogo.

No aprimoramento, a área da alma é considerada total e a alma possui suas propriedades mecânicas reduzidas a partir das temperaturas calculadas, dessa vez mais próximas do ideal, como é possível ver na Figura 33.

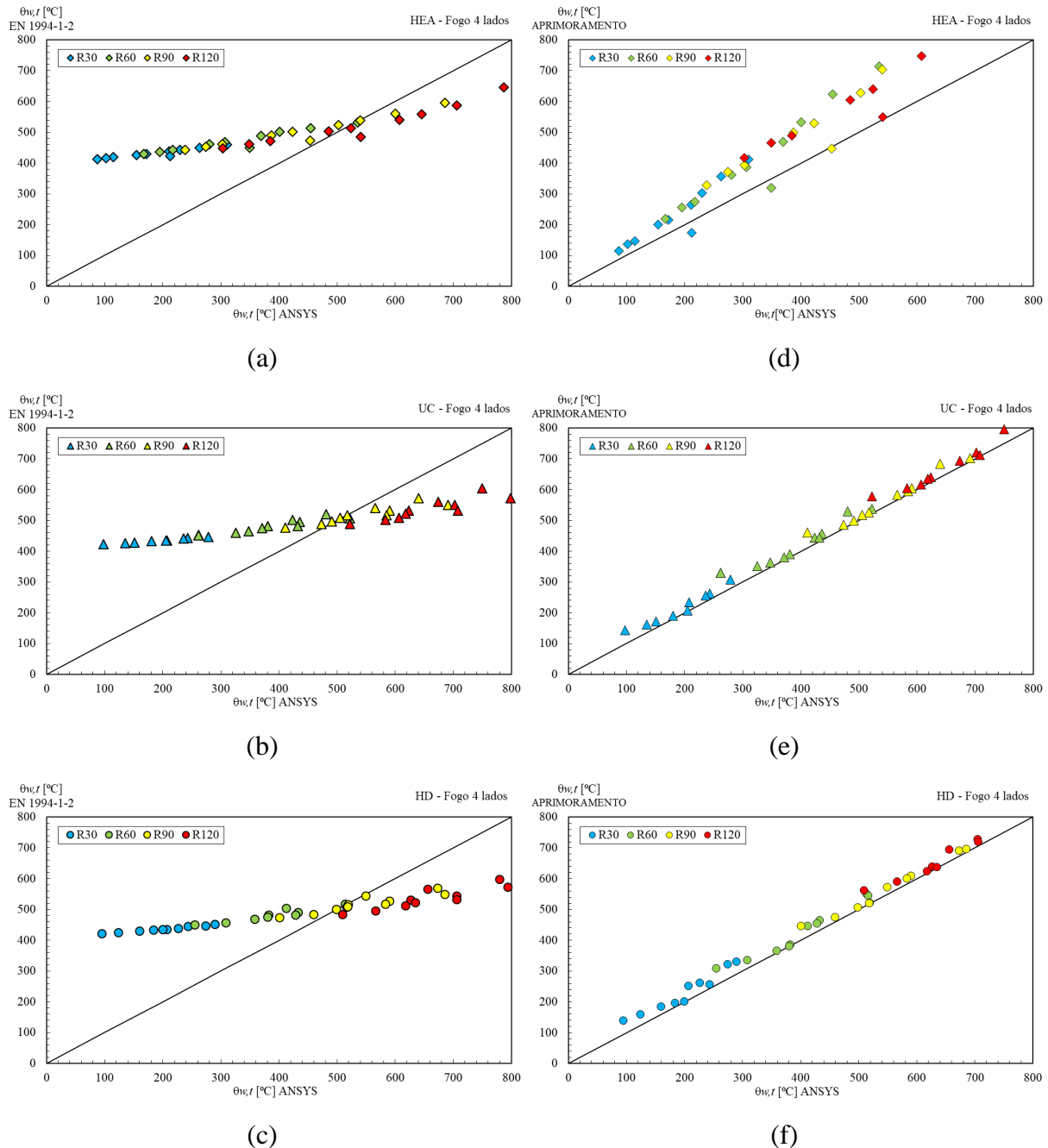
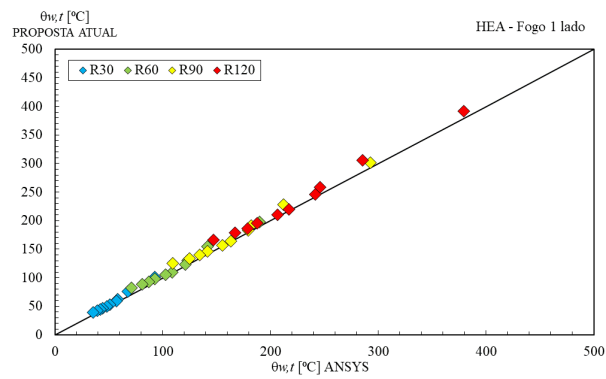


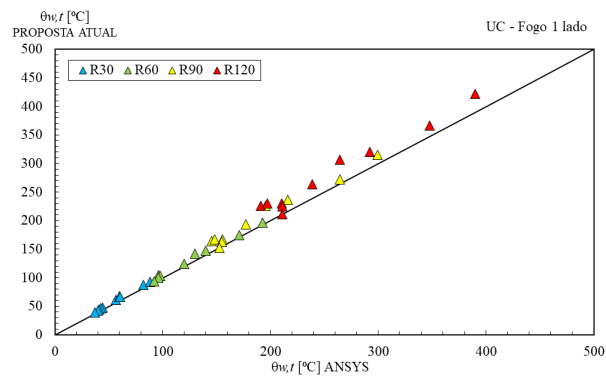
Figura 33 - Comparação entre Anexo G (a,b,c) e o Aprimoramento (d,e,f) com os resultados numéricos para temperatura média da alma.

Nos casos estudados para fogo de 1 lado os perfis apresentam comportamento semelhante ao estudo para fogo 4 lados em relação a alma. No entanto, as temperaturas médias são menores para o cenário fogo de 1 lado, este fato é atribuído a presença da parede na seção

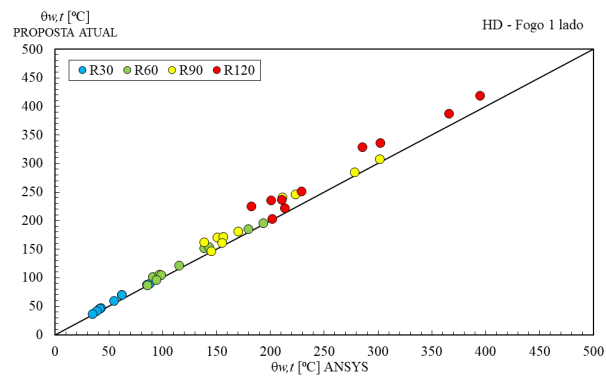
transversal. A comparação das temperaturas média para fogo de 1 lado obtidas numericamente e calculadas pela atual proposta são encontradas na Figura 34.



(a)



(b)



(c)

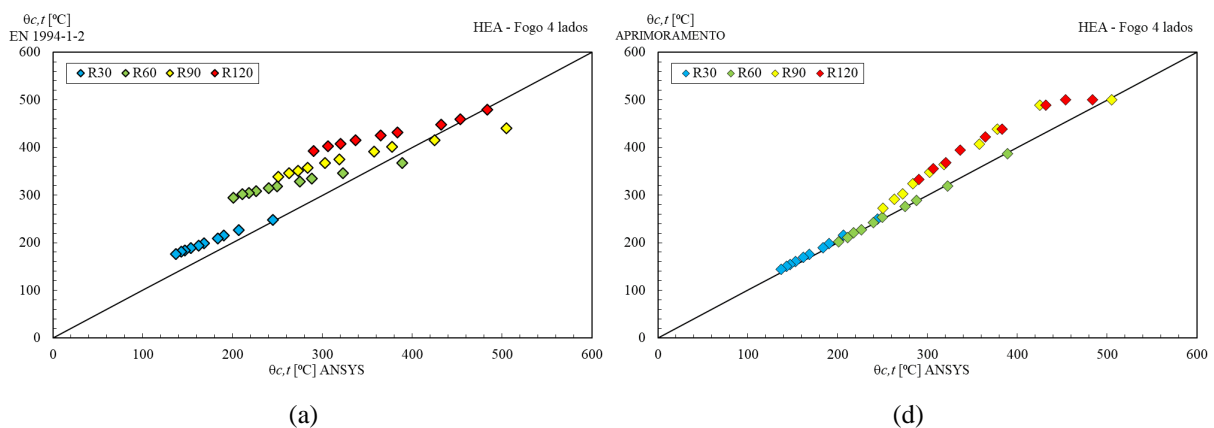
Figura 34 - Temperatura média do Atual Proposta na componente da alama (a,b,c) no cenário fogo 1 lado.

8.3. Concreto

A temperatura obtida pelo Eurocódigo 4-1-2 é maior do que obtida numericamente para os primeiros tempos de resistência ao fogo ((R30 e R60), por tanto podem ser consideradas seguras. Os perfis com maior valor do fator de massividade, normalmente com menores dimensões, apresentam-se na zona insegura, agravando-se para os maiores tempos de resistência ao fogo.

A redução do concreto, anteriormente considerada igual nas duas direções, com o aprimoramento passa a ter duas equações para a redução, a primeira para redução vertical e a segunda para redução horizontal. As dimensões da seção é a maior influência na determinação da redução do concreto, representada através do fator de massividade e da espessura da alma, na equação.

O aprimoramento para temperatura média do Perfil HD 320x198 apontou resultados insatisfatórios, mas ainda assim apresentou temperaturas médias a favor da segurança. De maneira geral, as novas formulações para a temperatura média do concreto aproximam as temperaturas calculadas das temperaturas encontradas numericamente dentro da isotérmica de 500°C, pois área resistente da seção de concreto não deve possuir temperatura que ultrapasse os 500°C. Na figura, na esquerda está presente a comparação entre os resultados numéricos e a norma (EN 1994-1-2) e na direita, os resultados numéricos e o (Aprimoramento), para cada série de perfil.



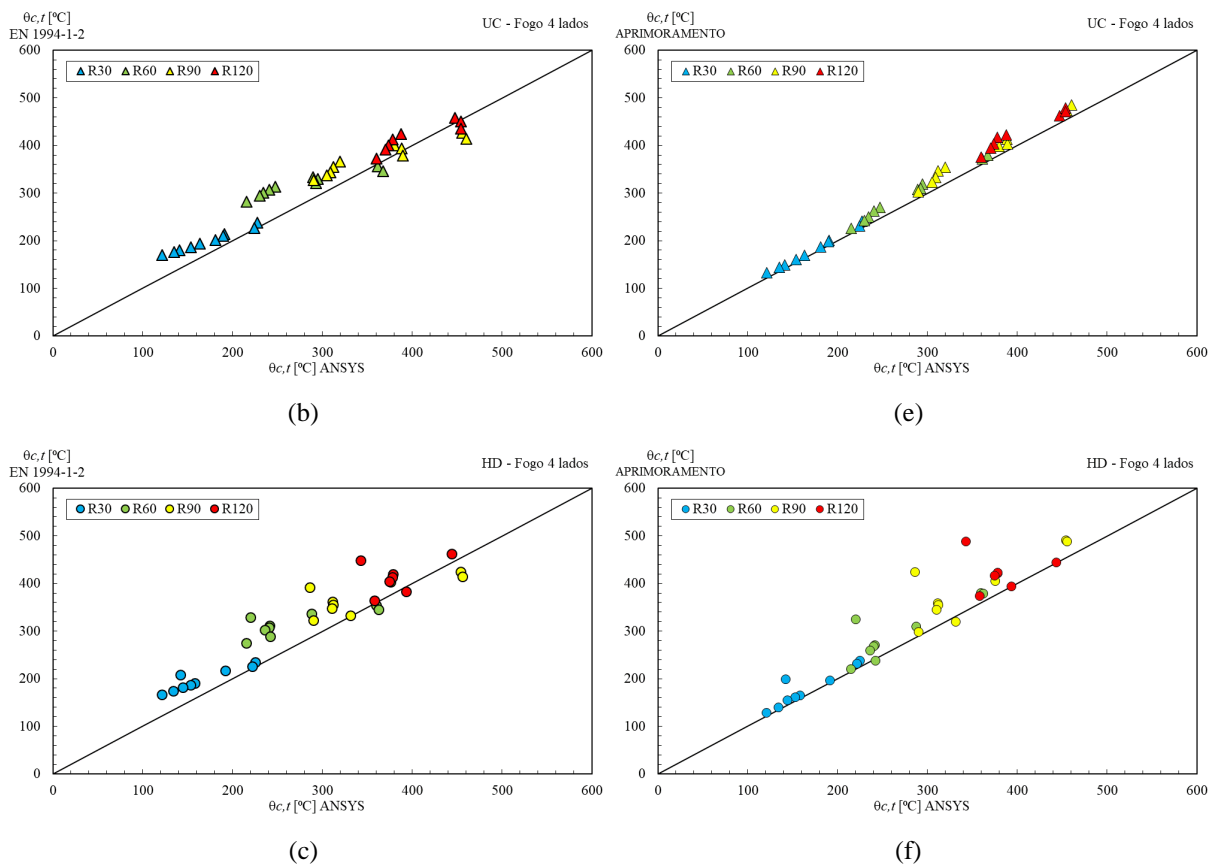
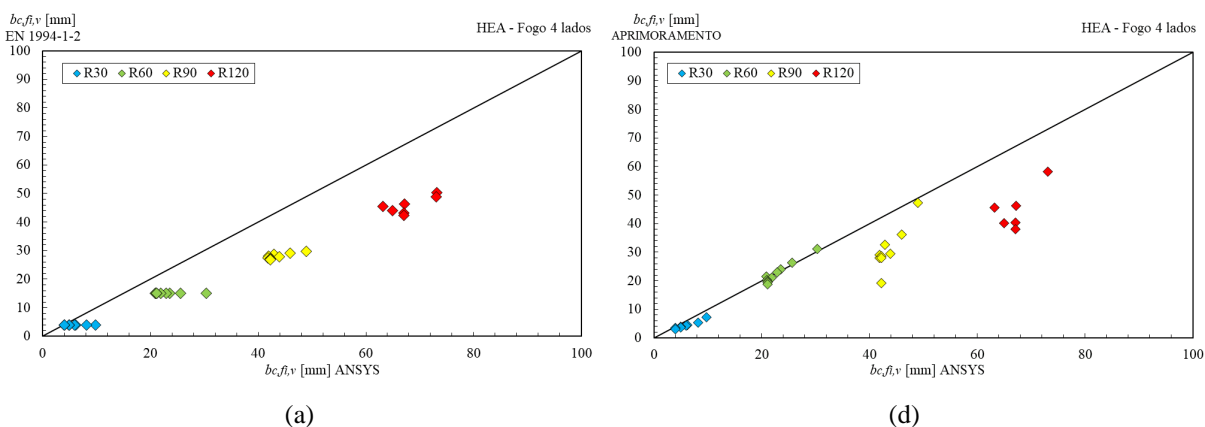
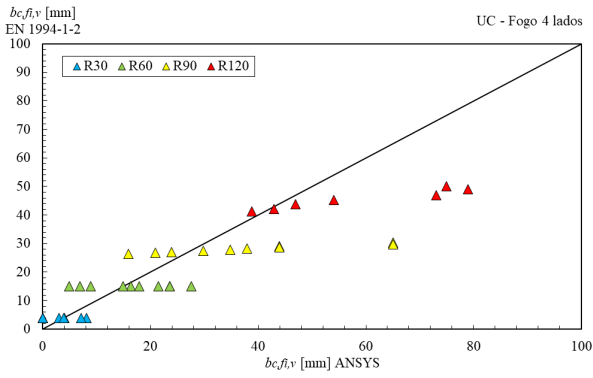


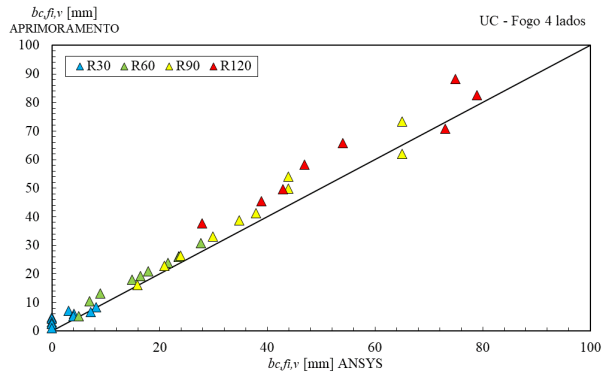
Figura 35 - Comparação entre o Anexo G (a,b,c) e o Aprimoramento (d,e,f) com os resultados numéricos para a temperatura média do concreto.

A redução do concreto para o cenário fogo 4 lados está representado na Figura 36 e Figura 37 sendo a primeira com a redução vertical e a segunda com o valor da redução horizontal.

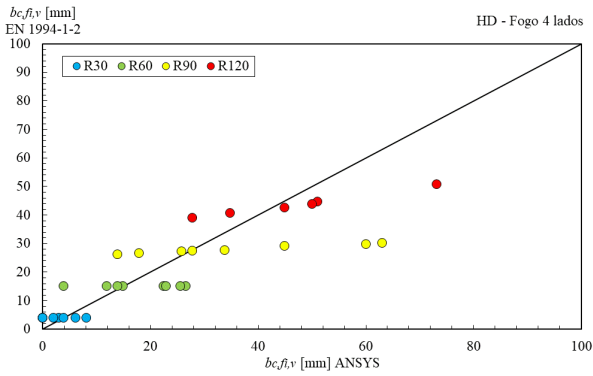




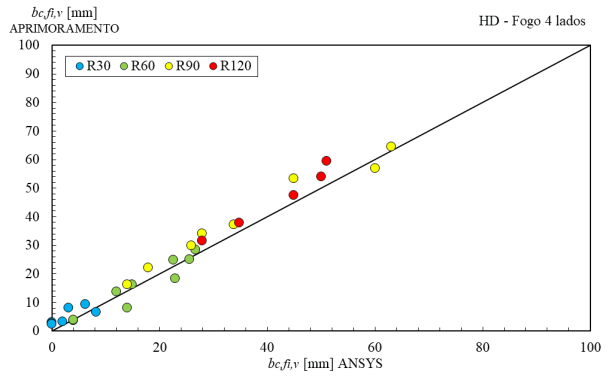
(b)



(e)

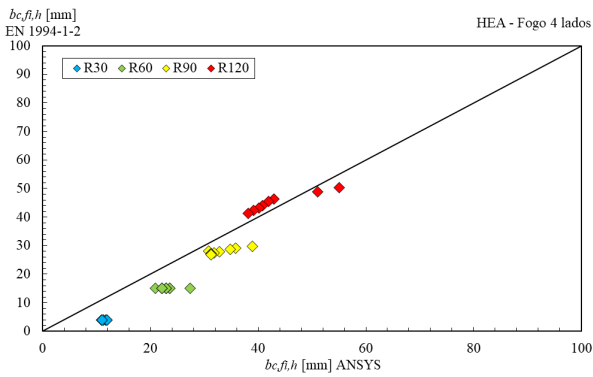


(c)

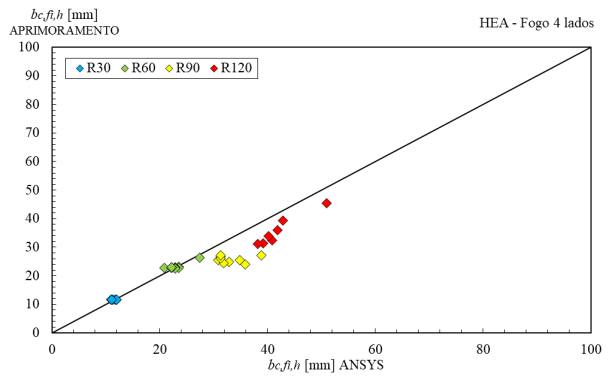


(f)

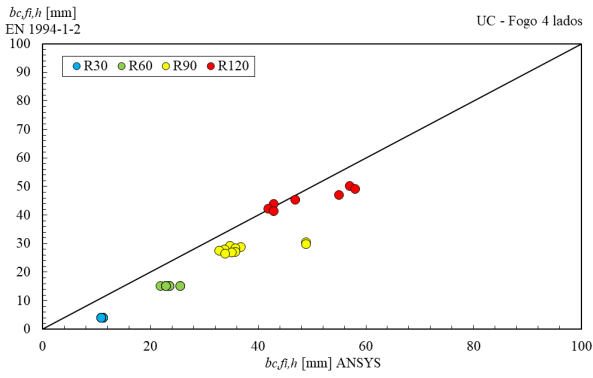
Figura 36 - Redução horizontal do concretos segundo Eurocódigo 4 (a,b,c) e Aprimoramento do B. F. Alfredo [3] (d,e,f)



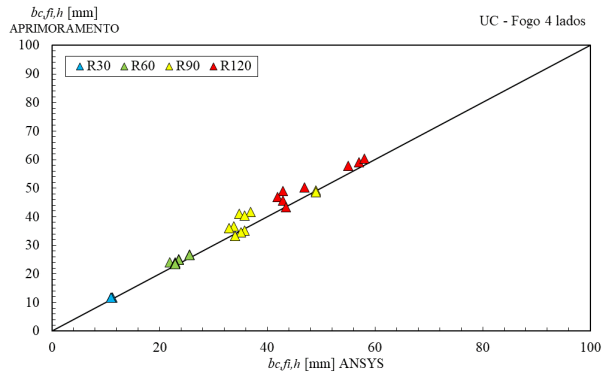
(a)



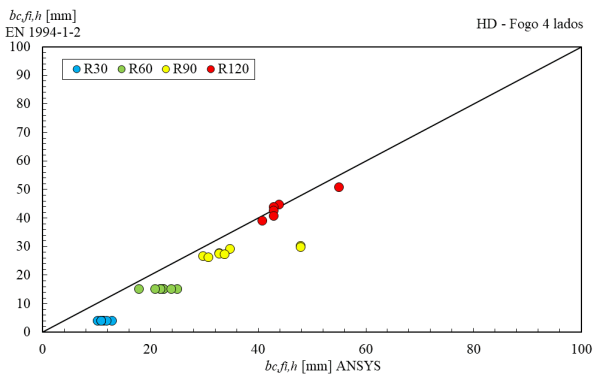
(d)



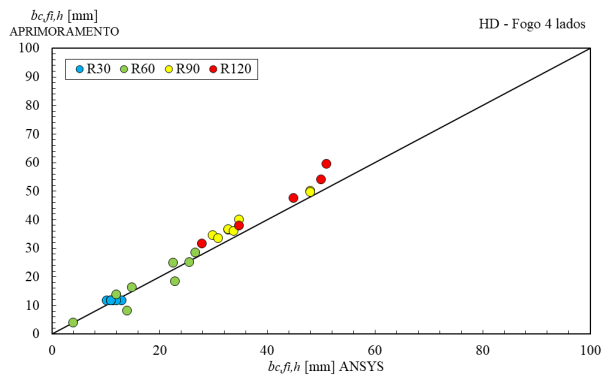
(b)



(e)



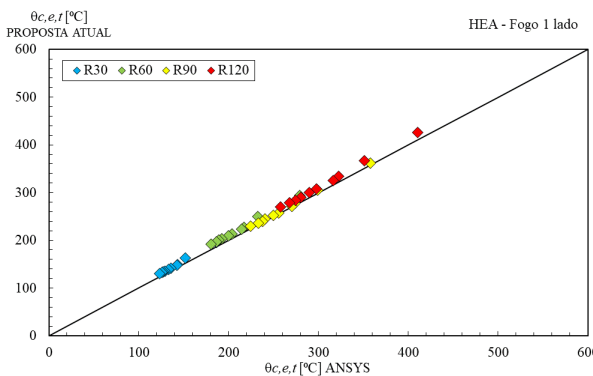
(c)



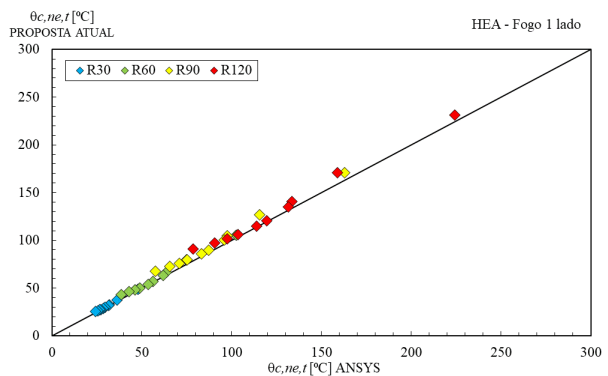
(f)

Figura 37 - Redução do vertical do concreto segundo Eurocódigo 4 (a,b,c) e Aprimoramento de B.F. Alfredo [3] (d,e,f)

Na atual proposta do cenário fogo de um lado (pilar embebido na parede), ocorre a aproximação do valor da temperatura calculada ao obtido numericamente, mantendo-se seguro tanto para o concreto exposto ao fogo (na esquerda) quanto para o concreto não exposto ao fogo (na direita) como é visto na Figura 38.



(a)



(d)

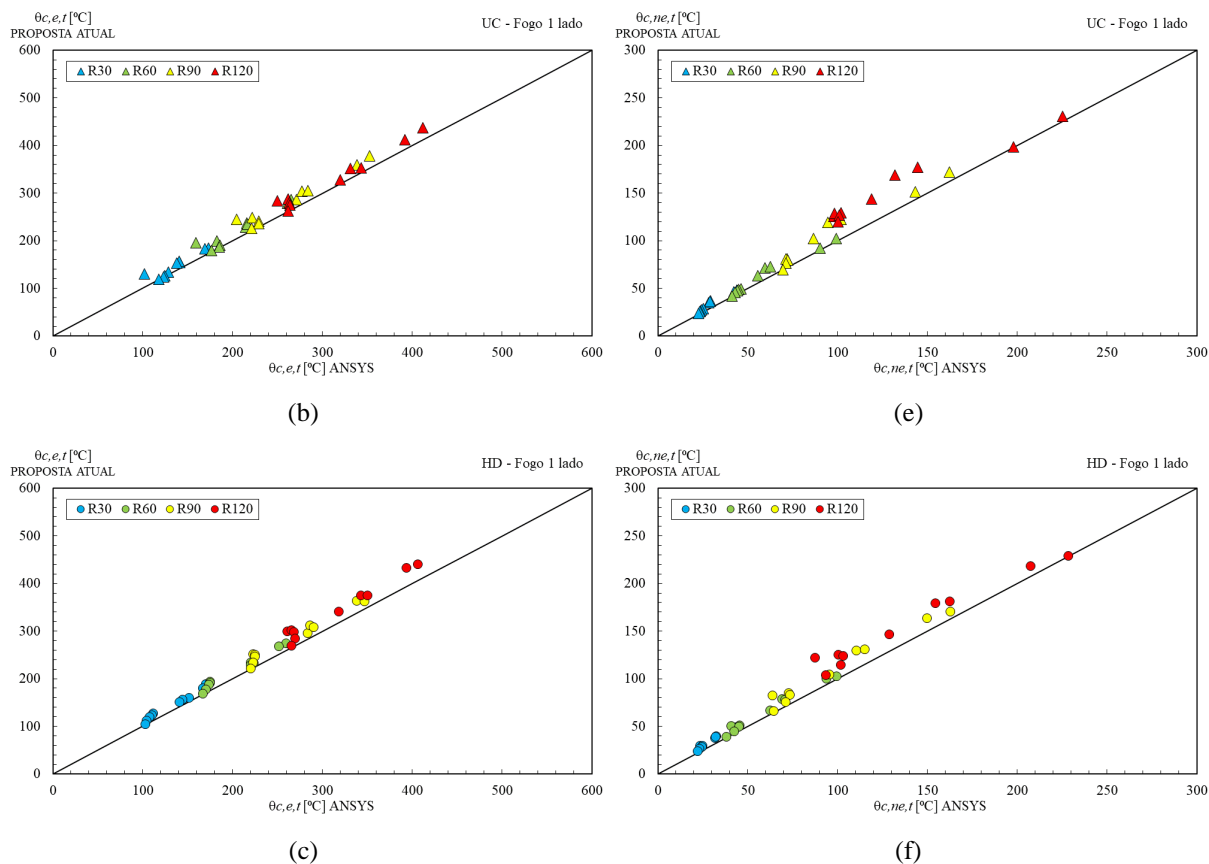
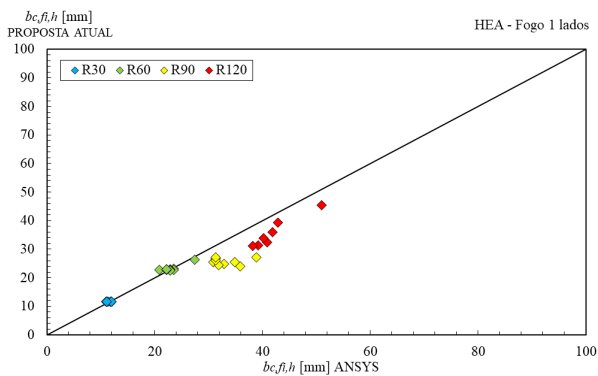
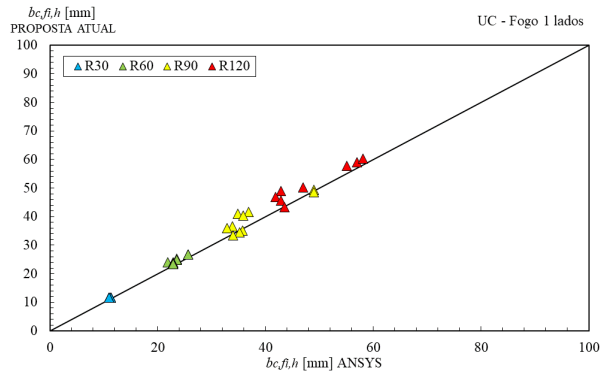


Figura 38 - Temperatura média do Atual Proposta na componente do concreto exposto (a,b,c) e componente do concreto não exposto (d,e,f) no cenário fogo 1 lado.

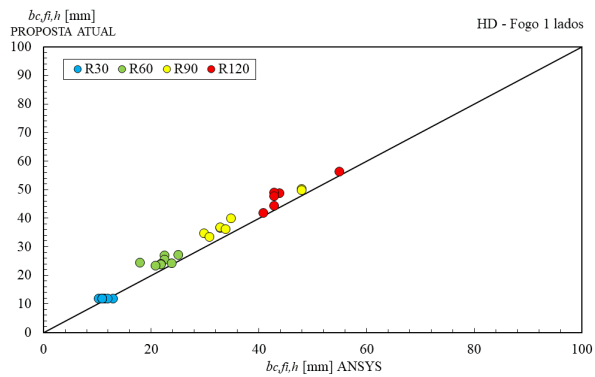
Assim como nas componentes do banzo, as temperaturas do lado não exposto da seção são significativamente menores do que no lado exposto. As temperaturas no concreto não exposto não apresentam a isotérmica de 500 °C, sendo assim, a redução do concreto foi determinada somente para a componente exposta ao fogo. A presença da parede em contato com o banzo do perfil proporciona uma proteção térmica na direção vertical, tornando não necessária a redução vertical, tanto para o concreto exposto quanto para o não exposto.



(a)



(b)



(c)

8.4. Reforço

No anexo G, as temperaturas médias do reforço são determinadas indiretamente através de coeficientes de redução para as propriedades mecânicas, a partir do valor do cobrimento u . Para as seções do perfil HEA, o valor de u podia ser igual 50 ou 54,8, enquanto para os perfis UC e HD o fator de cobrimento médio era igual a 50.

Os valores de temperatura média obtidos para a norma atual, apresentam, valores seguros para as três séries de perfil no tempo de resistência de 30 minutos. Os resultados das simulações numéricas mostraram que cobrimento do reforço não é o único parâmetro de influência na temperatura média dos reforços. O fator de massividade, maior em seções de menor dimensão, tem influência na determinação da temperatura média dos reforços. No aprimoramento, foi estabelecida uma nova equação para o cálculo da temperatura média no reforço, com coeficientes para os três perfis estudados, em função do cobrimento e também do fator de massividade. O ajuste das temperaturas é visto na Figura 39.

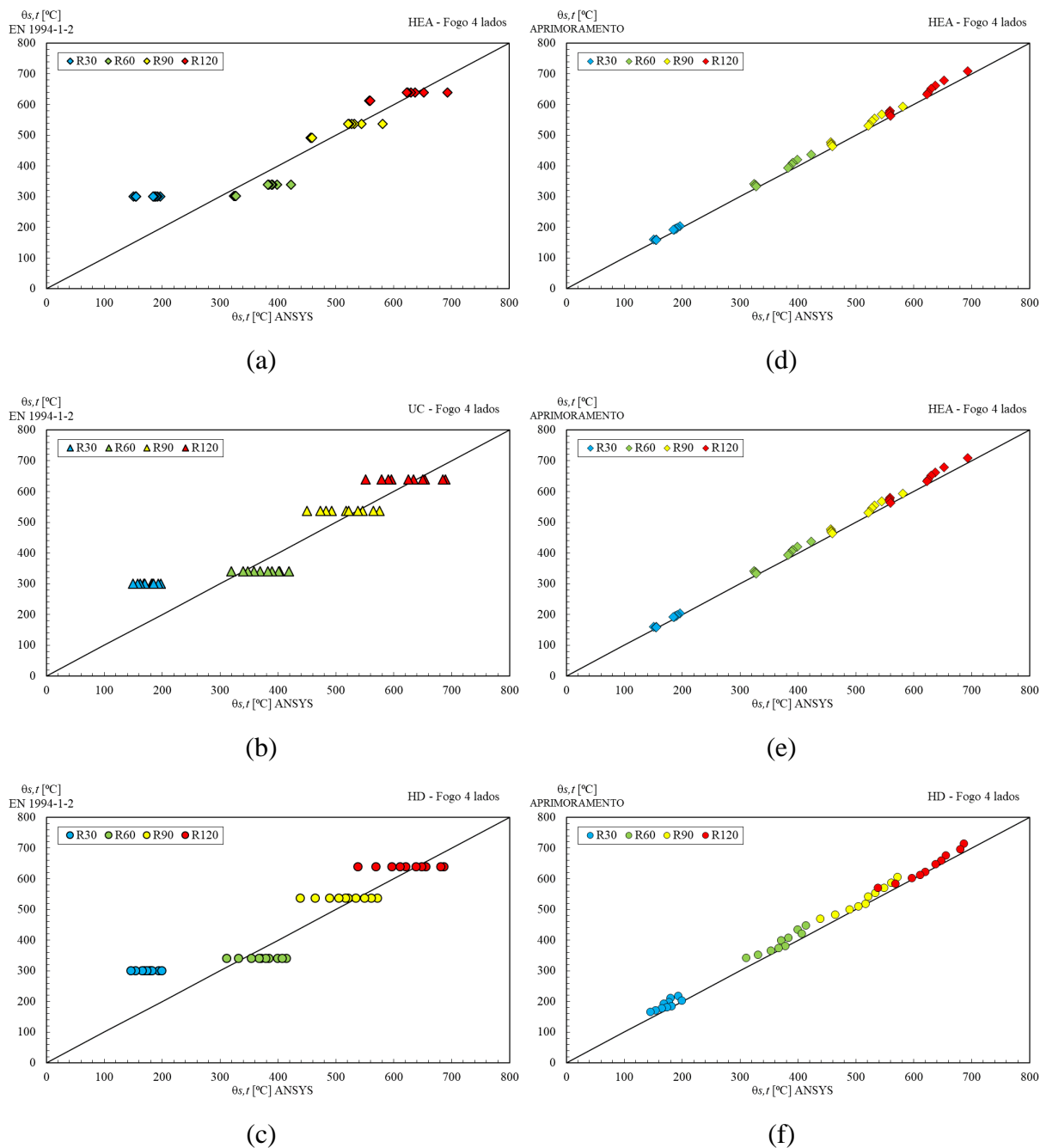


Figura 39 - Comparação entre o Anexo G (a,b,c) e o Aprimoramento (d,e,f) com os resultados numéricos para a temperatura média do reforço.

A diferença no valor da temperatura média obtida para o reforço exposto ao fogo e reforço não exposto ao fogo é significativamente alta para seções de pilares embebidos na parede (fogo de um lado). A equação de temperatura para o reforço no cenário fogo de um lado é semelhante à equação cenário fogo quatro lados, no entanto apresenta parâmetros diferentes para o reforço exposto (na esquerda) e reforço não exposto (na direita), uma vez que as temperaturas são significativamente mais altas para o reforço exposto ao fogo, ver Figura 40.

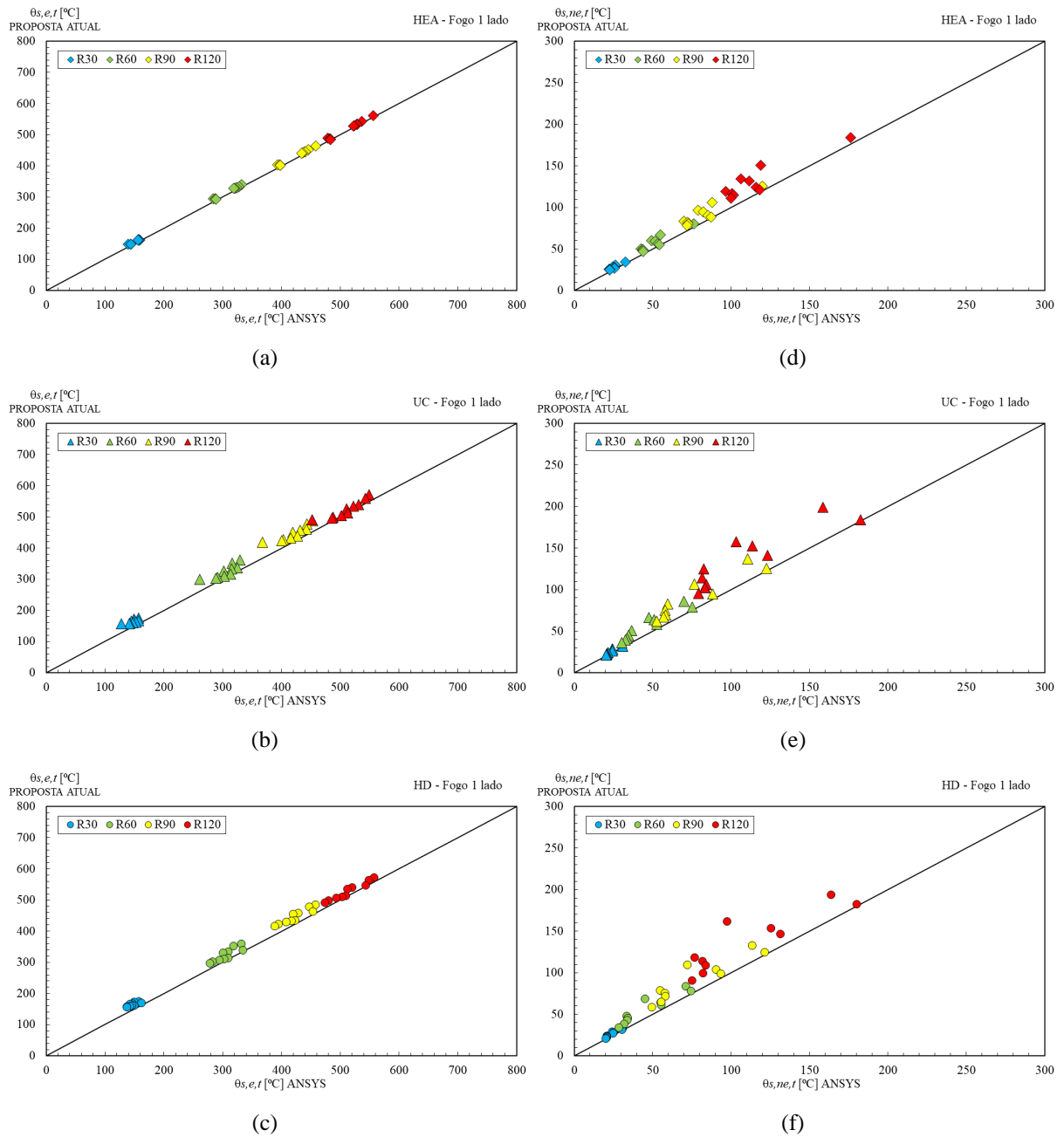


Figura 40 - Temperatura média da Atual Proposta na componente do reforço exposto (a,b,c) e componente do reforço não exposto (d,e,f) no cenário fogo 1 lado.

8.5. Resistência à Compressão Axial e Rigidez Efetiva à Flexão

A análise do valor da resistência plástica à compressão axial dos pilares parcialmente revestidos, estudados na análise fogo 4 lados, está presente no lado esquerdo da Figura 41, assim como o valor da rigidez à flexão efetiva está representado no lado direito. Os gráficos tiveram seus valores de resistência divididos pela resistência à temperatura ambiente para melhor visualização da escala.

No cenário fogo 4 lados é possível comparar o cálculo do aprimoramento com o cálculo presente na norma atual. O valor de resistência plástica parara as três séries de perfil estudadas, com tempo de resistência ao fogo de 30 minutos mostram-se seguros. Os tempos de resistência de 60, 90 e 120 minutos possuem perfis com resultados variando entre seguros e inseguros. Os perfis com maiores fatores de seção apresentam mais valores inseguros, com resistências maiores para o cálculo segundo Eurocódigo 4, parte 1-2.

A comparação do resultado do cálculo da rigidez efetiva à flexão, apresenta resultados semelhantes, com o tempo de resistência R30 mostrando-se seguro, no entanto, os tempos R60, R90 e R120 possuem poucos perfis com resultados seguros.

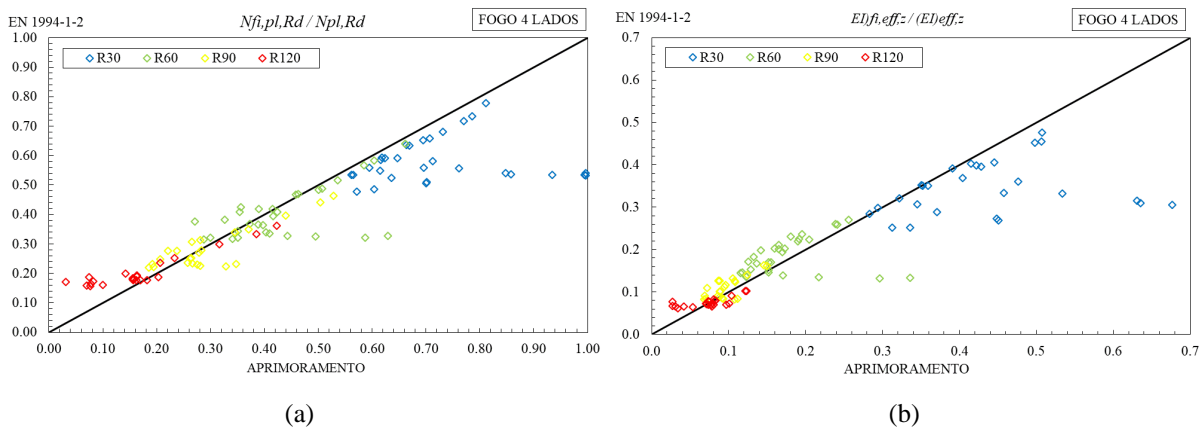


Figura 41 - Comparação para fogo quatro lados entre Anexo G e o Aprimoramento para a (a) Resistência plástica à compressão axial (b) Rigidez efetiva à flexão.

No cenário fogo de um lado foi possível comparar os resultados da resistência à compressão axial e rigidez efetiva à flexão para o cálculo segundo as temperaturas obtidas numericamente e a nova proposta de cálculo. A norma atual não considera o cenário fogo de um único lado para o cálculo da resistência e rigidez de pilares parcialmente revestidos.

O cálculo da resistência à compressão axial numérico mostrou-se maior, para todos os 30 perfis estudados, com maior dispersão para os tempos de 60, 90 e 120 minutos, a favor da

segurança da proposta sugerida neste trabalho para o cálculo da resistência. O cálculo da rigidez efetiva à flexão, encontra-se superior numericamente em relação a proposta atual para todos os perfis estudados, estes resultados estão a favor da segurança.

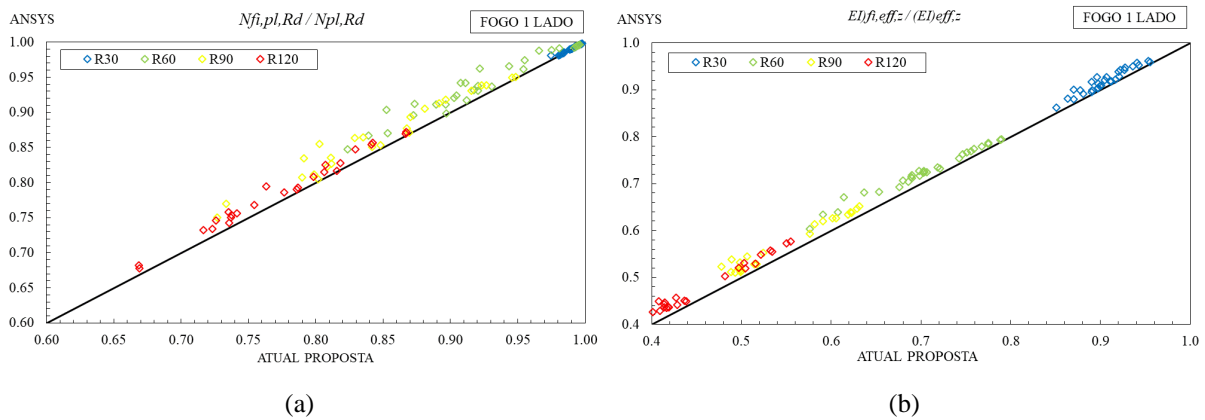
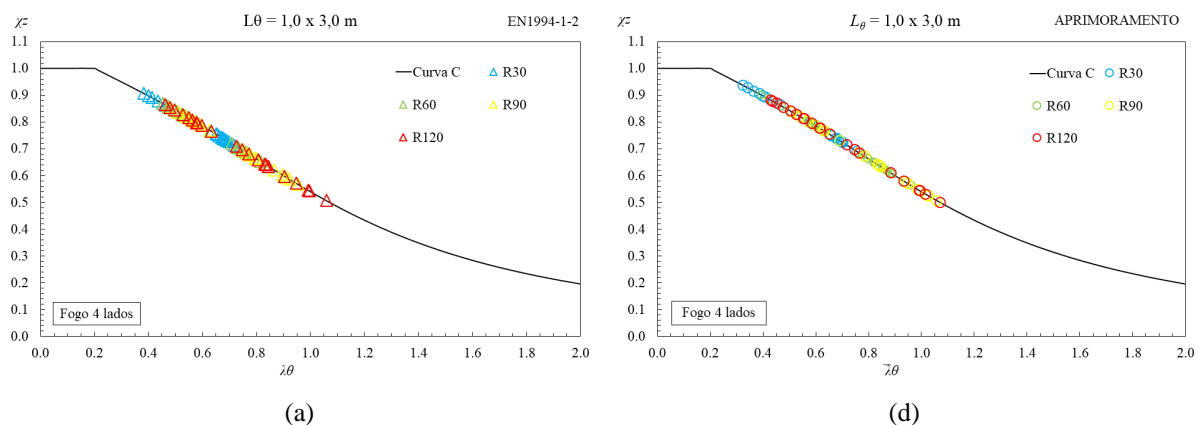


Figura 42 - Comparação para fogo de um lado entre Anexo G e o Atual proposta para a (a) Resistência plástica à compressão axial (b) Rigidez efetiva à flexão.

8.6 Resistência à Flambagem

Os resultados apresentados são calculados a partir da curva “c” do Eurocódigo 3 parte 1-1 [31], para os tempos de resistência ao fogo de 30, 60, 90 e 120 minutos. As curvas de resistência à flambagem apresentadas nas figuras 42, 43 e 44 representam a resistência das colunas mistas parcialmente revestidas, para os três tempos diferentes do comprimento de flambagem (1,0, 0,7 e 0,5) para os comprimentos $L= 3$ e 4m. Sendo na Figura 43 os valores obtidos com comprimento de 3 metros para o anexo G do Eurocódigo 4 e o Aprimoramento.



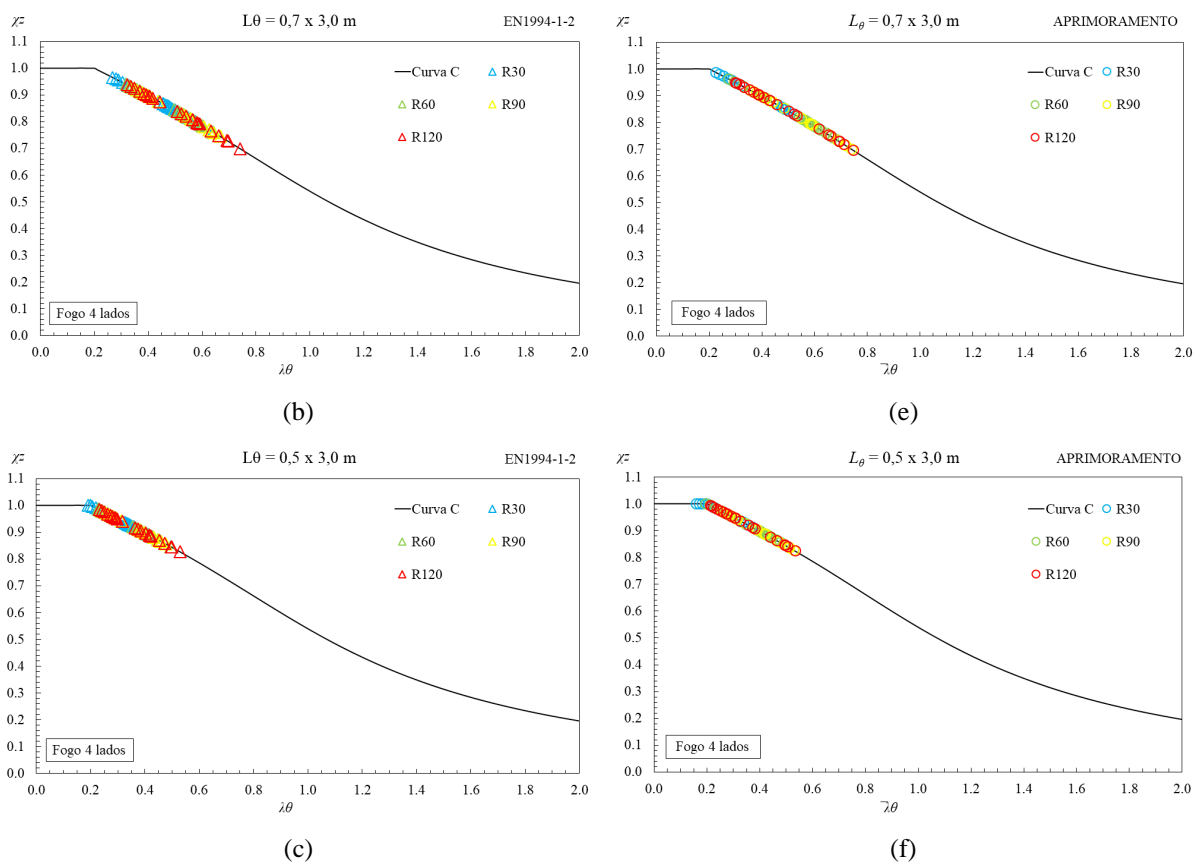
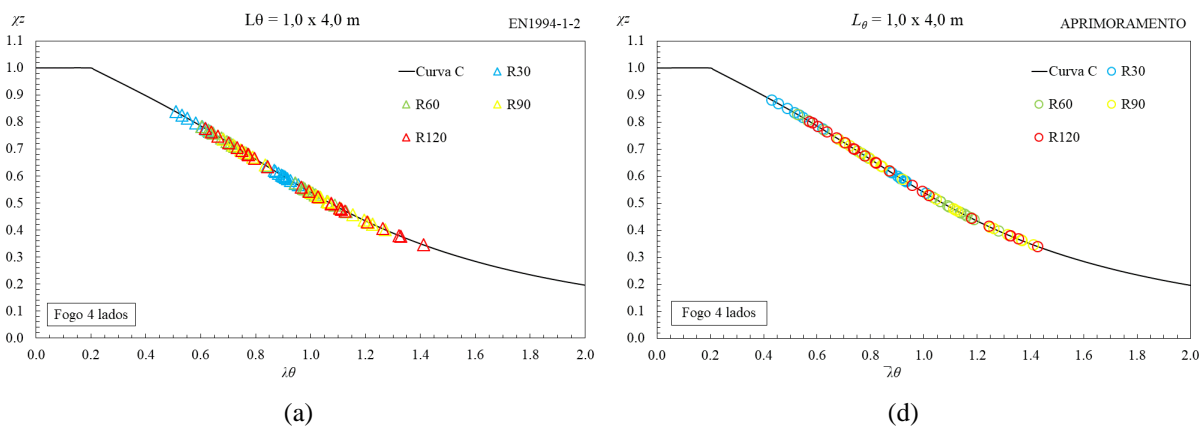
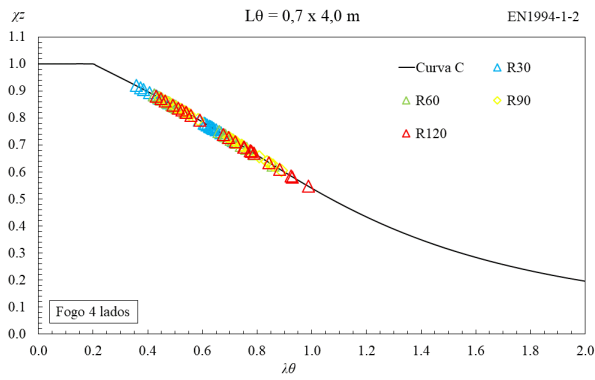


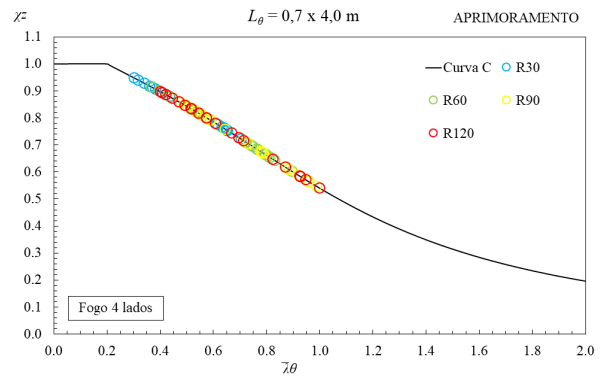
Figura 43 - Curvas de flambagem para o comprimento $L = 3$ m, para os três comprimentos de flambagem, para EN 1994-1-2 (a,b,c) e o Aprimoramento realizado (d,e,f).

Nas Figura 44 e Figura 45 apresentam-se os resultados para o aprimoramento, para fogo 4 lados e 1 lado, respectivamente.

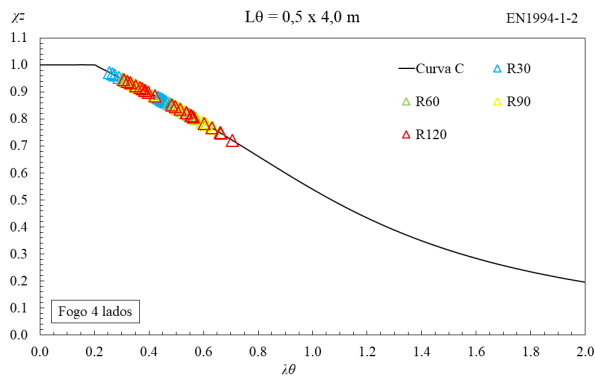




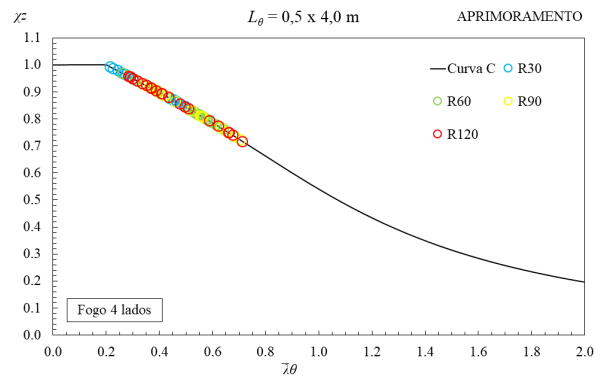
(b)



(e)



(c)



(f)

Figura 44 - Curvas de flambagem para o comprimento $L = 4$ m, para os três comprimentos de flambagem, para EN 1994-1-2 (a,b,c) e o Aprimoramento realizado (d,e,f).

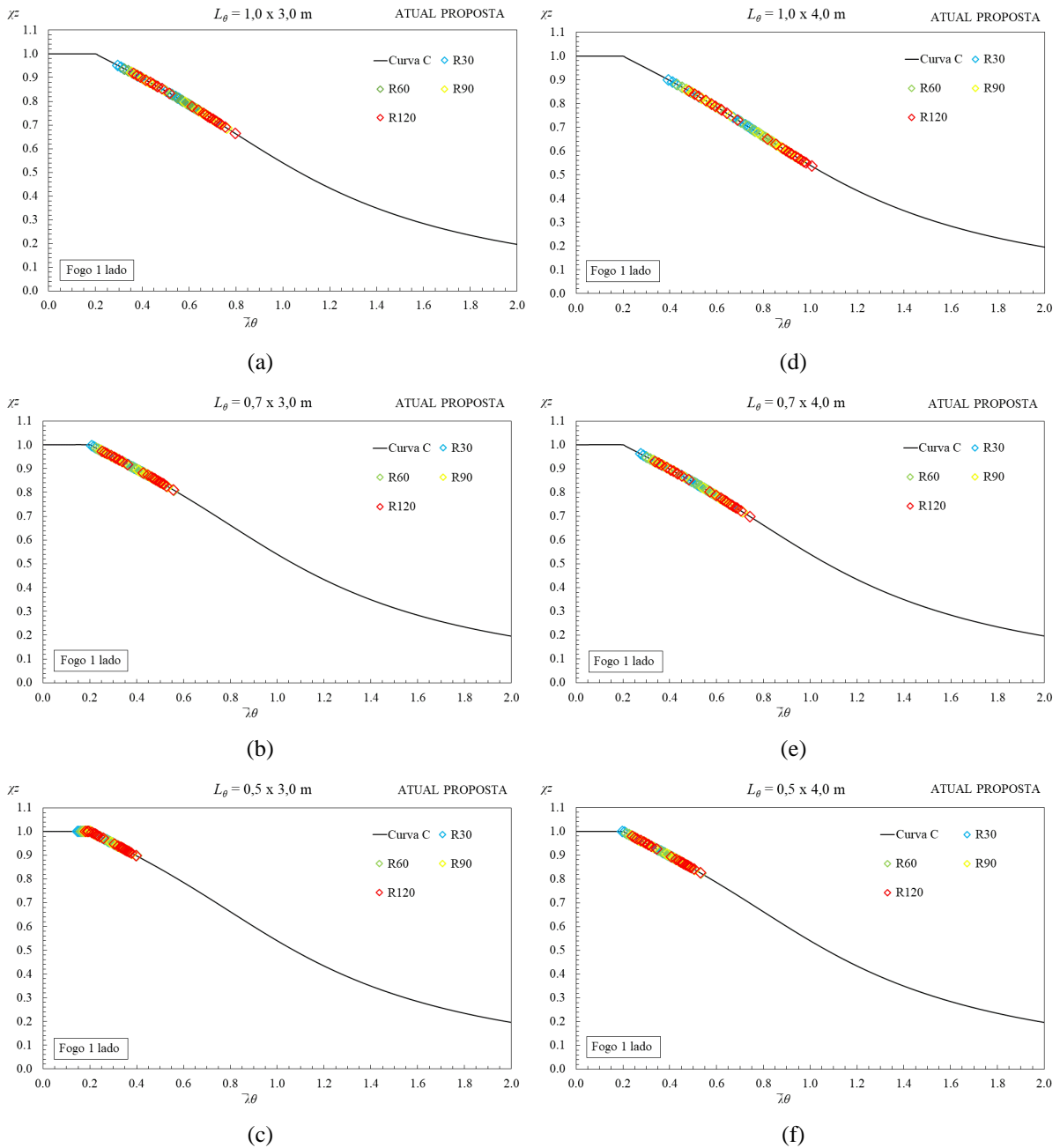


Figura 45 - Curva de flambagem para os comprimentos $L=3\text{m}$ (a, b, c) e $L=4\text{ m}$ (d, e, f) para os três comprimentos de flambagem, no cenário fogo de um lado, segundo a Atual Proposta.

Os resultados para a resistência à flambagem obtidos apontam o aumento da resistência com a redução do comprimento de flambagem, ou redução da esbeltez adimensional. Valores seguros de resistência à flambagem para os pilares são apontados pelo valor do fator de redução (χ_z) obtido.

CÁPITULO 9– CONCLUSÕES

O método simplificado de cálculo presente no EN 1994-1-2 para o cálculo da resistência ao fogo de pilares parcialmente revestidos, apresenta resultados inseguros em relação aos valores obtidos através do método avançado de cálculo. Além de não considerar a configuração estudada para perfil parcialmente revestido embebido em parede com fogo de um único lado.

O método simplificado de cálculo, Eurocódigo 4 parte 1-2, apresentou resultados seguros para o tempo de resistência ao fogo de 30 minutos (R30). No entanto, para os maiores tempos de resistência ao fogo analisados (R60, R90e R120) o método mostrou-se inseguro para os maiores valores de fator de massividade, nas três séries de perfil estudadas.

O aprimoramento do método simplificado de cálculo proposto por B F. Alfredo para os perfil HEB, UC e HD apresentou bons resultados para o cálculo da resistência de colunas parcialmente revestidas, no cenário de incêndio fogo 4 lados para os perfis HEA, UC e HD, respectivamente. No entanto, os parâmetros determinados pelo autor para o cálculo da resistência da componente do reforço não foram satisfatórios para os valores obtidos nas simulações numéricas dos perfis estudados.

Uma nova equação para o cálculo da resistência da componente do reforço foi determinada como aprimoramento da proposta existente, acrescentando uma componente dependente do fator u (fator geométrico do cobrimento de concreto).

Como sugestões para trabalhos futuros, sugere-se simulações de novas séries de perfis com maior variação do fator u da componente do reforço, a fim de determinar parâmetros para uma maior variedade de configuração da seção e verificar a influência do cobrimento na resistência à altas temperaturas.

Também incentiva-se a realização de simulações numéricas tridimensionais para a verificação da resistência à flambagem das colunas com as séries de perfis analisadas neste trabalho, para que seja possível a determinação da curva de flambagem mais adequada, assim como a realização de testes experimentais para validar os resultados.

REFERÊNCIAS

- [1] CEN - EN 1994-1-2, *Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design*. Brussels, 2005, p. 109.
- [2] ISO834-1, "Fire-resistance tests - Elements of building construction - Part 1: General requirements." Switzerland, p. 25, 1999.
- [3] B. F. Alfredo, "Colunas Mistas Parcialmente Revestidas: Efeito da Resistência e Rigidez na Resistência à Flambagem sob Ação do Fogo," Instituto Politécnico de Bragança, 2018.
- [4] ISO 834-1, *Fire-resistance tests - Elements of building construction - Part 1: General requirements*, vol. 1999. Switzerland, 1999, p. 25.
- [5] G. M. E. Cooke and P. B. E. Morgan, "Thermal bowing in fire and how it affects building design," *BRE Inf. Pap.*, 1988.
- [6] K. Kordina, "Behaviour of Composite Columns and Girders in Fire," *Fire Saf. Sci.*, pp. 681–695, 1989.
- [7] I. W. Burgess, A. O. Olawale, and R. J. Plank, "Failure of Steel Columns in Fire," *Fire Saf. J.*, vol. 18, pp. 183–201, 1992.
- [8] L. H. Han, Y. F. Yang, H. Yang, and J. S. Huo, "Residual strength of concrete-filled RHS columns after exposure to the ISO-834 standard fire," *Thin-Walled Struct.*, vol. 40, no. 12, pp. 991–1012, 2002.
- [9] É. F. A. Kimura, J. M. Neto, and V. P. Silva, "Análise numérica de pilares de aço em situação de incêndio considerando os efeitos da compartimentação em ambiente em chamas," *Minerva*, vol. 6, no. 2, pp. 127–137, 2006.
- [10] M. E. M. Garlock and S. E. Quiel, "Mechanics of wide-flanged steel sections that develop thermal gradients due to fire exposure," *Int. J. Steel Struct.*, vol. 7, no. July, pp. 153–162, 2007.
- [11] R. Regobello, "Análise numérica de seções transversais e de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto em situação de incêndio," Universidade de São Paulo, 2007.
- [12] A. M. Correia, J. P. C. Rodrigues, V. P. Silva, and L. Laim, "Section factor and steel columns embedded in walls," in *Proceedings of 11th Nordic Steel Construction Conference*, 2009, no. January.
- [13] A. J. P. Moura Correia and J. P. C. Rodrigues, "Fire resistance of partially encased steel

- columns with restrained thermal elongation," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 67, no. 4, pp. 593–601, 2011.
- [14] X. Mao and V. K. R. Kodur, "Fire resistance of concrete encased steel columns under 3- and 4-side standard heating," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 67, no. 3, pp. 270–280, 2011.
- [15] M. M. S. Dwaikat, V. K. R. Kodur, S. E. Quiel, and M. E. M. Garlock, "Experimental behavior of steel beam-columns subjected to fire-induced thermal gradients," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 67, no. 1, pp. 30–38, 2011.
- [16] P. A. G. Piloto, A. B. R. Gavilán, M. Zipponi, A. Marini, L. M. R. Mesquita, and G. Plizzari, "Experimental investigation of the fire resistance of partially encased beams," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 80, pp. 121–137, 2013.
- [17] S. Arezki and I. Said, "Practical fire design of partially encased composite steel-concrete columns according to Eurocode 4," *EDP Sci.*, vol. 9, p. 8, 2014.
- [18] A. Agarwal, L. Choe, and A. H. Varma, "Fire design of steel columns : Effects of thermal gradients," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 93, pp. 107–118, 2014.
- [19] A. J. P. Moura Correia, J. P. C. Rodrigues, and P. V. Real, "Thermal bowing on steel columns embedded on walls under fire conditions," *Fire Saf. J.*, vol. 67, pp. 53–69, 2014.
- [20] M. Milanovic, M. Cvetkovska, and P. Knezevic, "Load-bearing capacity of fire exposed composite columns," vol. 67, no. 2015, pp. 1187–1197, 2016.
- [21] A. Piquer, "Protected steel columns vs partially encased columns : Fire resistance and economic considerations," *JCSR*, vol. 124, pp. 47–56, 2016.
- [22] A. Fellouh, "Axial buckling load of partially encased columns under fire," 2016.
- [23] P. C. R. Lopes, "Proposta de Novas Expressões para o Cálculo do Fator de Massividade para Elementos Estruturais de Aço em Contacto com Paredes," Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, 2016.
- [24] F. M. Rocha, J. Paulo, C. Rodrigues, and J. Munaiar, "Fire behavior of steel and partially encased composite columns embedded on walls," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 149, pp. 105–118, 2018.
- [25] CEN - EN 1991-1-2, *Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-2: General actions - Actions on structures exposed to fire*, no. september. Brussels, 2005, p. 149.
- [26] C. N. Costa and V. P. Silva, "Revisão histórica das curvas padronizadas de incêndio," *Nutau*, no. 2, 2006.
- [27] CEN - EN 1994-1-1, *Design of composite steel and concrete structures – Part 1-1: General*

- rules and rules for buildings*. Brussels, 2004, p. 118.
- [28] ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, *NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto em edifícios*. Rio de Janeiro, 2008.
- [29] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, *ABNT NBR 14323 - Dimensionamento de estruturas de aço e de estruturas mistas aço-concreto de edifícios em situação de incêndio*. Brasil, 2013, p. 89.
- [30] M. Korzen, J. P. C. Rodrigues, and A. M. Correia, "Composite columns made of partially encased steel sections subjected to fire," *6th Int. Conf. Struct. Fire*, no. April, pp. 341–348, 2010.
- [31] CEN - EN 1993-1-2, *Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-2: General rules - Structural Fire Design*. Brussels, 2003, pp. 1–20.
- [32] CEN - EN 1996-1-2, *Eurocode 6 - Design of masonry structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design*, vol. 54, no. 2. Brussels, 2005, p. 83.
- [33] ANSYS®, "Academic Research Mechanical APDL." Release 18.2.
- [34] L. J. Calió, "Pilares Mistos Parcialmente Revestidos: Resistência E Rigidez Em Situação De Incêndio," 2017.

Esta página foi deixada intencionalmente em branco.

ANEXO I

SEÇÃO TRANSVERSAL AO FOGO

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

1. MÉTODO AVANÇADO DE CÁLCULO: Eurocódigo 4 parte 1-2 – ANEXO G

1.1. Banzo do Perfil Metálico

Tabela 34 - Temperatura média do banzo - EN 1994-1-2.

Perfil	$\theta_{f,t}$ [°C] Temperatura média do banzo			
	R30	R60	R90	R120
HEA 240	714.3	842.6	909.7	979.2
HEA 280	690.4	819.0	894.5	967.7
HEA 320	676.6	805.3	885.7	961.0
HEA 360	669.5	798.2	881.1	957.6
HEA 450	658.2	787.1	874.0	952.1
HEA 500	653.7	782.6	871.1	950.0
HEA 600	647.0	776.0	866.8	946.8
HEA 700	642.3	771.3	863.8	944.5
HEA 800	638.8	767.8	861.6	942.8
HEA 1000	633.8	763.0	858.4	940.4
UC 254 x 254 x 73	701.8	830.2	901.7	973.1
UC 254 x 254 x 167	689.5	818.1	893.9	967.2
UC 305 x 305 x 97	675.9	804.6	885.2	960.7
UC 305 x 305 x 158	671.0	799.8	882.1	958.3
UC 305 x 305 x 313	661.0	789.8	875.7	953.5
UC 356 x 368 x 202	653.0	782.0	870.7	949.6
UC 356 x 406 x 340	645.4	774.4	865.8	946.0
UC 356 x 406 x 592	637.3	766.4	860.7	942.1
UC 356 x 406 x 744	633.4	762.6	858.2	940.2
UC 356 x 406 x 1086	626.4	755.6	853.7	936.8
HD 260 x 93,0	698.5	826.9	899.6	971.5
HD 260 x 172	688.6	817.1	893.3	966.8
HD 320 x 74,2	678.5	807.1	886.9	961.9
HD 320 x 198	669.3	798.1	881.1	957.5
HD 320 x 300	663.1	792.0	877.1	954.5
HD 400 x 237	649.7	778.6	868.5	948.0
HD 400 x 347	645.2	774.2	865.7	945.9
HD 400 x 509	639.7	768.7	862.1	943.2
HD 400 x 900	630.0	759.2	856.0	938.6
HD 400 x 1299	622.7	752.0	851.3	935.0

Tabela 35 - Coeficientes de redução para tensão de escoamento e módulo de elasticidade.

Perfil	$k_{y,\theta}$				$k_{E,\theta}$			
	R30	R60	R90	R120	R30	R60	R90	R120
HEA 240	0.2128	0.0887	0.0581	0.0442	0.1243	0.0804	0.0653	0.0497
HEA 280	0.2530	0.1005	0.0628	0.0465	0.1473	0.0857	0.0687	0.0523
HEA 320	0.2862	0.1074	0.0672	0.0478	0.1721	0.0888	0.0707	0.0538

HEA 360	0.3033	0.1121	0.0694	0.0485	0.1849	0.0907	0.0717	0.0545
HEA 450	0.3303	0.1255	0.0730	0.0496	0.2052	0.0952	0.0734	0.0558
HEA 500	0.3411	0.1255	0.0744	0.0500	0.2133	0.0969	0.0740	0.0563
HEA 600	0.3571	0.1255	0.0766	0.0506	0.2253	0.0996	0.0750	0.0570
HEA 700	0.3685	0.1255	0.0781	0.0511	0.2339	0.1015	0.0756	0.0575
HEA 800	0.3770	0.1255	0.0792	0.0514	0.2402	0.1029	0.0761	0.0579
HEA 1000	0.3888	0.1255	0.0808	0.0519	0.2491	0.1048	0.0769	0.0584
UC 254 x 254 x 73	0.2279	0.1255	0.0597	0.0454	0.1293	0.0832	0.0671	0.0510
UC 254 x 254 x 167	0.2551	0.1255	0.0630	0.0466	0.1488	0.0859	0.0689	0.0524
UC 305 x 305 x 97	0.2878	0.1255	0.0674	0.0479	0.1734	0.0890	0.0708	0.0539
UC 305 x 305 x 158	0.2995	0.1255	0.0689	0.0483	0.1822	0.0901	0.0715	0.0544
UC 305 x 305 x 313	0.3236	0.1255	0.0721	0.0493	0.2002	0.0941	0.0730	0.0555
UC 356 x 368 x 202	0.3427	0.1255	0.0747	0.0501	0.2145	0.0972	0.0741	0.0563
UC 356 x 406 x 340	0.3611	0.1255	0.0771	0.0508	0.2283	0.1002	0.0752	0.0572
UC 356 x 406 x 592	0.3804	0.1255	0.0797	0.0516	0.2428	0.1034	0.0763	0.0580
UC 356 x 406 x 744	0.3898	0.1255	0.0809	0.0520	0.2498	0.1050	0.0769	0.0585
UC 356 x 406 x 1086	0.4066	0.1255	0.0831	0.0526	0.2624	0.1077	0.0779	0.0592
HD 260 x 93,0	0.2337	0.1255	0.0602	0.0457	0.1328	0.0839	0.0676	0.0514
HD 260 x 172	0.2574	0.1255	0.0633	0.0466	0.1506	0.0861	0.0690	0.0525
HD 320 x 74,2	0.2817	0.1255	0.0666	0.0476	0.1688	0.0884	0.0705	0.0536
HD 320 x 198	0.3036	0.1255	0.0695	0.0485	0.1852	0.0908	0.0718	0.0546
HD 320 x 300	0.3185	0.1255	0.0715	0.0491	0.1964	0.0932	0.0727	0.0552
HD 400 x 237	0.3508	0.1255	0.0757	0.0504	0.2206	0.0986	0.0746	0.0567
HD 400 x 347	0.3615	0.1255	0.0772	0.0508	0.2287	0.1003	0.0752	0.0572
HD 400 x 509	0.3748	0.1255	0.0789	0.0514	0.2386	0.1025	0.0760	0.0578
HD 400 x 900	0.3980	0.1255	0.0820	0.0523	0.2560	0.1063	0.0774	0.0588
HD 400 x 1299	0.4155	0.1255	0.0843	0.0530	0.2691	0.1092	0.0784	0.0596

Tabela 36 - Propriedades mecânicas do aço reduzidas a partir da temperatura média - EN 1994-1-2.

Perfil	f _{ay,f,t} [Pa]				E _{a,f,t} [Pa]			
	R30	R60	R90	R120	R30	R60	R90	R120
HEA 240	7.55E+07	3.15E+07	2.06E+07	1.57E+07	2.61E+10	1.69E+10	1.37E+10	1.04E+10
HEA 280	8.98E+07	3.57E+07	2.23E+07	1.65E+07	3.09E+10	1.80E+10	1.44E+10	1.10E+10
HEA 320	1.02E+08	3.81E+07	2.38E+07	1.70E+07	3.61E+10	1.87E+10	1.49E+10	1.13E+10
HEA 360	1.05E+08	3.87E+07	2.40E+07	1.67E+07	3.88E+10	1.90E+10	1.51E+10	1.15E+10
HEA 450	1.14E+08	4.33E+07	2.52E+07	1.71E+07	4.31E+10	2.00E+10	1.54E+10	1.17E+10
HEA 500	1.18E+08	4.51E+07	2.57E+07	1.73E+07	4.48E+10	2.04E+10	1.55E+10	1.18E+10
HEA 600	1.23E+08	4.79E+07	2.64E+07	1.75E+07	4.73E+10	2.09E+10	1.57E+10	1.20E+10
HEA 700	1.27E+08	4.98E+07	2.69E+07	1.76E+07	4.91E+10	2.13E+10	1.59E+10	1.21E+10
HEA 800	1.30E+08	5.13E+07	2.73E+07	1.77E+07	5.04E+10	2.16E+10	1.60E+10	1.22E+10
HEA 1000	1.34E+08	5.33E+07	2.79E+07	1.79E+07	5.23E+10	2.20E+10	1.61E+10	1.23E+10
UC 254 x 254 x 73	8.09E+07	3.37E+07	2.12E+07	1.61E+07	2.72E+10	1.75E+10	1.41E+10	1.07E+10
UC 254 x 254 x 167	8.80E+07	3.48E+07	2.17E+07	1.61E+07	3.13E+10	1.80E+10	1.45E+10	1.10E+10
UC 305 x 305 x 97	1.02E+08	3.82E+07	2.39E+07	1.70E+07	3.64E+10	1.87E+10	1.49E+10	1.13E+10

UC 305 x 305 x 158	1.03E+08	3.80E+07	2.38E+07	1.67E+07	3.83E+10	1.89E+10	1.50E+10	1.14E+10
UC 305 x 305 x 313	1.08E+08	4.09E+07	2.42E+07	1.65E+07	4.20E+10	1.98E+10	1.53E+10	1.16E+10
UC 356 x 368 x 202	1.18E+08	4.54E+07	2.58E+07	1.73E+07	4.51E+10	2.04E+10	1.56E+10	1.18E+10
UC 356 x 406 x 340	1.21E+08	4.71E+07	2.58E+07	1.70E+07	4.79E+10	2.11E+10	1.58E+10	1.20E+10
UC 356 x 406 x 592	1.24E+08	4.88E+07	2.59E+07	1.68E+07	5.10E+10	2.17E+10	1.60E+10	1.22E+10
UC 356 x 406 x 744	1.23E+08	4.88E+07	2.55E+07	1.64E+07	5.25E+10	2.20E+10	1.62E+10	1.23E+10
UC 356 x 406 x 1086	1.20E+08	4.82E+07	2.45E+07	1.55E+07	5.51E+10	2.26E+10	1.64E+10	1.24E+10
HD 260 x 93,0	8.06E+07	3.33E+07	2.08E+07	1.58E+07	2.79E+10	1.76E+10	1.42E+10	1.08E+10
HD 260 x 172	8.88E+07	3.50E+07	2.19E+07	1.61E+07	3.16E+10	1.81E+10	1.45E+10	1.10E+10
HD 320 x 74,2	1.00E+08	3.78E+07	2.36E+07	1.69E+07	3.54E+10	1.86E+10	1.48E+10	1.13E+10
HD 320 x 198	1.05E+08	3.87E+07	2.40E+07	1.67E+07	3.89E+10	1.91E+10	1.51E+10	1.15E+10
HD 320 x 300	1.07E+08	4.01E+07	2.39E+07	1.64E+07	4.12E+10	1.96E+10	1.53E+10	1.16E+10
HD 400 x 237	1.21E+08	4.68E+07	2.61E+07	1.74E+07	4.63E+10	2.07E+10	1.57E+10	1.19E+10
HD 400 x 347	1.21E+08	4.72E+07	2.59E+07	1.70E+07	4.80E+10	2.11E+10	1.58E+10	1.20E+10
HD 400 x 509	1.26E+08	4.94E+07	2.64E+07	1.72E+07	5.01E+10	2.15E+10	1.60E+10	1.21E+10
HD 400 x 900	1.17E+08	4.69E+07	2.42E+07	1.54E+07	5.38E+10	2.23E+10	1.63E+10	1.24E+10
HD 400 x 1299	1.23E+08	4.95E+07	2.49E+07	1.56E+07	5.65E+10	2.29E+10	1.65E+10	1.25E+10

Tabela 37 – Resistência à compressão axial dos banzos - EN 1994-1-2.

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	N fi,pl,rd,f [N]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	4.35E+05	1.81E+05	1.19E+05	9.03E+04
HEA 280	14.55	6.54E+05	2.60E+05	1.62E+05	1.20E+05
HEA 320	13.12	9.45E+05	3.54E+05	2.22E+05	1.58E+05
HEA 360	12.38	1.10E+06	4.06E+05	2.52E+05	1.76E+05
HEA 450	11.21	1.44E+06	5.46E+05	3.17E+05	2.15E+05
HEA 500	10.75	1.62E+06	6.23E+05	3.54E+05	2.38E+05
HEA 600	10.06	1.85E+06	7.18E+05	3.96E+05	2.62E+05
HEA 700	9.57	2.06E+06	8.07E+05	4.36E+05	2.86E+05
HEA 800	9.20	2.18E+06	8.61E+05	4.59E+05	2.98E+05
HEA 1000	8.69	2.09E+06	8.31E+05	4.35E+05	2.79E+05
UC 254 x 254 x 73	15.73	5.85E+05	2.44E+05	1.53E+05	1.16E+05
UC 254 x 254 x 167	14.46	1.48E+06	5.86E+05	3.66E+05	2.70E+05
UC 305 x 305 x 97	13.05	9.61E+05	3.60E+05	2.25E+05	1.60E+05
UC 305 x 305 x 158	12.54	1.61E+06	5.92E+05	3.70E+05	2.59E+05
UC 305 x 305 x 313	11.50	3.40E+06	1.29E+06	7.59E+05	5.19E+05
UC 356 x 368 x 202	10.68	2.39E+06	9.19E+05	5.21E+05	3.50E+05
UC 356 x 406 x 340	9.88	4.18E+06	1.63E+06	8.93E+05	5.89E+05
UC 356 x 406 x 592	9.05	7.53E+06	2.97E+06	1.58E+06	1.02E+06
UC 356 x 406 x 744	8.65	9.43E+06	3.75E+06	1.96E+06	1.26E+06
UC 356 x 406 x 1086	7.92	1.36E+07	5.47E+06	2.78E+06	1.76E+06
HD 260 x 93,0	15.38	7.34E+05	3.03E+05	1.89E+05	1.43E+05
HD 260 x 172	14.36	1.55E+06	6.10E+05	3.81E+05	2.80E+05
HD 320 x 74,2	13.31	6.60E+05	2.49E+05	1.56E+05	1.12E+05

HD 320 x 198	12.37	2.05E+06	7.59E+05	4.69E+05	3.28E+05
HD 320 x 300	11.72	3.21E+06	1.20E+06	7.19E+05	4.94E+05
HD 400 x 237	10.33	2.89E+06	1.12E+06	6.23E+05	4.15E+05
HD 400 x 347	9.86	4.28E+06	1.67E+06	9.13E+05	6.01E+05
HD 400 x 509	9.29	6.55E+06	2.58E+06	1.38E+06	8.98E+05
HD 400 x 900	8.29	1.10E+07	4.39E+06	2.27E+06	1.45E+06
HD 400 x 1299	7.54	1.63E+07	6.59E+06	3.32E+06	2.08E+06

Tabela 38 - Rigidez à flexão dos banzos - EN 1994-1-2.

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	(EI) fi,f,z [Nm ²]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	7.22E+05	4.67E+05	3.79E+05	2.88E+05
HEA 280	14.55	1.47E+06	8.56E+05	6.87E+05	5.22E+05
HEA 320	13.12	2.52E+06	1.30E+06	1.04E+06	7.88E+05
HEA 360	12.38	3.06E+06	1.50E+06	1.19E+06	9.02E+05
HEA 450	11.21	4.07E+06	1.89E+06	1.46E+06	1.11E+06
HEA 500	10.75	4.64E+06	2.11E+06	1.61E+06	1.22E+06
HEA 600	10.06	5.32E+06	2.35E+06	1.77E+06	1.35E+06
HEA 700	9.57	5.97E+06	2.59E+06	1.93E+06	1.47E+06
HEA 800	9.20	6.36E+06	2.72E+06	2.01E+06	1.53E+06
HEA 1000	8.69	6.12E+06	2.58E+06	1.89E+06	1.44E+06
UC 254 x 254 x 73	15.73	1.06E+06	6.82E+05	5.50E+05	4.19E+05
UC 254 x 254 x 167	14.46	3.08E+06	1.78E+06	1.43E+06	1.08E+06
UC 305 x 305 x 97	13.05	2.66E+06	1.36E+06	1.09E+06	8.26E+05
UC 305 x 305 x 158	12.54	4.80E+06	2.38E+06	1.89E+06	1.43E+06
UC 305 x 305 x 313	11.50	1.16E+07	5.46E+06	4.23E+06	3.22E+06
UC 356 x 368 x 202	10.68	1.07E+07	4.83E+06	3.68E+06	2.80E+06
UC 356 x 406 x 340	9.88	2.24E+07	9.85E+06	7.39E+06	5.62E+06
UC 356 x 406 x 592	9.05	4.58E+07	1.95E+07	1.44E+07	1.10E+07
UC 356 x 406 x 744	8.65	6.27E+07	2.63E+07	1.93E+07	1.47E+07
UC 356 x 406 x 1086	7.92	1.07E+08	4.41E+07	3.19E+07	2.42E+07
HD 260 x 93,0	15.38	1.43E+06	9.04E+05	7.28E+05	5.53E+05
HD 260 x 172	14.36	3.30E+06	1.89E+06	1.51E+06	1.15E+06
HD 320 x 74,2	13.31	1.75E+06	9.19E+05	7.32E+05	5.57E+05
HD 320 x 198	12.37	5.94E+06	2.91E+06	2.30E+06	1.75E+06
HD 320 x 300	11.72	1.01E+07	4.80E+06	3.74E+06	2.85E+06
HD 400 x 237	10.33	1.44E+07	6.42E+06	4.86E+06	3.69E+06
HD 400 x 347	9.86	2.31E+07	1.01E+07	7.59E+06	5.77E+06
HD 400 x 509	9.29	3.77E+07	1.62E+07	1.20E+07	9.13E+06
HD 400 x 900	8.29	8.20E+07	3.41E+07	2.48E+07	1.88E+07
HD 400 x 1299	7.54	1.42E+08	5.77E+07	4.15E+07	3.15E+07

1.2. Alma do Perfil Metálico

Tabela 39 - Redução da altura da alma.

Perfil	h w,fi [mm] Redução da Alma			
	R30	R60	R90	R120
HEA 240	13.4	32.8	53.1	65.8
HEA 280	13.4	32.0	50.0	59.9
HEA 320	13.2	31.2	47.8	56.4
HEA 360	13.1	30.7	46.4	54.4
HEA 450	13.1	30.1	44.9	52.0
HEA 500	13.1	29.9	44.3	51.2
HEA 600	13.1	29.8	43.8	50.5
HEA 700	13.2	29.8	43.5	50.0
HEA 800	13.2	29.8	43.5	49.8
HEA 1000	13.5	30.2	43.7	50.0
UC 254 x 254 x 73	13.2	31.9	50.3	60.8
UC 254 x 254 x 167	11.5	27.4	42.3	50.2
UC 305 x 305 x 97	13.2	31.2	47.9	56.5
UC 305 x 305 x 158	12.4	29.2	44.4	52.2
UC 305 x 305 x 313	10.8	25.1	37.8	44.1
UC 356 x 368 x 202	12.5	29.0	43.6	50.9
UC 356 x 406 x 340	11.5	26.5	39.6	46.1
UC 356 x 406 x 592	10.0	22.9	33.9	39.3
UC 356 x 406 x 744	9.3	21.2	31.4	36.3
UC 356 x 406 x 1086	8.1	18.3	26.9	31.1
HD 260 x 93,0	12.8	30.9	48.6	58.5
HD 260 x 172	11.4	27.2	42.0	49.8
HD 320 x 74,2	13.6	32.3	49.6	58.7
HD 320 x 198	11.9	27.8	42.2	49.4
HD 320 x 300	10.8	25.2	37.9	44.2
HD 400 x 237	12.2	28.4	42.7	49.8
HD 400 x 347	11.4	26.4	39.4	45.8
HD 400 x 509	10.4	23.9	35.6	41.2
HD 400 x 900	8.6	19.7	29.1	33.6
HD 400 x 1299	7.6	17.4	25.5	29.4

Tabela 40 - Coeficiente de redução para tensão de escoamento.

Perfil	f ay,w,t [Pa]			
	R30	R60	R90	R120
HEA 240	3.09E+08	2.42E+08	1.72E+08	1.28E+08
HEA 280	3.16E+08	2.62E+08	2.09E+08	1.81E+08
HEA 320	3.21E+08	2.76E+08	2.33E+08	2.11E+08
HEA 360	3.16E+08	2.78E+08	2.43E+08	2.26E+08
HEA 450	3.22E+08	2.93E+08	2.67E+08	2.55E+08
HEA 500	3.25E+08	2.98E+08	2.76E+08	2.65E+08

HEA 600	3.28E+08	3.07E+08	2.89E+08	2.80E+08
HEA 700	3.31E+08	3.13E+08	2.98E+08	2.91E+08
HEA 800	3.33E+08	3.17E+08	3.04E+08	2.98E+08
HEA 1000	3.35E+08	3.23E+08	3.13E+08	3.08E+08
UC 254 x 254 x 73	3.13E+08	2.55E+08	1.97E+08	1.64E+08
UC 254 x 254 x 167	3.10E+08	2.61E+08	2.16E+08	1.92E+08
UC 305 x 305 x 97	3.21E+08	2.75E+08	2.32E+08	2.10E+08
UC 305 x 305 x 158	3.14E+08	2.72E+08	2.34E+08	2.15E+08
UC 305 x 305 x 313	3.09E+08	2.74E+08	2.44E+08	2.28E+08
UC 356 x 368 x 202	3.18E+08	2.83E+08	2.51E+08	2.36E+08
UC 356 x 406 x 340	3.11E+08	2.80E+08	2.52E+08	2.39E+08
UC 356 x 406 x 592	3.05E+08	2.79E+08	2.56E+08	2.45E+08
UC 356 x 406 x 744	2.97E+08	2.73E+08	2.53E+08	2.44E+08
UC 356 x 406 x 1086	2.80E+08	2.61E+08	2.45E+08	2.38E+08
HD 260 x 93,0	3.06E+08	2.50E+08	1.96E+08	1.66E+08
HD 260 x 172	3.10E+08	2.62E+08	2.16E+08	1.92E+08
HD 320 x 74,2	3.20E+08	2.73E+08	2.29E+08	2.06E+08
HD 320 x 198	3.16E+08	2.76E+08	2.41E+08	2.23E+08
HD 320 x 300	3.09E+08	2.75E+08	2.44E+08	2.29E+08
HD 400 x 237	3.19E+08	2.84E+08	2.53E+08	2.37E+08
HD 400 x 347	3.11E+08	2.80E+08	2.52E+08	2.39E+08
HD 400 x 509	3.13E+08	2.85E+08	2.61E+08	2.49E+08
HD 400 x 900	2.79E+08	2.59E+08	2.41E+08	2.33E+08
HD 400 x 1299	2.81E+08	2.63E+08	2.48E+08	2.41E+08

Tabela 41 - Resistência à compressão axial da alma - EN 1994-1-2.

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	N f _{i,pl,rd,w} [N]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	4.15E+05	2.55E+05	1.29E+05	7.15E+04
HEA 280	14.55	5.49E+05	3.77E+05	2.41E+05	1.80E+05
HEA 320	13.12	7.30E+05	5.37E+05	3.85E+05	3.16E+05
HEA 360	12.38	9.13E+05	7.04E+05	5.40E+05	4.66E+05
HEA 450	11.21	1.38E+06	1.14E+06	9.47E+05	8.61E+05
HEA 500	10.75	1.63E+06	1.38E+06	1.18E+06	1.09E+06
HEA 600	10.06	2.19E+06	1.92E+06	1.70E+06	1.60E+06
HEA 700	9.57	2.92E+06	2.61E+06	2.37E+06	2.26E+06
HEA 800	9.20	3.53E+06	3.21E+06	2.95E+06	2.84E+06
HEA 1000	8.69	5.04E+06	4.68E+06	4.39E+06	4.26E+06
UC 254 x 254 x 73	15.73	5.37E+05	3.55E+05	2.12E+05	1.47E+05
UC 254 x 254 x 167	14.46	1.21E+06	8.58E+05	5.85E+05	4.61E+05
UC 305 x 305 x 97	13.05	7.97E+05	5.84E+05	4.17E+05	3.41E+05
UC 305 x 305 x 158	12.54	1.25E+06	9.42E+05	6.98E+05	5.87E+05
UC 305 x 305 x 313	11.50	2.37E+06	1.87E+06	1.48E+06	1.30E+06
UC 356 x 368 x 202	10.68	1.55E+06	1.22E+06	9.68E+05	8.51E+05
UC 356 x 406 x 340	9.88	2.46E+06	1.99E+06	1.62E+06	1.45E+06
UC 356 x 406 x 592	9.05	4.12E+06	3.44E+06	2.91E+06	2.67E+06

UC 356 x 406 x 744	8.65	4.98E+06	4.22E+06	3.63E+06	3.36E+06
UC 356 x 406 x 1086	7.92	6.62E+06	5.75E+06	5.07E+06	4.76E+06
HD 260 x 93,0	15.38	6.09E+05	4.08E+05	2.51E+05	1.79E+05
HD 260 x 172	14.36	1.13E+06	8.04E+05	5.49E+05	4.34E+05
HD 320 x 74,2	13.31	6.45E+05	4.68E+05	3.29E+05	2.66E+05
HD 320 x 198	12.37	1.45E+06	1.11E+06	8.44E+05	7.22E+05
HD 320 x 300	11.72	2.15E+06	1.69E+06	1.34E+06	1.18E+06
HD 400 x 237	10.33	1.78E+06	1.41E+06	1.12E+06	9.87E+05
HD 400 x 347	9.86	2.51E+06	2.03E+06	1.65E+06	1.48E+06
HD 400 x 509	9.29	3.67E+06	3.04E+06	2.54E+06	2.32E+06
HD 400 x 900	8.29	5.55E+06	4.76E+06	4.15E+06	3.87E+06
HD 400 x 1299	7.54	8.56E+06	7.50E+06	6.67E+06	6.29E+06

Tabela 42 - Rigidez à flexão da alma - EN 1994-1-2.

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	(EI) _{fi,w,z} [Nm ²]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	1.32E+03	1.04E+03	7.37E+02	5.49E+02
HEA 280	14.55	1.95E+03	1.61E+03	1.29E+03	1.11E+03
HEA 320	13.12	3.22E+03	2.76E+03	2.34E+03	2.12E+03
HEA 360	12.38	5.05E+03	4.44E+03	3.89E+03	3.61E+03
HEA 450	11.21	9.90E+03	8.99E+03	8.21E+03	7.82E+03
HEA 500	10.75	1.26E+04	1.16E+04	1.07E+04	1.03E+04
HEA 600	10.06	1.98E+04	1.85E+04	1.74E+04	1.69E+04
HEA 700	9.57	3.25E+04	3.08E+04	2.93E+04	2.86E+04
HEA 800	9.20	4.18E+04	3.98E+04	3.82E+04	3.75E+04
HEA 1000	8.69	7.16E+04	6.90E+04	6.69E+04	6.59E+04
UC 254 x 254 x 73	15.73	2.22E+03	1.80E+03	1.39E+03	1.16E+03
UC 254 x 254 x 167	14.46	2.51E+04	2.12E+04	1.75E+04	1.55E+04
UC 305 x 305 x 97	13.05	4.26E+03	3.64E+03	3.08E+03	2.79E+03
UC 305 x 305 x 158	12.54	1.74E+04	1.51E+04	1.30E+04	1.19E+04
UC 305 x 305 x 313	11.50	1.21E+05	1.07E+05	9.54E+04	8.94E+04
UC 356 x 368 x 202	10.68	2.32E+04	2.06E+04	1.84E+04	1.72E+04
UC 356 x 406 x 340	9.88	9.81E+04	8.81E+04	7.95E+04	7.53E+04
UC 356 x 406 x 592	9.05	4.79E+05	4.38E+05	4.03E+05	3.86E+05
UC 356 x 406 x 744	8.65	9.07E+05	8.36E+05	7.74E+05	7.45E+05
UC 356 x 406 x 1086	7.92	2.52E+06	2.34E+06	2.20E+06	2.13E+06
HD 260 x 93,0	15.38	3.49E+03	2.86E+03	2.24E+03	1.89E+03
HD 260 x 172	14.36	2.06E+04	1.74E+04	1.44E+04	1.28E+04
HD 320 x 74,2	13.31	2.26E+03	1.92E+03	1.61E+03	1.45E+03
HD 320 x 198	12.37	2.60E+04	2.28E+04	1.99E+04	1.84E+04
HD 320 x 300	11.72	8.86E+04	7.87E+04	7.00E+04	6.57E+04
HD 400 x 237	10.33	3.49E+04	3.10E+04	2.77E+04	2.60E+04
HD 400 x 347	9.86	1.05E+05	9.40E+04	8.48E+04	8.03E+04
HD 400 x 509	9.29	3.14E+05	2.85E+05	2.61E+05	2.49E+05
HD 400 x 900	8.29	1.51E+06	1.40E+06	1.31E+06	1.26E+06
HD 400 x 1299	7.54	5.33E+06	4.99E+06	4.71E+06	4.57E+06

1.3. Concreto

Tabela 43- Redução da espessura do concreto EN 1994-1-2.

Perfil	b c,fi [mm] Redução do concreto			
	R30	R60	R90	R120
HEA 240	4.0	15.0	31.0	58.1
HEA 280	4.0	15.0	29.8	53.1
HEA 320	4.0	15.0	29.1	50.2
HEA 360	4.0	15.0	28.7	48.8
HEA 450	4.0	15.0	28.1	46.4
HEA 500	4.0	15.0	27.9	45.5
HEA 600	4.0	15.0	27.5	44.1
HEA 700	4.0	15.0	27.3	43.1
HEA 800	4.0	15.0	27.1	42.4
HEA 1000	4.0	15.0	26.8	41.4
UC 254 x 254 x 73	4.0	15.0	30.4	55.5
UC 254 x 254 x 167	4.0	15.0	29.7	52.9
UC 305 x 305 x 97	4.0	15.0	29.0	50.1
UC 305 x 305 x 158	4.0	15.0	28.8	49.1
UC 305 x 305 x 313	4.0	15.0	28.3	47.0
UC 356 x 368 x 202	4.0	15.0	27.8	45.4
UC 356 x 406 x 340	4.0	15.0	27.4	43.8
UC 356 x 406 x 592	4.0	15.0	27.0	42.1
UC 356 x 406 x 744	4.0	15.0	26.8	41.3
UC 356 x 406 x 1086	4.0	15.0	26.5	39.8
HD 260 x 93,0	4.0	15.0	30.2	54.8
HD 260 x 172	4.0	15.0	29.7	52.7
HD 320 x 74,2	4.0	15.0	29.2	50.6
HD 320 x 198	4.0	15.0	28.7	48.7
HD 320 x 300	4.0	15.0	28.4	47.4
HD 400 x 237	4.0	15.0	27.7	44.7
HD 400 x 347	4.0	15.0	27.4	43.7
HD 400 x 509	4.0	15.0	27.1	42.6
HD 400 x 900	4.0	15.0	26.6	40.6
HD 400 x 1299	4.0	15.0	26.3	39.1

Tabela 44 - Temperatura média do concreto EN 1994-1-2.

Perfil	θ c,t [°C] Temperatura média			
	R30	R60	R90	R120
HEA 240	248.5	366.9	440.3	514.7
HEA 280	227.1	346.3	415.5	479.3
HEA 320	214.7	334.3	401.2	458.8
HEA 360	208.3	328.2	391.2	448.3
HEA 450	198.3	318.4	374.5	431.6
HEA 500	194.2	314.6	367.8	425.0

HEA 600	188.3	308.8	357.9	415.1
HEA 700	184.0	304.7	350.9	408.1
HEA 800	180.9	301.7	345.7	402.8
HEA 1000	176.5	294.6	338.4	392.2
UC 254 x 254 x 73	237.2	356.1	427.3	496.1
UC 254 x 254 x 167	226.3	345.5	414.6	478.0
UC 305 x 305 x 97	214.1	333.7	400.5	457.8
UC 305 x 305 x 158	209.7	329.5	393.4	450.6
UC 305 x 305 x 313	200.7	320.8	378.6	435.7
UC 356 x 368 x 202	193.6	314.0	366.8	424.0
UC 356 x 406 x 340	186.8	307.4	355.5	412.6
UC 356 x 406 x 592	179.6	300.4	343.6	400.7
UC 356 x 406 x 744	176.1	293.9	337.8	391.1
UC 356 x 406 x 1086	169.8	281.4	327.4	373.0
HD 260 x 93,0	234.3	353.2	423.8	491.2
HD 260 x 172	225.4	344.7	413.6	476.6
HD 320 x 74,2	216.4	335.9	403.1	461.6
HD 320 x 198	208.2	328.1	391.0	448.1
HD 320 x 300	202.7	322.7	381.8	438.9
HD 400 x 237	190.6	311.1	361.8	418.9
HD 400 x 347	186.6	307.2	355.2	412.3
HD 400 x 509	181.7	302.4	347.0	404.2
HD 400 x 900	173.0	287.8	332.7	382.3
HD 400 x 1299	166.5	274.8	321.9	363.4

Tabela 45 - Módulo de elasticidade secante do concreto em função da temperatura EN 1994-1-2.

Perfil	E c,sec,θ [Pa]			
	R30	R60	R90	R120
HEA 240	2.90E+09	1.74E+09	1.15E+09	7.02E+08
HEA 280	3.13E+09	1.92E+09	1.35E+09	9.04E+08
HEA 320	3.27E+09	2.03E+09	1.49E+09	1.02E+09
HEA 360	3.35E+09	2.10E+09	1.56E+09	1.09E+09
HEA 450	3.47E+09	2.20E+09	1.68E+09	1.21E+09
HEA 500	3.52E+09	2.25E+09	1.73E+09	1.27E+09
HEA 600	3.59E+09	2.32E+09	1.81E+09	1.35E+09
HEA 700	3.64E+09	2.37E+09	1.87E+09	1.42E+09
HEA 800	3.68E+09	2.41E+09	1.92E+09	1.47E+09
HEA 1000	3.74E+09	2.47E+09	1.99E+09	1.55E+09
UC 254 x 254 x 73	3.01E+09	1.83E+09	1.25E+09	8.18E+08
UC 254 x 254 x 167	3.13E+09	1.92E+09	1.36E+09	9.11E+08
UC 305 x 305 x 97	3.28E+09	2.04E+09	1.50E+09	1.03E+09
UC 305 x 305 x 158	3.33E+09	2.08E+09	1.54E+09	1.08E+09
UC 305 x 305 x 313	3.44E+09	2.17E+09	1.65E+09	1.18E+09
UC 356 x 368 x 202	3.53E+09	2.25E+09	1.74E+09	1.28E+09
UC 356 x 406 x 340	3.61E+09	2.33E+09	1.83E+09	1.38E+09
UC 356 x 406 x 592	3.70E+09	2.42E+09	1.94E+09	1.49E+09

UC 356 x 406 x 744	3.74E+09	2.48E+09	2.00E+09	1.56E+09
UC 356 x 406 x 1086	3.82E+09	2.58E+09	2.10E+09	1.69E+09
HD 260 x 93,0	3.05E+09	1.85E+09	1.28E+09	8.42E+08
HD 260 x 172	3.14E+09	1.93E+09	1.37E+09	9.19E+08
HD 320 x 74,2	3.25E+09	2.02E+09	1.47E+09	1.01E+09
HD 320 x 198	3.35E+09	2.10E+09	1.56E+09	1.09E+09
HD 320 x 300	3.42E+09	2.15E+09	1.63E+09	1.16E+09
HD 400 x 237	3.56E+09	2.29E+09	1.78E+09	1.32E+09
HD 400 x 347	3.61E+09	2.34E+09	1.84E+09	1.38E+09
HD 400 x 509	3.67E+09	2.40E+09	1.91E+09	1.46E+09
HD 400 x 900	3.78E+09	2.53E+09	2.05E+09	1.62E+09
HD 400 x 1299	3.87E+09	2.64E+09	2.16E+09	1.77E+09

Tabela 46 - Resistência à compressão axial do concreto EN 1994-1-2.

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	N fi,pl,rd,c [N]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	6.70E+05	4.63E+05	2.76E+05	9.15E+04
HEA 280	14.55	9.58E+05	6.89E+05	4.65E+05	2.27E+05
HEA 320	13.12	1.20E+06	8.84E+05	6.37E+05	3.65E+05
HEA 360	12.38	1.35E+06	1.00E+06	7.40E+05	4.50E+05
HEA 450	11.21	1.74E+06	1.31E+06	1.02E+06	6.83E+05
HEA 500	10.75	1.95E+06	1.49E+06	1.17E+06	8.13E+05
HEA 600	10.06	2.39E+06	1.85E+06	1.49E+06	1.08E+06
HEA 700	9.57	2.79E+06	2.18E+06	1.78E+06	1.33E+06
HEA 800	9.20	3.24E+06	2.55E+06	2.10E+06	1.60E+06
HEA 1000	8.69	4.16E+06	3.31E+06	2.77E+06	2.17E+06
UC 254 x 254 x 73	15.73	7.83E+05	5.50E+05	3.49E+05	1.41E+05
UC 254 x 254 x 167	14.46	7.92E+05	5.58E+05	3.64E+05	1.62E+05
UC 305 x 305 x 97	13.05	1.21E+06	8.93E+05	6.45E+05	3.72E+05
UC 305 x 305 x 158	12.54	1.22E+06	8.98E+05	6.54E+05	3.86E+05
UC 305 x 305 x 313	11.50	1.23E+06	9.07E+05	6.73E+05	4.18E+05
UC 356 x 368 x 202	10.68	1.74E+06	1.33E+06	1.04E+06	7.16E+05
UC 356 x 406 x 340	9.88	1.84E+06	1.41E+06	1.12E+06	8.06E+05
UC 356 x 406 x 592	9.05	1.85E+06	1.42E+06	1.14E+06	8.46E+05
UC 356 x 406 x 744	8.65	1.85E+06	1.43E+06	1.16E+06	8.69E+05
UC 356 x 406 x 1086	7.92	1.85E+06	1.45E+06	1.17E+06	9.05E+05
HD 260 x 93,0	15.38	7.96E+05	5.61E+05	3.59E+05	1.50E+05
HD 260 x 172	14.36	8.04E+05	5.67E+05	3.72E+05	1.67E+05
HD 320 x 74,2	13.31	1.20E+06	8.86E+05	6.36E+05	3.61E+05
HD 320 x 198	12.37	1.20E+06	8.80E+05	6.42E+05	3.80E+05
HD 320 x 300	11.72	1.20E+06	8.79E+05	6.47E+05	3.95E+05
HD 400 x 237	10.33	1.83E+06	1.40E+06	1.11E+06	7.80E+05
HD 400 x 347	9.86	1.84E+06	1.41E+06	1.12E+06	8.05E+05
HD 400 x 509	9.29	1.85E+06	1.42E+06	1.14E+06	8.37E+05
HD 400 x 900	8.29	1.84E+06	1.44E+06	1.16E+06	8.84E+05
HD 400 x 1299	7.54	1.86E+06	1.46E+06	1.19E+06	9.31E+05

Tabela 47 - Rigidez efetiva à flexão do concreto EN 1994-1-2.

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	(EI) fi,c,z [Nm ²]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	5.79E+05	2.25E+05	7.05E+04	5.65E+03
HEA 280	14.55	1.19E+06	5.03E+05	2.01E+05	4.00E+04
HEA 320	13.12	1.77E+06	7.90E+05	3.58E+05	1.01E+05
HEA 360	12.38	2.02E+06	9.12E+05	4.27E+05	1.29E+05
HEA 450	11.21	2.70E+06	1.26E+06	6.39E+05	2.35E+05
HEA 500	10.75	3.07E+06	1.45E+06	7.60E+05	2.99E+05
HEA 600	10.06	3.85E+06	1.86E+06	1.02E+06	4.40E+05
HEA 700	9.57	4.56E+06	2.23E+06	1.25E+06	5.62E+05
HEA 800	9.20	5.36E+06	2.66E+06	1.52E+06	7.18E+05
HEA 1000	8.69	7.02E+06	3.56E+06	2.09E+06	1.06E+06
UC 254 x 254 x 73	15.73	7.84E+05	3.16E+05	1.10E+05	1.36E+04
UC 254 x 254 x 167	14.46	9.25E+05	3.82E+05	1.45E+05	2.45E+04
UC 305 x 305 x 97	13.05	1.86E+06	8.33E+05	3.81E+05	1.10E+05
UC 305 x 305 x 158	12.54	2.01E+06	9.07E+05	4.27E+05	1.31E+05
UC 305 x 305 x 313	11.50	2.38E+06	1.10E+06	5.46E+05	1.93E+05
UC 356 x 368 x 202	10.68	4.32E+06	2.10E+06	1.14E+06	4.82E+05
UC 356 x 406 x 340	9.88	5.52E+06	2.76E+06	1.58E+06	7.36E+05
UC 356 x 406 x 592	9.05	6.46E+06	3.30E+06	1.96E+06	9.95E+05
UC 356 x 406 x 744	8.65	7.07E+06	3.66E+06	2.22E+06	1.17E+06
UC 356 x 406 x 1086	7.92	8.36E+06	4.45E+06	2.77E+06	1.58E+06
HD 260 x 93,0	15.38	8.43E+05	3.43E+05	1.23E+05	1.69E+04
HD 260 x 172	14.36	9.55E+05	3.96E+05	1.52E+05	2.65E+04
HD 320 x 74,2	13.31	1.76E+06	7.83E+05	3.52E+05	9.71E+04
HD 320 x 198	12.37	1.93E+06	8.70E+05	4.10E+05	1.27E+05
HD 320 x 300	11.72	2.11E+06	9.64E+05	4.70E+05	1.58E+05
HD 400 x 237	10.33	5.11E+06	2.52E+06	1.41E+06	6.30E+05
HD 400 x 347	9.86	5.55E+06	2.77E+06	1.59E+06	7.42E+05
HD 400 x 509	9.29	6.19E+06	3.14E+06	1.85E+06	9.16E+05
HD 400 x 900	8.29	7.63E+06	4.00E+06	2.46E+06	1.35E+06
HD 400 x 1299	7.54	9.77E+06	5.30E+06	3.37E+06	2.01E+06

1.4. Reforço

Tabela 48 - Fatores de redução para tensão de escoamento e módulo de elasticidade do aço EN 1994-1-2.

Perfil	u [mm]	k y,t				k E,θ			
		R30	R60	R90	R120	R30	R60	R90	R120
HEA 240	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173

HEA 280	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
HEA 320	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
HEA 360	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
HEA 450	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
HEA 500	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
HEA 600	54.8	1.000	0.999	0.690	0.363	0.913	0.727	0.517	0.230
HEA 700	54.8	1.000	0.999	0.690	0.363	0.913	0.727	0.517	0.230
HEA 800	54.8	1.000	0.999	0.690	0.363	0.913	0.727	0.517	0.230
HEA 1000	54.8	1.000	0.999	0.690	0.363	0.913	0.727	0.517	0.230
UC 254 x 254 x 73	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
UC 254 x 254 x 167	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
UC 305 x 305 x 97	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
UC 305 x 305 x 158	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
UC 305 x 305 x 313	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
UC 356 x 368 x 202	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
UC 356 x 406 x 340	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
UC 356 x 406 x 592	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
UC 356 x 406 x 744	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
UC 356 x 406 x 1086	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
HD 260 x 93,0	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
HD 260 x 172	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
HD 320 x 74,2	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
HD 320 x 198	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
HD 320 x 300	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
HD 400 x 237	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
HD 400 x 347	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
HD 400 x 509	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
HD 400 x 900	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173
HD 400 x 1299	50.0	1.000	0.976	0.572	0.288	0.888	0.689	0.406	0.173

Tabela 49 - Resistência à compressão axial do reforço EN 1994-1-2.

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	N fi,pl,rd,s [N]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	6.28E+05	6.13E+05	3.59E+05	1.81E+05
HEA 280	14.55	9.82E+05	9.58E+05	5.62E+05	2.83E+05
HEA 320	13.12	9.82E+05	9.58E+05	5.62E+05	2.83E+05
HEA 360	12.38	1.61E+06	1.57E+06	9.20E+05	4.63E+05
HEA 450	11.21	1.61E+06	1.57E+06	9.20E+05	4.63E+05
HEA 500	10.75	1.61E+06	1.57E+06	9.20E+05	4.63E+05
HEA 600	10.06	1.61E+06	1.61E+06	1.11E+06	5.84E+05
HEA 700	9.57	2.51E+06	2.51E+06	1.73E+06	9.13E+05
HEA 800	9.20	2.51E+06	2.51E+06	1.73E+06	9.13E+05
HEA 1000	8.69	2.51E+06	2.51E+06	1.73E+06	9.13E+05
UC 254 x 254 x 73	15.73	9.82E+05	9.58E+05	5.62E+05	2.83E+05
UC 254 x 254 x 167	14.46	9.82E+05	9.58E+05	5.62E+05	2.83E+05
UC 305 x 305 x 97	13.05	9.82E+05	9.58E+05	5.62E+05	2.83E+05

UC 305 x 305 x 158	12.54	9.82E+05	9.58E+05	5.62E+05	2.83E+05
UC 305 x 305 x 313	11.50	9.82E+05	9.58E+05	5.62E+05	2.83E+05
UC 356 x 368 x 202	10.68	1.61E+06	1.57E+06	9.20E+05	4.63E+05
UC 356 x 406 x 340	9.88	1.61E+06	1.57E+06	9.20E+05	4.63E+05
UC 356 x 406 x 592	9.05	1.61E+06	1.57E+06	9.20E+05	4.63E+05
UC 356 x 406 x 744	8.65	1.61E+06	1.57E+06	9.20E+05	4.63E+05
UC 356 x 406 x 1086	7.92	1.61E+06	1.57E+06	9.20E+05	4.63E+05
HD 260 x 93,0	15.38	9.82E+05	9.58E+05	5.62E+05	2.83E+05
HD 260 x 172	14.36	9.82E+05	9.58E+05	5.62E+05	2.83E+05
HD 320 x 74,2	13.31	9.82E+05	9.58E+05	5.62E+05	2.83E+05
HD 320 x 198	12.37	9.82E+05	9.58E+05	5.62E+05	2.83E+05
HD 320 x 300	11.72	9.82E+05	9.58E+05	5.62E+05	2.83E+05
HD 400 x 237	10.33	1.61E+06	1.57E+06	9.20E+05	4.63E+05
HD 400 x 347	9.86	1.61E+06	1.57E+06	9.20E+05	4.63E+05
HD 400 x 509	9.29	1.61E+06	1.57E+06	9.20E+05	4.63E+05
HD 400 x 900	8.29	1.61E+06	1.57E+06	9.20E+05	4.63E+05
HD 400 x 1299	7.54	1.61E+06	1.57E+06	9.20E+05	4.63E+05

Tabela 50 - Rigidez à flexão do reforço EN 1994-1-2.

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	(EI) f _{i,s,z} [Nm ²]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	1.15E+06	8.95E+05	5.28E+05	2.25E+05
HEA 280	14.55	2.98E+06	2.31E+06	1.36E+06	5.81E+05
HEA 320	13.12	3.68E+06	2.85E+06	1.68E+06	7.16E+05
HEA 360	12.38	6.04E+06	4.68E+06	2.76E+06	1.18E+06
HEA 450	11.21	6.04E+06	4.68E+06	2.76E+06	1.18E+06
HEA 500	10.75	6.04E+06	4.68E+06	2.76E+06	1.18E+06
HEA 600	10.06	6.21E+06	4.94E+06	3.51E+06	1.57E+06
HEA 700	9.57	9.73E+06	7.75E+06	5.51E+06	2.45E+06
HEA 800	9.20	9.73E+06	7.75E+06	5.51E+06	2.45E+06
HEA 1000	8.69	9.73E+06	7.75E+06	5.51E+06	2.45E+06
UC 254 x 254 x 73	15.73	2.20E+06	1.71E+06	1.01E+06	4.29E+05
UC 254 x 254 x 167	14.46	2.51E+06	1.95E+06	1.15E+06	4.89E+05
UC 305 x 305 x 97	13.05	3.87E+06	3.00E+06	1.77E+06	7.54E+05
UC 305 x 305 x 158	12.54	4.10E+06	3.18E+06	1.87E+06	7.98E+05
UC 305 x 305 x 313	11.50	4.65E+06	3.61E+06	2.13E+06	9.06E+05
UC 356 x 368 x 202	10.68	1.14E+07	8.81E+06	5.19E+06	2.21E+06
UC 356 x 406 x 340	9.88	1.38E+07	1.07E+07	6.31E+06	2.69E+06
UC 356 x 406 x 592	9.05	1.55E+07	1.20E+07	7.08E+06	3.02E+06
UC 356 x 406 x 744	8.65	1.66E+07	1.29E+07	7.58E+06	3.23E+06
UC 356 x 406 x 1086	7.92	1.88E+07	1.46E+07	8.61E+06	3.67E+06
HD 260 x 93,0	15.38	2.36E+06	1.83E+06	1.08E+06	4.59E+05
HD 260 x 172	14.36	2.60E+06	2.02E+06	1.19E+06	5.06E+05
HD 320 x 74,2	13.31	3.68E+06	2.85E+06	1.68E+06	7.16E+05
HD 320 x 198	12.37	3.90E+06	3.03E+06	1.78E+06	7.60E+05
HD 320 x 300	11.72	4.17E+06	3.23E+06	1.91E+06	8.12E+05

HD 400 x 237	10.33	1.31E+07	1.02E+07	5.98E+06	2.55E+06
HD 400 x 347	9.86	1.39E+07	1.08E+07	6.35E+06	2.71E+06
HD 400 x 509	9.29	1.50E+07	1.16E+07	6.86E+06	2.93E+06
HD 400 x 900	8.29	1.76E+07	1.36E+07	8.04E+06	3.42E+06
HD 400 x 1299	7.54	2.12E+07	1.65E+07	9.71E+06	4.14E+06

1.5. Soma Ponderada

Tabela 51 - Resistência à compressão axial dos perfis.

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	N fi,pl,Rd [N]			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	4.02E+06	2.15E+06	1.51E+06		
HEA 280	14.55	5.37E+06	3.14E+06	2.28E+06		
HEA 320	13.12	6.54E+06	3.86E+06	2.73E+06	1.81E+06	1.12E+06
HEA 360	12.38	7.83E+06	4.97E+06	3.68E+06	2.45E+06	1.55E+06
HEA 450	11.21	9.45E+06	6.16E+06	4.57E+06	3.20E+06	2.22E+06
HEA 500	10.75	1.04E+07	6.81E+06	5.06E+06	3.62E+06	2.60E+06
HEA 600	10.06	1.18E+07	8.04E+06	6.09E+06	4.69E+06	3.53E+06
HEA 700	9.57	1.43E+07	1.03E+07	8.11E+06	6.32E+06	4.78E+06
HEA 800	9.20	1.56E+07	1.15E+07	9.12E+06	7.25E+06	5.65E+06
HEA 1000	8.69	1.77E+07	1.38E+07	1.13E+07		
UC 254 x 254 x 73	15.73	5.16E+06	2.89E+06	2.11E+06		
UC 254 x 254 x 167	14.46	9.20E+06	4.46E+06	2.96E+06		
UC 305 x 305 x 97	13.05	6.67E+06	3.95E+06	2.80E+06	1.85E+06	1.16E+06
UC 305 x 305 x 158	12.54	9.23E+06	5.06E+06	3.39E+06	2.28E+06	1.52E+06
UC 305 x 305 x 313	11.50	1.57E+07	7.99E+06	5.02E+06	3.47E+06	2.52E+06
UC 356 x 368 x 202	10.68	1.23E+07	7.30E+06	5.04E+06	3.45E+06	2.38E+06
UC 356 x 406 x 340	9.88	1.81E+07	1.01E+07	6.60E+06	4.56E+06	3.31E+06
UC 356 x 406 x 592	9.05	2.81E+07	1.51E+07	9.41E+06	6.55E+06	5.00E+06
UC 356 x 406 x 744	8.65	3.34E+07	1.79E+07	1.10E+07	7.66E+06	5.95E+06
UC 356 x 406 x 1086	7.92	4.44E+07	2.37E+07	1.42E+07	9.94E+06	7.89E+06
HD 260 x 93,0	15.38	5.83E+06	3.12E+06	2.23E+06		
HD 260 x 172	14.36	9.32E+06	4.46E+06	2.94E+06		
HD 320 x 74,2	13.31	5.48E+06	3.49E+06	2.56E+06	1.68E+06	1.02E+06
HD 320 x 198	12.37	1.08E+07	5.68E+06	3.71E+06	2.52E+06	1.71E+06
HD 320 x 300	11.72	1.49E+07	7.53E+06	4.74E+06	3.27E+06	2.35E+06
HD 400 x 237	10.33	1.39E+07	8.10E+06	5.49E+06	3.77E+06	2.64E+06
HD 400 x 347	9.86	1.84E+07	1.02E+07	6.68E+06	4.61E+06	3.35E+06
HD 400 x 509	9.29	2.53E+07	1.37E+07	8.61E+06	5.98E+06	4.51E+06
HD 400 x 900	8.29	3.75E+07	2.00E+07	1.22E+07	8.49E+06	6.66E+06
HD 400 x 1299	7.54	5.24E+07	2.84E+07	1.71E+07	1.21E+07	9.77E+06

Tabela 52 - Rigidez efetiva à flexão dos perfis.

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	(EI) fi,eff,z [Nm ²]			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	8.22E+06	2.34E+06	1.41E+06		
HEA 280	14.55	1.54E+07	5.40E+06	3.26E+06		
HEA 320	13.12	2.17E+07	7.62E+06	4.37E+06	2.73E+06	1.44E+06
HEA 360	12.38	2.66E+07	1.07E+07	6.30E+06	3.50E+06	2.18E+06
HEA 450	11.21	3.08E+07	1.23E+07	6.93E+06	3.89E+06	2.48E+06
HEA 500	10.75	3.32E+07	1.31E+07	7.29E+06	4.11E+06	2.65E+06
HEA 600	10.06	3.61E+07	1.46E+07	8.08E+06	5.06E+06	3.28E+06
HEA 700	9.57	4.28E+07	1.94E+07	1.11E+07	6.98E+06	4.40E+06
HEA 800	9.20	4.48E+07	2.04E+07	1.16E+07	7.27E+06	4.60E+06
HEA 1000	8.69	4.52E+07	2.15E+07	1.22E+07		
UC 254 x 254 x 73	15.73	1.21E+07	3.89E+06	2.41E+06		
UC 254 x 254 x 167	14.46	2.52E+07	6.36E+06	3.68E+06		
UC 305 x 305 x 97	13.05	2.28E+07	8.03E+06	4.60E+06	2.88E+06	1.51E+06
UC 305 x 305 x 158	12.54	3.42E+07	1.05E+07	5.74E+06	3.74E+06	2.13E+06
UC 305 x 305 x 313	11.50	6.71E+07	1.83E+07	9.14E+06	5.62E+06	4.37E+06
UC 356 x 368 x 202	10.68	6.90E+07	2.55E+07	1.40E+07	8.03E+06	5.42E+06
UC 356 x 406 x 340	9.88	1.22E+08	4.08E+07	2.08E+07	1.23E+07	8.97E+06
UC 356 x 406 x 592	9.05	2.16E+08	6.70E+07	3.15E+07	1.92E+07	1.52E+07
UC 356 x 406 x 744	8.65	2.80E+08	8.58E+07	3.90E+07	2.40E+07	1.96E+07
UC 356 x 406 x 1086	7.92	4.45E+08	1.35E+08	5.88E+07	3.68E+07	3.13E+07
HD 260 x 93,0	15.38	1.49E+07	4.46E+06	2.74E+06		
HD 260 x 172	14.36	2.65E+07	6.68E+06	3.85E+06		
HD 320 x 74,2	13.31	1.75E+07	6.84E+06	4.02E+06	2.21E+06	1.35E+06
HD 320 x 198	12.37	3.96E+07	1.14E+07	6.06E+06	3.62E+06	2.63E+06
HD 320 x 300	11.72	5.96E+07	1.61E+07	8.08E+06	4.96E+06	3.85E+06
HD 400 x 237	10.33	8.75E+07	3.16E+07	1.70E+07	9.83E+06	6.77E+06
HD 400 x 347	9.86	1.25E+08	4.15E+07	2.11E+07	1.25E+07	9.15E+06
HD 400 x 509	9.29	1.84E+08	5.80E+07	2.79E+07	1.68E+07	1.30E+07
HD 400 x 900	8.29	3.52E+08	1.07E+08	4.75E+07	2.95E+07	2.46E+07
HD 400 x 1299	7.54	5.71E+08	1.77E+08	7.60E+07	4.83E+07	4.18E+07

1.6. Resistência Crítica

Tabela 53 - Resistência crítica à flambagem para L₀=3,0 m

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	Comprimento de Flambagem 3,0 m N fi,cr,z [N]			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	9010547	2565967	1543459		
HEA 280	14.55	16901275	5924531	3570698		
HEA 320	13.12	23806593	8355867	4794643	2997892	1574841

HEA 360	12.38	29157443	11756052	6908378	3841830	2396075
HEA 450	11.21	33772979	13465756	7600643	4268238	2718254
HEA 5000	10.75	36393435	14412187	7990159	4511393	2904495
HEA 600	10.06	39610890	16039636	8855529	5547605	3597325
HEA 700	9.57	46973370	21251556	12198935	7652184	4825493
HEA 800	9.20	49180439	22388646	12712098	7974927	5042589
HEA 1000	8.69	49556462	23621523	13388701		
UC 254 x 254 x 73	15.73	13288709	4268326	2639477		
UC 254 x 254 x 167	14.46	27602054	6971808	4037439		
UC 305 x 305 x 97	13.05	24956859	8802127	5047153	3157575	1658933
UC 305 x 305 x 158	12.54	37547218	11542393	6294820	4099193	2331551
UC 305 x 305 x 313	11.50	73565705	20055955	10026116	6162172	4789987
UC 356 x 368 x 202	10.68	75646235	27961230	15328967	8807697	5938651
UC 356 x 406 x 340	9.88	133749205	44701229	22813701	13491893	9838312
UC 356 x 406 x 592	9.05	236795551	73455898	34511358	21026129	16622071
UC 356 x 406 x 744	8.65	307442374	94093851	42808120	26367098	21466618
UC 356 x 406 x 1086	7.92	487613588	148561598	64436053	40386421	34335011
HD 260x93	15.38	16389405	4896034	3001452		
HD 260x172	14.36	29070422	7325095	4217533		
HD 320x74.2	13.31	19142069	7504366	4411233	2427635	1482815
HD 320x198	12.37	43433485	12515530	6648853	3965828	2884615
HD 320x300	11.72	65378120	17614894	8863012	5444058	4221434
HD 400x237	10.33	95913434	34638609	18609409	10781624	7428001
HD 400x347	9.86	136735221	45515004	23165348	13715434	10032458
HD400x509	9.29	201851416	63580224	30549708	18466620	14294645
HD 400x900	8.29	386325179	117556705	52129974	32393625	26987899
HD 400x1299	7.54	626299264	193672534	83356805	53005774	45861995

Tabela 54 - Resistência crítica à flambagem para $L\theta=2,1$ m

Comprimento de Flambagem 2,1 m						
Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	N fi,cr,z [N]			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	18388872	5236667	3149916		
HEA 280	14.55	34492399	12090880	7287139		
HEA 320	13.12	48584883	17052790	9784985	6118147	3213960
HEA 360	12.38	59504986	23991943	14098732	7840470	4889949
HEA 450	11.21	68924448	27481134	15511516	8710690	5547456
HEA 500	10.75	74272316	29412627	16306448	9206925	5927540
HEA 600	10.06	80838551	32733952	18072509	11321643	7341479
HEA 700	9.57	95864021	43370522	24895786	15616701	9847946
HEA 800	9.20	100368243	45691115	25943056	16275361	10290998
HEA 1000	8.69	101135637	48207189	27323879		
UC 254 x 254 x 73	15.73	27119814	8710870	5386688		
UC 254 x 254 x 167	14.46	56330723	14228180	8239671		
UC 305 x 305 x 97	13.05	50932366	17963524	10300312	6444030	3385578
UC 305 x 305 x 158	12.54	76626976	23555905	12846572	8365699	4758267
UC 305 x 305 x 313	11.50	150134091	40930520	20461461	12575860	9775484
UC 356 x 368 x 202	10.68	154380071	57063735	31283607	17974892	12119696
UC 356 x 406 x 340	9.88	272957562	91226998	46558573	27534475	20078187
UC 356 x 406 x 592	9.05	483256226	149909996	70431342	42910467	33922594
UC 356 x 406 x 744	8.65	627433416	192028268	87363511	53810403	43809425
UC 356 x 406 x 1086	7.92	995129772	303186935	131502148	82421267	70071452
HD 260x93	15.38	33447766	9991906	6125412		
HD 260x172	14.36	59327392	14949173	8607211		
HD 320x74.2	13.31	39065447	15315032	9002516	4954358	3026152
HD 320x198	12.37	88639765	25541898	13569088	8093527	5886969
HD 320x300	11.72	133424734	35948763	18087780	11110322	8615171
HD 400x237	10.33	195741702	70691038	37978386	22003315	15159185
HD 400x347	9.86	279051472	92887763	47276220	27990681	20474404
HD400x509	9.29	411941666	129755560	62346343	37686980	29172746
HD 400x900	8.29	788418733	239911643	106387702	66109438	55077344
HD 400x1299	7.54	1278161764	395250069	170115928	108175049	93595909

Tabela 55 - Resistência crítica à flambagem para $L\theta=1,5$ m

Comprimento de Flambagem 1,5 m						
Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	N fi,cr,z [N]			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	36042188	10263867	6173836		
HEA 280	14.55	67605102	23698124	14282792		
HEA 320	13.12	95226370	33423469	19178570	11991568	6299362

HEA 360	12.38	116629773	47024208	27633514	15367320	9584299
HEA 450	11.21	135091917	53863023	30402571	17072951	10873014
HEA 500	10.75	145573739	57648748	31960638	18045573	11617978
HEA 600	10.06	158443561	64158546	35422117	22190420	14389299
HEA 700	9.57	187893482	85006222	48795741	30608734	19301973
HEA 800	9.20	196721757	89554585	50848390	31899707	20170356
HEA 1000	8.69	198225848	94486090	53554803		
UC 254 x 254 x 73	15.73	53154836	17073305	10557909		
UC 254 x 254 x 167	14.46	110408218	27887233	16149755		
UC 305 x 305 x 97	13.05	99827437	35208507	20188611	12630298	6635733
UC 305 x 305 x 158	12.54	150188872	46169574	25179282	16396771	9326204
UC 305 x 305 x 313	11.50	294262819	80223820	40104463	24648687	19159948
UC 356 x 368 x 202	10.68	302584938	111844921	61315869	35230788	23754604
UC 356 x 406 x 340	9.88	534996821	178804916	91254802	53967571	39353247
UC 356 x 406 x 592	9.05	947182203	293823592	138045430	84104516	66488284
UC 356 x 406 x 744	8.65	1229769496	376375406	171232481	105468391	85866472
UC 356 x 406 x 1086	7.92	1950454352	594246393	257744211	161545683	137340045
HD 260x93	15.38	65557621	19584136	12005808		
HD 260x172	14.36	116281689	29300379	16870133		
HD 320x74.2	13.31	76568277	30017463	17644931	9710541	5931258
HD 320x198	12.37	173733939	50062119	26595413	15863314	11538458
HD 320x300	11.72	261512479	70459575	35452049	21776231	16885736
HD 400x237	10.33	383653735	138554435	74437637	43126498	29712003
HD 400x347	9.86	546940885	182060015	92661392	54861735	40129832
HD400x509	9.29	807405665	254320897	122198832	73866482	57178582
HD 400x900	8.29	1545300717	470226821	208519897	129574498	107951594
HD 400x1299	7.54	2505197058	774690135	333427219	212023095	183447981

Tabela 56 - Resistência crítica à flambagem para $L\theta=4,0$ m

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	N fi,cr,z [N]			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	5068433	1443356	868196		
HEA 280	14.55	9506967	3332549	2008518		
HEA 320	13.12	13391208	4700175	2696986	1686314	885848
HEA 360	12.38	16401062	6612779	3885963	2161029	1347792
HEA 450	11.21	18997301	7574488	4275362	2400884	1529018
HEA 500	10.75	20471307	8106855	4494465	2537659	1633778
HEA 600	10.06	22281126	9022295	4981235	3120528	2023495
HEA 700	9.57	26422521	11954000	6861901	4304353	2714340
HEA 800	9.20	27663997	12593613	7150555	4485896	2836456
HEA 1000	8.69	27875510	13287106	7531144		
UC 254 x 254 x 73	15.73	7474899	2400934	1484706		

UC 254 x 254 x 167	14.46	15526156	3921642	2271059		
UC 305 x 305 x 97	13.05	14038233	4951196	2839023	1776136	933150
UC 305 x 305 x 158	12.54	21120310	6492596	3540837	2305796	1311497
UC 305 x 305 x 313	11.50	41380709	11281475	5639690	3466222	2694368
UC 356 x 368 x 202	10.68	42551007	15728192	8622544	4954330	3340491
UC 356 x 406 x 340	9.88	75233928	25144441	12832707	7589190	5534050
UC 356 x 406 x 592	9.05	133197497	41318943	19412639	11827198	9349915
UC 356 x 406 x 744	8.65	172936335	52927791	24079568	14831492	12074973
UC 356 x 406 x 1086	7.92	274282643	83565899	36245280	22717362	19313444
HD 260x93	15.38	9219040	2754019	1688317		
HD 260x172	14.36	16352112	4120366	2372362		
HD 320x74.2	13.31	10767414	4221206	2481318	1365545	834083
HD 320x198	12.37	24431335	7039986	3739980	2230779	1622596
HD 320x300	11.72	36775192	9908378	4985444	3062282	2374557
HD 400x237	10.33	53951306	19484217	10467793	6064664	4178250
HD 400x347	9.86	76913562	25602190	13030508	7714932	5643258
HD400x509	9.29	113541422	35763876	17184211	10387474	8040738
HD 400x900	8.29	217307913	66125647	29323110	18221414	15180693
HD 400x1299	7.54	352293336	108940800	46888203	29815748	25797372

Tabela 57 -Resistência crítica à flambagem para $L_0=2,8$ m

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	N fi,cr,z [N]			
			Comprimento de Flambagem 2,8 m			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	10343740	2945625	1771828		
HEA 280	14.55	19401974	6801120	4099016		
HEA 320	13.12	27328997	9592195	5504054	3441458	1807853
HEA 360	12.38	33471555	13495468	7930537	4410264	2750596
HEA 450	11.21	38770002	15458138	8725228	4899763	3120444
HEA 500	10.75	41778178	16544603	9172377	5178895	3334241
HEA 600	10.06	45471685	18412848	10165786	6368424	4129582
HEA 700	9.57	53923512	24395918	14003880	8784394	5539469
HEA 800	9.20	56457137	25701252	14592969	9154890	5788686
HEA 1000	8.69	56888796	27116544	15369682		
UC 254 x 254 x 73	15.73	15254895	4899864	3030012		
UC 254 x 254 x 167	14.46	31686032	8003351	4634815		
UC 305 x 305 x 97	13.05	28649456	10104482	5793925	3624767	1904388
UC 305 x 305 x 158	12.54	43102674	13250197	7226197	4705706	2676525
UC 305 x 305 x 313	11.50	84450426	23023418	11509572	7073922	5498710
UC 356 x 368 x 202	10.68	86838790	32098351	17597029	10110877	6817329
UC 356 x 406 x 340	9.88	153538629	51315186	26189197	15488142	11293980
UC 356 x 406 x 592	9.05	271831627	84324373	39617630	24137138	19081459
UC 356 x 406 x 744	8.65	352931297	108015901	49141975	30268352	24642801
UC 356 x 406 x 1086	7.92	559760497	170542651	73969958	46361963	39415192

HD 260x93	15.38	18814368	5620447	3445545		
HD 260x172	14.36	33371658	8408910	4841556		
HD 320x74.2	13.31	21974314	8614706	5063915	2786826	1702211
HD 320x198	12.37	49859868	14367317	7632612	4552609	3311420
HD 320x300	11.72	75051413	20221179	10174376	6249556	4846034
HD 400x237	10.33	110104707	39763709	21362842	12376865	8527042
HD 400x347	9.86	156966453	52249366	26592874	15744758	11516852
HD400x509	9.29	231717187	72987502	35069818	21198927	16409670
HD 400x900	8.29	443485537	134950299	59843083	37186559	30981006
HD 400x1299	7.54	718965992	222328164	95690210	60848465	52647699

Tabela 58 - Resistência crítica à flambagem para $L\theta=2,0$ m

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	N fi,cr,z [N]			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	20273731	5773425	3472782		
HEA 280	14.55	38027870	13330195	8034071		
HEA 320	13.12	53564833	18800701	10787946	6745257	3543391
HEA 360	12.38	65604247	26451117	15543852	8644118	5391168
HEA 450	11.21	75989203	30297951	17101446	9603535	6116071
HEA 500	10.75	81885228	32427421	17977859	10150635	6535113
HEA 600	10.06	89124503	36089182	19924941	12482111	8093980
HEA 700	9.57	105690083	47816000	27447604	17217413	10857360
HEA 800	9.20	110655988	50374454	28602220	17943585	11345825
HEA 1000	8.69	111502040	53148426	30124577		
UC 254 x 254 x 73	15.73	29899595	9603734	5938824		
UC 254 x 254 x 167	14.46	62104623	15686568	9084237		
UC 305 x 305 x 97	13.05	56152933	19804785	11356094	7104543	3732600
UC 305 x 305 x 158	12.54	84481241	25970385	14163346	9223184	5245990
UC 305 x 305 x 313	11.50	165522836	45125899	22558761	13864886	10777471
UC 356 x 368 x 202	10.68	170204028	62912768	34490177	19817318	13361965
UC 356 x 406 x 340	9.88	300935712	100577765	51330826	30356759	22136202
UC 356 x 406 x 592	9.05	532789989	165275770	77650555	47308790	37399660
UC 356 x 406 x 744	8.65	691745341	211711166	96318270	59325970	48299891
UC 356 x 406 x 1086	7.92	1097130573	334263596	144981119	90869447	77253775
HD 260x93	15.38	36876162	11016076	6753267		
HD 260x172	14.36	65408450	16481463	9489450		
HD 320x74.2	13.31	43069656	16884823	9925273	5462180	3336333
HD 320x198	12.37	97725341	28159942	14959920	8923114	6490383
HD 320x300	11.72	147100769	39633511	19941778	12249130	9498226
HD 400x237	10.33	215805226	77936870	41871171	24258655	16713001
HD 400x347	9.86	307654248	102408758	52122033	30859726	22573031
HD400x509	9.29	454165687	143055505	68736843	41549896	32162952

HD 400x900	8.29	869231653	264502587	117292442	72885655	60722772
HD 400x1299	7.54	1409173345	435763201	187552811	119262991	103189489

1.7. Esbeltez Adimensional

Tabela 59 - Esbeltez adimensional para $L\theta=3,0$ m

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	$\lambda\theta$			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	0.6683	0.9150	0.9899		
HEA 280	14.55	0.5635	0.7283	0.7997		
HEA 320	13.12	0.5240	0.6796	0.7551	0.7760	0.8439
HEA 360	12.38	0.5183	0.6502	0.7301	0.7989	0.8056
HEA 450	11.21	0.5291	0.6763	0.7752	0.8660	0.9043
HEA 500	10.75	0.5333	0.6873	0.7956	0.8960	0.9465
HEA 600	10.06	0.5462	0.7078	0.8293	0.9199	0.9907
HEA 700	9.57	0.5521	0.6957	0.8153	0.9086	0.9958
HEA 800	9.20	0.5636	0.7156	0.8472	0.9533	1.0586
HEA 1000	8.69	0.5980	0.7643	0.9199		
UC 254 x 254 x 73	15.73	0.6231	0.8224	0.8935		
UC 254 x 254 x 167	14.46	0.5773	0.7997	0.8562		
UC 305 x 305 x 97	13.05	0.5169	0.6701	0.7442	0.7651	0.8346
UC 305 x 305 x 158	12.54	0.4959	0.6622	0.7338	0.7464	0.8063
UC 305 x 305 x 313	11.50	0.4614	0.6310	0.7076	0.7503	0.7248
UC 356 x 368 x 202	10.68	0.4038	0.5108	0.5733	0.6254	0.6329
UC 356 x 406 x 340	9.88	0.3676	0.4752	0.5380	0.5811	0.5799
UC 356 x 406 x 592	9.05	0.3445	0.4534	0.5221	0.5583	0.5485
UC 356 x 406 x 744	8.65	0.3297	0.4357	0.5063	0.5390	0.5263
UC 356 x 406 x 1086	7.92	0.3019	0.3993	0.4700	0.4962	0.4794
HD 260x93	15.38	0.5965	0.7984	0.8621		
HD 260x172	14.36	0.5663	0.7803	0.8347		
HD 320x74.2	13.31	0.5353	0.6821	0.7620	0.8325	0.8300
HD 320x198	12.37	0.4991	0.6737	0.7467	0.7965	0.7706
HD 320x300	11.72	0.4776	0.6538	0.7310	0.7747	0.7461
HD 400x237	10.33	0.3812	0.4837	0.5434	0.5912	0.5967
HD 400x347	9.86	0.3665	0.4742	0.5369	0.5796	0.5779
HD400x509	9.29	0.3541	0.4639	0.5309	0.5692	0.5620
HD 400x900	8.29	0.3114	0.4125	0.4830	0.5120	0.4967
HD 400x1299	7.54	0.2892	0.3827	0.4533	0.4776	0.4616

Tabela 60 - Esbeltez adimensional para $L\theta=2,1$ m

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	$\lambda\theta$			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	0.4678	0.6405	0.6929		
HEA 280	14.55	0.3945	0.5098	0.5598		
HEA 320	13.12	0.3668	0.4757	0.5286	0.5432	0.5908
HEA 360	12.38	0.3628	0.4551	0.5110	0.5592	0.5639
HEA 450	11.21	0.3704	0.4734	0.5426	0.6062	0.6330
HEA 500	10.75	0.3733	0.4811	0.5569	0.6272	0.6626
HEA 600	10.06	0.3823	0.4955	0.5805	0.6439	0.6935
HEA 700	9.57	0.3865	0.4870	0.5707	0.6360	0.6970
HEA 800	9.20	0.3945	0.5009	0.5930	0.6673	0.7410
HEA 1000	8.69	0.4186	0.5350	0.6439		
UC 254 x 254 x 73	15.73	0.4362	0.5757	0.6255		
UC 254 x 254 x 167	14.46	0.4041	0.5598	0.5993		
UC 305 x 305 x 97	13.05	0.3618	0.4691	0.5209	0.5356	0.5842
UC 305 x 305 x 158	12.54	0.3472	0.4635	0.5137	0.5224	0.5644
UC 305 x 305 x 313	11.50	0.3230	0.4417	0.4953	0.5252	0.5074
UC 356 x 368 x 202	10.68	0.2827	0.3575	0.4013	0.4378	0.4431
UC 356 x 406 x 340	9.88	0.2573	0.3327	0.3766	0.4068	0.4059
UC 356 x 406 x 592	9.05	0.2411	0.3174	0.3655	0.3908	0.3839
UC 356 x 406 x 744	8.65	0.2308	0.3050	0.3544	0.3773	0.3684
UC 356 x 406 x 1086	7.92	0.2113	0.2795	0.3290	0.3474	0.3356
HD 260x93	15.38	0.4175	0.5589	0.6035		
HD 260x172	14.36	0.3964	0.5462	0.5843		
HD 320x74.2	13.31	0.3747	0.4774	0.5334	0.5828	0.5810
HD 320x198	12.37	0.3494	0.4716	0.5227	0.5576	0.5394
HD 320x300	11.72	0.3343	0.4577	0.5117	0.5423	0.5223
HD 400x237	10.33	0.2668	0.3386	0.3804	0.4138	0.4177
HD 400x347	9.86	0.2565	0.3319	0.3758	0.4057	0.4045
HD400x509	9.29	0.2479	0.3247	0.3716	0.3985	0.3934
HD 400x900	8.29	0.2180	0.2887	0.3381	0.3584	0.3477
HD 400x1299	7.54	0.2024	0.2679	0.3173	0.3344	0.3231

Tabela 61 - Esbeltez adimensional para $L\theta=1,5$ m

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	$\lambda\theta$			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	0.3341	0.4575	0.4950		
HEA 280	14.55	0.2818	0.3642	0.3999		
HEA 320	13.12	0.2620	0.3398	0.3776	0.3880	0.4220
HEA 360	12.38	0.2592	0.3251	0.3650	0.3994	0.4028
HEA 450	11.21	0.2645	0.3381	0.3876	0.4330	0.4521

HEA 500	10.75	0.2667	0.3437	0.3978	0.4480	0.4733
HEA 600	10.06	0.2731	0.3539	0.4147	0.4600	0.4954
HEA 700	9.57	0.2761	0.3478	0.4077	0.4543	0.4979
HEA 800	9.20	0.2818	0.3578	0.4236	0.4766	0.5293
HEA 1000	8.69	0.2990	0.3821	0.4599		
UC 254 x 254 x 73	15.73	0.3115	0.4112	0.4468		
UC 254 x 254 x 167	14.46	0.2886	0.3999	0.4281		
UC 305 x 305 x 97	13.05	0.2584	0.3351	0.3721	0.3826	0.4173
UC 305 x 305 x 158	12.54	0.2480	0.3311	0.3669	0.3732	0.4031
UC 305 x 305 x 313	11.50	0.2307	0.3155	0.3538	0.3752	0.3624
UC 356 x 368 x 202	10.68	0.2019	0.2554	0.2867	0.3127	0.3165
UC 356 x 406 x 340	9.88	0.1838	0.2376	0.2690	0.2906	0.2900
UC 356 x 406 x 592	9.05	0.1722	0.2267	0.2611	0.2791	0.2742
UC 356 x 406 x 744	8.65	0.1649	0.2179	0.2531	0.2695	0.2631
UC 356 x 406 x 1086	7.92	0.1509	0.1996	0.2350	0.2481	0.2397
HD 260x93	15.38	0.2982	0.3992	0.4311		
HD 260x172	14.36	0.2831	0.3902	0.4174		
HD 320x74.2	13.31	0.2676	0.3410	0.3810	0.4163	0.4150
HD 320x198	12.37	0.2495	0.3368	0.3734	0.3983	0.3853
HD 320x300	11.72	0.2388	0.3269	0.3655	0.3874	0.3730
HD 400x237	10.33	0.1906	0.2418	0.2717	0.2956	0.2984
HD 400x347	9.86	0.1832	0.2371	0.2684	0.2898	0.2889
HD400x509	9.29	0.1770	0.2319	0.2654	0.2846	0.2810
HD 400x900	8.29	0.1557	0.2062	0.2415	0.2560	0.2483
HD 400x1299	7.54	0.1446	0.1913	0.2266	0.2388	0.2308

Tabela 62 - Esbeltez adimensional para $L\theta=4,0$ m

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	$\lambda\theta$			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	0.891	1.220	1.320		
HEA 280	14.55	0.751	0.971	1.066		
HEA 320	13.12	0.699	0.906	1.007	1.035	1.125
HEA 360	12.38	0.691	0.867	0.973	1.065	1.074
HEA 450	11.21	0.705	0.902	1.034	1.155	1.206
HEA 500	10.75	0.711	0.916	1.061	1.195	1.262
HEA 600	10.06	0.728	0.944	1.106	1.227	1.321
HEA 700	9.57	0.736	0.928	1.087	1.212	1.328
HEA 800	9.20	0.751	0.954	1.130	1.271	1.411
HEA 1000	8.69	0.797	1.019	1.227		
UC 254 x 254 x 73	15.73	0.831	1.096	1.191		
UC 254 x 254 x 167	14.46	0.770	1.066	1.142		

UC 305 x 305 x 97	13.05	0.689	0.894	0.992	1.020	1.113
UC 305 x 305 x 158	12.54	0.661	0.883	0.978	0.995	1.075
UC 305 x 305 x 313	11.50	0.615	0.841	0.943	1.000	0.966
UC 356 x 368 x 202	10.68	0.538	0.681	0.764	0.834	0.844
UC 356 x 406 x 340	9.88	0.490	0.634	0.717	0.775	0.773
UC 356 x 406 x 592	9.05	0.459	0.605	0.696	0.744	0.731
UC 356 x 406 x 744	8.65	0.440	0.581	0.675	0.719	0.702
UC 356 x 406 x 1086	7.92	0.403	0.532	0.627	0.662	0.639
HD 260x93	15.38	0.795	1.064	1.149		
HD 260x172	14.36	0.755	1.040	1.113		
HD 320x74.2	13.31	0.714	0.909	1.016	1.110	1.107
HD 320x198	12.37	0.665	0.898	0.996	1.062	1.028
HD 320x300	11.72	0.637	0.872	0.975	1.033	0.995
HD 400x237	10.33	0.508	0.645	0.725	0.788	0.796
HD 400x347	9.86	0.489	0.632	0.716	0.773	0.770
HD400x509	9.29	0.472	0.618	0.708	0.759	0.749
HD 400x900	8.29	0.415	0.550	0.644	0.683	0.662
HD 400x1299	7.54	0.386	0.510	0.604	0.637	0.615

Tabela 63 - Esbeltez adimensional para $L\theta=2,8$ m

Comprimento de Flambagem 2,8 m

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	$\lambda\theta$			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	0.624	0.854	0.924		
HEA 280	14.55	0.526	0.680	0.746		
HEA 320	13.12	0.489	0.634	0.705	0.724	0.788
HEA 360	12.38	0.484	0.607	0.681	0.746	0.752
HEA 450	11.21	0.494	0.631	0.723	0.808	0.844
HEA 500	10.75	0.498	0.641	0.743	0.836	0.883
HEA 600	10.06	0.510	0.661	0.774	0.859	0.925
HEA 700	9.57	0.515	0.649	0.761	0.848	0.929
HEA 800	9.20	0.526	0.668	0.791	0.890	0.988
HEA 1000	8.69	0.558	0.713	0.859		
UC 254 x 254 x 73	15.73	0.582	0.768	0.834		
UC 254 x 254 x 167	14.46	0.539	0.746	0.799		
UC 305 x 305 x 97	13.05	0.482	0.625	0.695	0.714	0.779
UC 305 x 305 x 158	12.54	0.463	0.618	0.685	0.697	0.753
UC 305 x 305 x 313	11.50	0.431	0.589	0.660	0.700	0.676
UC 356 x 368 x 202	10.68	0.377	0.477	0.535	0.584	0.591
UC 356 x 406 x 340	9.88	0.343	0.444	0.502	0.542	0.541
UC 356 x 406 x 592	9.05	0.321	0.423	0.487	0.521	0.512
UC 356 x 406 x 744	8.65	0.308	0.407	0.473	0.503	0.491
UC 356 x 406 x 1086	7.92	0.282	0.373	0.439	0.463	0.447
HD 260x93	15.38	0.557	0.745	0.805		

HD 260x172	14.36	0.529	0.728	0.779		
HD 320x74.2	13.31	0.500	0.637	0.711	0.777	0.775
HD 320x198	12.37	0.466	0.629	0.697	0.743	0.719
HD 320x300	11.72	0.446	0.610	0.682	0.723	0.696
HD 400x237	10.33	0.356	0.451	0.507	0.552	0.557
HD 400x347	9.86	0.342	0.443	0.501	0.541	0.539
HD400x509	9.29	0.330	0.433	0.495	0.531	0.525
HD 400x900	8.29	0.291	0.385	0.451	0.478	0.464
HD 400x1299	7.54	0.270	0.357	0.423	0.446	0.431

Tabela 64 - Esbeltez adimensional para $L\theta=2,0$ m.

Comprimento de Flambagem 2 m

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	$\lambda\theta$			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	0.446	0.610	0.660		
HEA 280	14.55	0.376	0.486	0.533		
HEA 320	13.12	0.349	0.453	0.503	0.517	0.563
HEA 360	12.38	0.346	0.433	0.487	0.533	0.537
HEA 450	11.21	0.353	0.451	0.517	0.577	0.603
HEA 500	10.75	0.356	0.458	0.530	0.597	0.631
HEA 600	10.06	0.364	0.472	0.553	0.613	0.660
HEA 700	9.57	0.368	0.464	0.544	0.606	0.664
HEA 800	9.20	0.376	0.477	0.565	0.636	0.706
HEA 1000	8.69	0.399	0.510	0.613		
UC 254 x 254 x 73	15.73	0.415	0.548	0.596		
UC 254 x 254 x 167	14.46	0.385	0.533	0.571		
UC 305 x 305 x 97	13.05	0.345	0.447	0.496	0.510	0.556
UC 305 x 305 x 158	12.54	0.331	0.441	0.489	0.498	0.538
UC 305 x 305 x 313	11.50	0.308	0.421	0.472	0.500	0.483
UC 356 x 368 x 202	10.68	0.269	0.341	0.382	0.417	0.422
UC 356 x 406 x 340	9.88	0.245	0.317	0.359	0.387	0.387
UC 356 x 406 x 592	9.05	0.230	0.302	0.348	0.372	0.366
UC 356 x 406 x 744	8.65	0.220	0.290	0.338	0.359	0.351
UC 356 x 406 x 1086	7.92	0.201	0.266	0.313	0.331	0.320
HD 260x93	15.38	0.398	0.532	0.575		
HD 260x172	14.36	0.378	0.520	0.556		
HD 320x74.2	13.31	0.357	0.455	0.508	0.555	0.553
HD 320x198	12.37	0.333	0.449	0.498	0.531	0.514
HD 320x300	11.72	0.318	0.436	0.487	0.516	0.497
HD 400x237	10.33	0.254	0.322	0.362	0.394	0.398
HD 400x347	9.86	0.244	0.316	0.358	0.386	0.385
HD400x509	9.29	0.236	0.309	0.354	0.379	0.375
HD 400x900	8.29	0.208	0.275	0.322	0.341	0.331
HD 400x1299	7.54	0.193	0.255	0.302	0.318	0.308

1.8. Fator de Redução

Tabela 65 - Fator de Redução para $L\theta=3,0$ m.

Comprimento de Flambagem 3,0 m						
Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	χ_z			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	0.7442				
HEA 280	14.55	0.8068				
HEA 320	13.12	0.8295	0.7373	0.6903	0.6772	0.6346
HEA 360	12.38	0.8327	0.7553	0.7060	0.6629	0.6587
HEA 450	11.21	0.8266	0.7393	0.6778	0.6209	0.5972
HEA 500	10.75	0.8242	0.7325	0.6649	0.6023	0.5716
HEA 600	10.06	0.8168	0.7198	0.6438	0.5876	0.5454
HEA 700	9.57	0.8134	0.7274	0.6525	0.5945	0.5424
HEA 800	9.20	0.8068	0.7150	0.6326	0.5675	0.5067
HEA 1000	8.69	0.7866	0.6846	0.5877		
UC 254 x 254 x 73	15.73	0.7716				
UC 254 x 254 x 167	14.46	0.7988				
UC 305 x 305 x 97	13.05	0.8335	0.7431	0.6972	0.6841	0.6405
UC 305 x 305 x 158	12.54	0.8453	0.7480	0.7037	0.6958	0.6582
UC 305 x 305 x 313	11.50	0.8643	0.7668	0.7200	0.6933	0.7093
UC 356 x 368 x 202	10.68	0.8953	0.8369	0.8011	0.7702	0.7657
UC 356 x 406 x 340	9.88	0.9144	0.8567	0.8215	0.7965	0.7972
UC 356 x 406 x 592	9.05	0.9263	0.8687	0.8305	0.8098	0.8155
UC 356 x 406 x 744	8.65	0.9339	0.8782	0.8395	0.8209	0.8282
UC 356 x 406 x 1086	7.92	0.9482	0.8977	0.8596	0.8451	0.8544
HD 260x93	15.38	0.7875				
HD 260x172	14.36	0.8052				
HD 320x74.2	13.31	0.8231	0.7358	0.6860	0.6418	0.6433
HD 320x198	12.37	0.8435	0.7409	0.6956	0.6643	0.6806
HD 320x300	11.72	0.8555	0.7530	0.7054	0.6780	0.6960
HD 400x237	10.33	0.9072	0.8521	0.8184	0.7906	0.7873
HD 400x347	9.86	0.9149	0.8573	0.8221	0.7974	0.7984
HD 400x509	9.29	0.9214	0.8630	0.8256	0.8035	0.8077
HD 400x900	8.29	0.9433	0.8907	0.8524	0.8362	0.8448
HD 400x1299	7.54	0.9547	0.9065	0.8688	0.8554	0.8642

Tabela 66 - Fator de Redução para $L\theta=2,1$ m.

Comprimento de Flambagem 2,1 m		
Perfil	20 °C	χ_z

	Am/V [m⁻¹]		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	0.8608	0.7611	0.7291		
HEA 280	14.55	0.9002	0.8375	0.8090		
HEA 320	13.12	0.9147	0.8565	0.8269	0.8185	0.7908
HEA 360	12.38	0.9168	0.8677	0.8368	0.8093	0.8066
HEA 450	11.21	0.9129	0.8577	0.8189	0.7817	0.7657
HEA 500	10.75	0.9113	0.8535	0.8106	0.7691	0.7477
HEA 600	10.06	0.9066	0.8455	0.7969	0.7590	0.7287
HEA 700	9.57	0.9044	0.8503	0.8026	0.7638	0.7265
HEA 800	9.20	0.9002	0.8425	0.7895	0.7448	0.6992
HEA 1000	8.69	0.8874	0.8232	0.7591		
UC 254 x 254 x 73	15.73	0.8780	0.7997	0.7702		
UC 254 x 254 x 167	14.46	0.8951	0.8089	0.7858		
UC 305 x 305 x 97	13.05	0.9173	0.8601	0.8312	0.8229	0.7947
UC 305 x 305 x 158	12.54	0.9249	0.8632	0.8353	0.8304	0.8063
UC 305 x 305 x 313	11.50	0.9374	0.8750	0.8456	0.8288	0.8389
UC 356 x 368 x 202	10.68	0.9580	0.9196	0.8966	0.8771	0.8743
UC 356 x 406 x 340	9.88	0.9709	0.9324	0.9096	0.8937	0.8942
UC 356 x 406 x 592	9.05	0.9791	0.9403	0.9154	0.9022	0.9058
UC 356 x 406 x 744	8.65	0.9843	0.9466	0.9212	0.9093	0.9139
UC 356 x 406 x 1086	7.92	0.9942	0.9596	0.9343	0.9248	0.9309
HD 260x93	15.38	0.8880	0.8095	0.7833		
HD 260x172	14.36	0.8992	0.8168	0.7947		
HD 320x74.2	13.31	0.9106	0.8555	0.8241	0.7956	0.7966
HD 320x198	12.37	0.9238	0.8588	0.8302	0.8102	0.8207
HD 320x300	11.72	0.9316	0.8664	0.8364	0.8190	0.8305
HD 400x237	10.33	0.9660	0.9294	0.9077	0.8900	0.8879
HD 400x347	9.86	0.9713	0.9328	0.9100	0.8943	0.8949
HD400x509	9.29	0.9757	0.9365	0.9122	0.8981	0.9008
HD 400x900	8.29	0.9908	0.9549	0.9296	0.9191	0.9247
HD 400x1299	7.54	0.9988	0.9655	0.9403	0.9315	0.9373

Tabela 67 - Fator de Redução para $L\theta=1,5$ m.

Comprimento de Flambagem 1,5 m						
Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	χ^z			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	0.9317	0.8665	0.8458		
HEA 280	14.55	0.9584	0.9161	0.8974		
HEA 320	13.12	0.9685	0.9287	0.9091	0.9036	0.8856
HEA 360	12.38	0.9699	0.9363	0.9157	0.8976	0.8958
HEA 450	11.21	0.9672	0.9296	0.9039	0.8797	0.8694
HEA 500	10.75	0.9661	0.9267	0.8985	0.8716	0.8578
HEA 600	10.06	0.9629	0.9214	0.8895	0.8651	0.8456

HEA 700	9.57	0.9613	0.9246	0.8933	0.8682	0.8442
HEA 800	9.20	0.9584	0.9194	0.8848	0.8560	0.8265
HEA 1000	8.69	0.9497	0.9067	0.8651		
UC 254 x 254 x 73	15.73	0.9433	0.8914	0.8723		
UC 254 x 254 x 167	14.46	0.9549	0.8974	0.8824		
UC 305 x 305 x 97	13.05	0.9703	0.9312	0.9120	0.9065	0.8881
UC 305 x 305 x 158	12.54	0.9756	0.9332	0.9147	0.9114	0.8957
UC 305 x 305 x 313	11.50	0.9844	0.9412	0.9215	0.9104	0.9170
UC 356 x 368 x 202	10.68	0.9990	0.9718	0.9559	0.9427	0.9407
UC 356 x 406 x 340	9.88	1.0000	0.9809	0.9649	0.9540	0.9543
UC 356 x 406 x 592	9.05	1.0000	0.9864	0.9690	0.9598	0.9623
UC 356 x 406 x 744	8.65	1.0000	0.9909	0.9730	0.9647	0.9679
UC 356 x 406 x 1086	7.92	1.0000	1.0000	0.9822	0.9755	0.9798
HD 260x93	15.38	0.9500	0.8978	0.8808		
HD 260x172	14.36	0.9577	0.9025	0.8881		
HD 320x74.2	13.31	0.9656	0.9281	0.9073	0.8887	0.8894
HD 320x198	12.37	0.9748	0.9303	0.9113	0.8982	0.9051
HD 320x300	11.72	0.9803	0.9354	0.9154	0.9040	0.9115
HD 400x237	10.33	1.0000	0.9787	0.9636	0.9514	0.9500
HD 400x347	9.86	1.0000	0.9811	0.9652	0.9544	0.9548
HD400x509	9.29	1.0000	0.9838	0.9667	0.9570	0.9588
HD 400x900	8.29	1.0000	0.9968	0.9789	0.9715	0.9754
HD 400x1299	7.54	1.0000	1.0000	0.9864	0.9802	0.9843

Tabela 68 - Fator de Redução para $L\theta=4,0$ m.

Comprimento de Flambagem 4 m						
Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	χ^z			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03					
HEA 280	14.55					
HEA 320	13.12	0.7255	0.5961	0.5360	0.5201	0.4710
HEA 360	12.38	0.7302	0.6203	0.5555	0.5031	0.4982
HEA 450	11.21	0.7213	0.5988	0.5207	0.4560	0.4311
HEA 500	10.75	0.7178	0.5898	0.5055	0.4363	0.4052
HEA 600	10.06	0.7072	0.5732	0.4812	0.4213	0.3801
HEA 700	9.57	0.7022	0.5830	0.4912	0.4283	0.3773
HEA 800	9.20	0.6927	0.5670	0.4687	0.4013	0.3450
HEA 1000	8.69	0.6638	0.5290	0.4213		
UC 254 x 254 x 73	15.73					
UC 254 x 254 x 167	14.46					
UC 305 x 305 x 97	13.05	0.7314	0.6038	0.5445	0.5283	0.4775
UC 305 x 305 x 158	12.54	0.7485	0.6104	0.5526	0.5428	0.4977

UC 305 x 305 x 313	11.50	0.7763	0.6362	0.5734	0.5397	0.5597
UC 356 x 368 x 202	10.68	0.8213	0.7364	0.6845	0.6409	0.6346
UC 356 x 406 x 340	9.88	0.8485	0.7653	0.7139	0.6780	0.6790
UC 356 x 406 x 592	9.05	0.8655	0.7827	0.7271	0.6971	0.7052
UC 356 x 406 x 744	8.65	0.8761	0.7966	0.7401	0.7131	0.7236
UC 356 x 406 x 1086	7.92	0.8960	0.8247	0.7695	0.7483	0.7619
HD 260x93	15.38					
HD 260x172	14.36					
HD 320x74.2	13.31	0.7162	0.5940	0.5307	0.4789	0.4807
HD 320x198	12.37	0.7459	0.6009	0.5425	0.5048	0.5241
HD 320x300	11.72	0.7634	0.6173	0.5548	0.5211	0.5430
HD 400x237	10.33	0.8384	0.7585	0.7095	0.6696	0.6649
HD 400x347	9.86	0.8493	0.7661	0.7149	0.6793	0.6807
HD400x509	9.29	0.8585	0.7744	0.7198	0.6879	0.6940
HD 400x900	8.29	0.8893	0.8146	0.7590	0.7354	0.7479
HD 400x1299	7.54	0.9049	0.8373	0.7828	0.7633	0.7762

Tabela 69 - Fator de Redução para $L\theta=2,8$ m.

Comprimento de Flambagem 2,8 m						
Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	χ_z			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	0.7712				
HEA 280	14.55	0.8284				
HEA 320	13.12	0.8491	0.7649	0.7217	0.7096	0.6699
HEA 360	12.38	0.8520	0.7813	0.7362	0.6963	0.6924
HEA 450	11.21	0.8464	0.7667	0.7101	0.6570	0.6346
HEA 500	10.75	0.8442	0.7605	0.6982	0.6394	0.6101
HEA 600	10.06	0.8375	0.7489	0.6785	0.6255	0.5848
HEA 700	9.57	0.8344	0.7558	0.6867	0.6320	0.5819
HEA 800	9.20	0.8283	0.7445	0.6680	0.6061	0.5469
HEA 1000	8.69	0.8099	0.7164	0.6255		
UC 254 x 254 x 73	15.73	0.7963				
UC 254 x 254 x 167	14.46	0.8210				
UC 305 x 305 x 97	13.05	0.8528	0.7702	0.7280	0.7159	0.6754
UC 305 x 305 x 158	12.54	0.8635	0.7747	0.7340	0.7268	0.6920
UC 305 x 305 x 313	11.50	0.8810	0.7919	0.7490	0.7245	0.7392
UC 356 x 368 x 202	10.68	0.9095	0.8559	0.8232	0.7950	0.7909
UC 356 x 406 x 340	9.88	0.9271	0.8740	0.8418	0.8190	0.8196
UC 356 x 406 x 592	9.05	0.9382	0.8850	0.8501	0.8311	0.8363
UC 356 x 406 x 744	8.65	0.9452	0.8938	0.8582	0.8413	0.8479
UC 356 x 406 x 1086	7.92	0.9584	0.9117	0.8767	0.8634	0.8719
HD 260x93	15.38	0.8107				

HD 260x172	14.36	0.8269				
HD 320x74.2	13.31	0.8432	0.7635	0.7177	0.6766	0.6781
HD 320x198	12.37	0.8619	0.7682	0.7266	0.6976	0.7127
HD 320x300	11.72	0.8729	0.7793	0.7356	0.7104	0.7269
HD 400x237	10.33	0.9205	0.8698	0.8390	0.8136	0.8106
HD 400x347	9.86	0.9276	0.8746	0.8424	0.8198	0.8207
HD400x509	9.29	0.9335	0.8798	0.8455	0.8253	0.8292
HD 400x900	8.29	0.9539	0.9052	0.8701	0.8553	0.8631
HD 400x1299	7.54	0.9645	0.9198	0.8851	0.8728	0.8809

Tabela 70 - Fator de Redução para $L\theta = 2,0$ m.

Comprimento de Flambagem 2 m						
Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	χ_z			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	0.8730	0.7794	0.7493		
HEA 280	14.55	0.9101	0.8510	0.8243		
HEA 320	13.12	0.9238	0.8689	0.8411	0.8332	0.8073
HEA 360	12.38	0.9258	0.8795	0.8504	0.8246	0.8220
HEA 450	11.21	0.9221	0.8701	0.8336	0.7987	0.7837
HEA 500	10.75	0.9206	0.8661	0.8258	0.7869	0.7669
HEA 600	10.06	0.9161	0.8586	0.8129	0.7775	0.7490
HEA 700	9.57	0.9141	0.8630	0.8183	0.7820	0.7469
HEA 800	9.20	0.9101	0.8557	0.8061	0.7641	0.7211
HEA 1000	8.69	0.8980	0.8376	0.7775		
UC 254 x 254 x 73	15.73	0.8892	0.8156	0.7879		
UC 254 x 254 x 167	14.46	0.9053	0.8243	0.8026		
UC 305 x 305 x 97	13.05	0.9263	0.8723	0.8452	0.8373	0.8109
UC 305 x 305 x 158	12.54	0.9335	0.8752	0.8490	0.8443	0.8218
UC 305 x 305 x 313	11.50	0.9453	0.8863	0.8587	0.8429	0.8523
UC 356 x 368 x 202	10.68	0.9648	0.9284	0.9067	0.8883	0.8856
UC 356 x 406 x 340	9.88	0.9771	0.9405	0.9190	0.9040	0.9044
UC 356 x 406 x 592	9.05	0.9849	0.9480	0.9245	0.9119	0.9153
UC 356 x 406 x 744	8.65	0.9899	0.9540	0.9299	0.9186	0.9230
UC 356 x 406 x 1086	7.92	0.9994	0.9664	0.9423	0.9334	0.9391
HD 260x93	15.38	0.8986	0.8248	0.8003		
HD 260x172	14.36	0.9091	0.8316	0.8109		
HD 320x74.2	13.31	0.9199	0.8680	0.8385	0.8117	0.8127
HD 320x198	12.37	0.9324	0.8710	0.8442	0.8255	0.8353
HD 320x300	11.72	0.9398	0.8782	0.8500	0.8337	0.8444
HD 400x237	10.33	0.9725	0.9377	0.9171	0.9004	0.8985
HD 400x347	9.86	0.9775	0.9409	0.9194	0.9045	0.9051
HD400x509	9.29	0.9817	0.9444	0.9214	0.9081	0.9106

HD 400x900	8.29	0.9961	0.9619	0.9379	0.9279	0.9332
HD 400x1299	7.54	1.0000	0.9720	0.9480	0.9397	0.9452

1.9. Resistência à Flambagem

Tabela 71 – Resistência à flambagem para $L\theta=3,0$ m.

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	N fi,Rd,z [N]			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	2994682				
HEA 280	14.55	4330003				
HEA 320	13.12	5422495	2845285	1887370	1222621	711821
HEA 360	12.38	6522888	3753530	2599569	1625288	1024166
HEA 450	11.21	7814620	4553353	3095282	1987359	1327405
HEA 500	10.75	8531499	4987327	3362748	2181517	1487214
HEA 600	10.06	9651237	5784535	3920907	2758755	1925496
HEA 700	9.57	11647908	7480749	5291450	3756150	2595208
HEA 800	9.20	12601179	8196776	5771561	4112742	2863398
HEA 1000	8.69	13939624	9446149	6657829		
UC 254 x 254 x 73	15.73	3980775				
UC 254 x 254 x 167	14.46	7347623				
UC 305 x 305 x 97	13.05	5557723	2937268	1948711	1264471	740025
UC 305 x 305 x 158	12.54	7805682	3785266	2385128	1588852	997614
UC 305 x 305 x 313	11.50	13536092	6124197	3614250	2405287	1784795
UC 356 x 368 x 202	10.68	11042777	6105577	4036442	2653483	1821691
UC 356 x 406 x 340	9.88	16521364	8649647	5424446	3629176	2637808
UC 356 x 406 x 592	9.05	26026191	13117945	7814036	5307010	4077831
UC 356 x 406 x 744	8.65	31219912	15690672	9210482	6288797	4923924
UC 356 x 406 x 1086	7.92	42136206	21262349	12234277	8404061	6741970
HD 260x93	15.38	4591929				
HD 260x172	14.36	7506396				
HD 320x74.2	13.31	4514160	2568661	1757257	1079799	657177
HD 320x198	12.37	9125913	4208409	2578886	1671609	1165952
HD 320x300	11.72	12754951	5670474	3340989	2215448	1635457
HD 400x237	10.33	12642743	6904876	4496894	2978915	2082442
HD 400x347	9.86	16802530	8774118	5489468	3673612	2674849
HD400x509	9.29	23316290	11805456	7107959	4807680	3646277
HD 400x900	8.29	35337785	17814708	10367910	7102390	5625031
HD 400x1299	7.54	50005012	25706146	14877655	10344431	8444598

Tabela 72 - Resistência à flambagem o para $L\theta=2,1$ m.

Perfil	20 °C	N fi,Rd,z [N]			
		R30	R60	R90	R120

	Am/V [m⁻¹]		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	3463864	1635109	1102671		
HEA 280	14.55	4831553	2632020	1847309		
HEA 320	13.12	5979964	3305269	2260695		
HEA 360	12.38	7181873	4312615	3081172	1984333	1254164
HEA 450	11.21	8630525	5282804	3739669	2502240	1701811
HEA 500	10.75	9433830	5810891	4099543	2785942	1945622
HEA 600	10.06	10712458	6794418	4853468	3563413	2572896
HEA 700	9.57	12951957	8744516	6508274	4825682	3476164
HEA 800	9.20	14060969	9657868	7203362	5397961	3950909
HEA 1000	8.69	15727299	11359129	8599634		
UC 254 x 254 x 73	15.73	4529696	2308459	1622998		
UC 254 x 254 x 167	14.46	8234264	3607133	2325571		
UC 305 x 305 x 97	13.05	6116733	3399848	2323365		
UC 305 x 305 x 158	12.54	8541473	4368308	2831389	1896054	1222020
UC 305 x 305 x 313	11.50	14680289	6988135	4244862	2875159	2110873
UC 356 x 368 x 202	10.68	11815768	6708245	4517846	3021848	2080087
UC 356 x 406 x 340	9.88	17542694	9413722	6006345	4072102	2958603
UC 356 x 406 x 592	9.05	27508199	14198778	8612718	5912184	4529369
UC 356 x 406 x 744	8.65	32904612	16911589	10106997	6965521	5433623
UC 356 x 406 x 1086	7.92	44182333	22728290	13297081	9196967	7345361
HD 260x93	15.38	5178202	2526209	1747415		
HD 260x172	14.36	8383123	3643105	2335124		
HD 320x74.2	13.31	4994439	2986762	2111075	1338582	813735
HD 320x198	12.37	9994676	4877725	3078016	2038750	1405925
HD 320x300	11.72	13889932	6523744	3961511	2676163	1951452
HD 400x237	10.33	13462166	7531271	4987223	3353367	2348503
HD 400x347	9.86	17837365	9546615	6076349	4119884	2998178
HD400x509	9.29	24690651	12811235	7854145	5374130	4066697
HD 400x900	8.29	37117745	19098517	11306529	7806186	6156535
HD 400x1299	7.54	52315030	27380805	16102887	11265175	9158853

Tabela 73 - Resistência à flambagem para L₀=1,5 m.

Comprimento de Flambagem 1,5 m						
Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	N _{fi,Rd,z} [N]			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	3748860	1861381	1279252		
HEA 280	14.55	5143880	2879165	2049286		
HEA 320	13.12	6331294	3584168	2485588	1631405	993400
HEA 360	12.38	7597926	4653350	3371577	2200920	1392986
HEA 450	11.21	9143914	5725313	4127903	2816005	1932324
HEA 500	10.75	10000854	6309675	4543893	3157154	2232124
HEA 600	10.06	11376717	7404513	5417921	4061368	2985542

HEA 700	9.57	13766745	9509056	7243454	5485080	4039074
HEA 800	9.20	14970005	10539884	8072535	6203438	4670335
HEA 1000	8.69	16829971	12511472	9801289		
UC 254 x 254 x 73	15.73	4866194	2573080	1838155		
UC 254 x 254 x 167	14.46	8784231	4001551	2611389		
UC 305 x 305 x 97	13.05	6469826	3680745	2549122	1675665	1026188
UC 305 x 305 x 158	12.54	9009352	4722845	3100422	2081153	1357475
UC 305 x 305 x 313	11.50	15416062	7516785	4625839	3158239	2307567
UC 356 x 368 x 202	10.68	12322043	7089653	4816785	3247540	2238134
UC 356 x 406 x 340	9.88	18068957	9902852	6371484	4346548	3157440
UC 356 x 406 x 592	9.05	28095907	14895605	9116365	6289618	4811805
UC 356 x 406 x 744	8.65	33429078	17703224	10675190	7390029	5754622
UC 356 x 406 x 1086	7.92	44438798	23685451	13978612	9701118	7731110
HD 260x93	15.38	5539970	2801641	1964798		
HD 260x172	14.36	8928642	4025485	2609737		
HD 320x74.2	13.31	5296064	3240171	2324208	1495290	908504
HD 320x198	12.37	10546547	5283924	3378752	2260183	1550490
HD 320x300	11.72	14615956	7043405	4335661	2953734	2141849
HD 400x237	10.33	13935500	7931167	5294396	3584753	2512669
HD 400x347	9.86	18365297	10041305	6444741	4396525	3198700
HD400x509	9.29	25306541	13457481	8323403	5726291	4328620
HD 400x900	8.29	37460856	19937091	11905880	8251415	6494428
HD 400x1299	7.54	52380175	28359037	16892849	11854138	9618123

Tabela 74 - Resistência à flambagem para $L\theta=4,0$ m

Comprimento de Flambagem 4 m

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	N fi,cr,z [N]			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03					
HEA 280	14.55					
HEA 320	13.12	4742820	2300334	1465386	938919	528287
HEA 360	12.38	5719963	3082734	2045449	1233529	774667
HEA 450	11.21	6819374	3687787	2378122	1459568	958120
HEA 500	10.75	7430452	4015410	2556523	1580339	1054481
HEA 600	10.06	8355453	4606190	2930766	1977817	1342021
HEA 700	9.57	10055449	5995937	3982834	2705992	1805425
HEA 800	9.20	10818801	6499924	4276757	2908099	1949583
HEA 1000	8.69	11764365	7298836	4773211		
UC 254 x 254 x 73	15.73					
UC 254 x 254 x 167	14.46					
UC 305 x 305 x 97	13.05	4876732	2386801	1521824	976607	551730
UC 305 x 305 x 158	12.54	6912327	3089036	1872966	1239365	754326
UC 305 x 305 x 313	11.50	12158168	5080952	2878347	1872276	1408315
UC 356 x 368 x 202	10.68	10129610	5372016	3448957	2207951	1509847

UC 356 x 406 x 340	9.88	15331973	7726139	4714182	3089008	2246538
UC 356 x 406 x 592	9.05	24316651	11819318	6840469	4568009	3526459
UC 356 x 406 x 744	8.65	29288347	14231848	8120011	5462743	4302350
UC 356 x 406 x 1086	7.92	39816721	19533534	10951418	7441307	6011947
HD 260x93	15.38					
HD 260x172	14.36					
HD 320x74.2	13.31	3928031	2073932	1359406	805854	491057
HD 320x198	12.37	8070489	3413220	2011215	1270206	897917
HD 320x300	11.72	11382373	4648120	2627487	1702524	1275899
HD 400x237	10.33	11683218	6146273	3898245	2522803	1758630
HD 400x347	9.86	15597936	7840674	4773169	3129279	2280415
HD400x509	9.29	21724606	10593403	6197618	4116230	3132926
HD 400x900	8.29	33312283	16293171	9231351	6245582	4979615
HD 400x1299	7.54	47399465	23743997	13405596	9230915	7584397

Tabela 75 - Resistência à flambagem para $L_0=2,8$ m.

Comprimento de Flambagem 2,8 m						
Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	N fi,Rd,z [N]			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	3103371				
HEA 280	14.55	4445800				
HEA 320	13.12	5550697	2951802	1973221	1281090	751402
HEA 360	12.38	6674335	3883084	2710671	1707232	1076585
HEA 450	11.21	8002361	4722291	3243003	2102943	1410466
HEA 500	10.75	8739223	5177968	3531017	2315967	1587420
HEA 600	10.06	9895862	6017993	4132303	2936328	2064629
HEA 700	9.57	11948681	7773149	5568190	3993079	2784150
HEA 800	9.20	12938215	8534322	6094658	4392979	3090600
HEA 1000	8.69	14353342	9885462	7086351		
UC 254 x 254 x 73	15.73	4107937				
UC 254 x 254 x 167	14.46	7552551				
UC 305 x 305 x 97	13.05	5686172	3044422	2034996	1323394	780371
UC 305 x 305 x 158	12.54	7974312	3920350	2488034	1659582	1048751
UC 305 x 305 x 313	11.50	13797075	6324369	3760033	2513413	1860060
UC 356 x 368 x 202	10.68	11217563	6243957	4147676	2738822	1881563
UC 356 x 406 x 340	9.88	16751014	8824271	5558470	3731577	2711967
UC 356 x 406 x 592	9.05	26358267	13364189	7997670	5446669	4181940
UC 356 x 406 x 744	8.65	31596593	15968098	9416217	6444678	5041170
UC 356 x 406 x 1086	7.92	42591926	21593590	12476992	8585787	6879949
HD 260x93	15.38	4727598				
HD 260x172	14.36	7708860				
HD 320x74.2	13.31	4624747	2665468	1838539	1138415	692660
HD 320x198	12.37	9325099	4363434	2693800	1755441	1221006
HD 320x300	11.72	13014425	5868192	3484123	2321071	1708215

HD 400x237	10.33	12827379	7048200	4609890	3065541	2144012
HD 400x347	9.86	17035178	8950640	5624623	3776775	2749583
HD400x509	9.29	23624689	12034948	7279691	4938523	3743330
HD 400x900	8.29	35734736	18105387	10582654	7264015	5746854
HD 400x1299	7.54	50518653	26083576	15156791	10554930	8607519

Tabela 76 - Resistência à flambagem para $L\theta=2,0$ m

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	N fi,Rd,z [N]			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	3512717	1674452	1133315		
HEA 280	14.55	4884492	2674623	1882306		
HEA 320	13.12	6039255	3353131	2299546	1504304	905537
HEA 360	12.38	7252043	4370915	3131239	2021861	1278227
HEA 450	11.21	8717213	5358718	3806836	2556763	1741891
HEA 500	10.75	9529620	5896551	4176520	2850482	1995419
HEA 600	10.06	10824833	6899396	4951425	3649993	2644503
HEA 700	9.57	13089889	8875921	6635773	4940335	3573820
HEA 800	9.20	14215050	9809741	7354310	5537938	4075124
HEA 1000	8.69	15914915	11558337	8808568		
UC 254 x 254 x 73	15.73	4587106	2354367	1660405		
UC 254 x 254 x 167	14.46	8327625	3675476	2375224		
UC 305 x 305 x 97	13.05	6176274	3448007	2362332	1547809	936975
UC 305 x 305 x 158	12.54	8620192	4429043	2877786	1928009	1245500
UC 305 x 305 x 313	11.50	14803632	7078404	4310415	2924044	2144768
UC 356 x 368 x 202	10.68	11900166	6772519	4568571	3060363	2107080
UC 356 x 406 x 340	9.88	17655070	9495836	6068061	4118711	2992367
UC 356 x 406 x 592	9.05	27672023	14315496	8697696	5976121	4577161
UC 356 x 406 x 744	8.65	33091367	17043955	10202700	7037279	5487809
UC 356 x 406 x 1086	7.92	44410280	22888504	13411431	9281791	7410148
HD 260x93	15.38	5239745	2573931	1785186		
HD 260x172	14.36	8475616	3709282	2382792		
HD 320x74.2	13.31	5045405	3030259	2147914	1365781	830182
HD 320x198	12.37	10087557	4947391	3129935	2077112	1430927
HD 320x300	11.72	14011844	6612691	4026022	2724183	1984321
HD 400x237	10.33	13552070	7598464	5039172	3392707	2376431
HD 400x347	9.86	17951252	9629653	6138607	4166858	3032220
HD400x509	9.29	24842286	12919596	7933397	5433859	4111085
HD 400x900	8.29	37315716	19238422	11407229	7881225	6213389
HD 400x1299	7.54	52380175	27564484	16235204	11364073	9235845

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

ANEXO II

MÉTODO AVANÇADO DE CÁLCULO – ANSYS *Mechanical* APDL

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

2. MÉTODO AVANÇADO DE CÁLCULO: ANSYS *Mechanical* APDL

2.1. Cenário Fogo 4 lados

2.1.1. Banzo do Perfil Metálico

Tabela 77 - Temperatura média do banzo no cenário fogo 4 lados - ANSYS

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	$\theta_{f,t}$ [°C] Temperatura média do banzo			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	676.9	870.5	952.4	1003.9
HEA 280	14.55	665.9	862.3	946.1	998.5
HEA 320	13.12	653.5	856.3	943.5	996.4
HEA 360	12.38	641.4	848.5	939.6	993.3
HEA 450	11.21	620.8	835.0	934.6	989.4
HEA 500	10.75	610.2	827.5	932.3	987.8
HEA 600	10.06	599.7	820.3	930.3	986.2
HEA 700	9.57	588.2	811.1	926.9	984.0
HEA 800	9.20	583.5	807.4	925.7	983.2
HEA 1000	8.69	590.6	812.4	926.1	983.3
UC 254 x 254 x 73	15.73	675.3	881.1	969.5	1023.7
UC 254 x 254 x 167	14.46	583.7	820.1	952.9	1014.8
UC 305 x 305 x 97	13.05	668.9	877.1	966.9	1021.6
UC 305 x 305 x 158	12.54	610.9	839.8	955.9	1014.7
UC 305 x 305 x 313	11.50	506.0	758.5	914.6	994.9
UC 356 x 368 x 202	10.68	595.4	828.0	950.9	1010.6
UC 356 x 406 x 340	9.88	502.2	746.6	896.7	970.8
UC 356 x 406 x 592	9.05	425.0	698.7	843.0	956.8
UC 356 x 406 x 744	8.65	391.9	668.7	809.5	927.9
UC 356 x 406 x 1086	7.92	321.7	587.2	730.6	837.4
HD 260 x 93,0	15.38	661.3	875.7	969.0	1024.0
HD 260 x 172	14.36	580.2	816.8	952.0	1014.2
HD 320 x 74,2	13.31	694.8	888.2	971.1	1024.3
HD 320 x 198	12.37	575.7	811.5	946.7	1009.8
HD 320 x 300	11.72	510.3	761.3	917.6	996.4
HD 400 x 237	10.33	569.2	806.2	940.4	1003.4
HD 400 x 347	9.86	511.9	763.6	918.0	995.0
HD 400 x 509	9.29	449.3	718.5	867.6	971.9
HD 400 x 900	8.29	375.3	651.6	793.7	908.6
HD 400 x 1299	7.54	317.1	578.8	720.2	825.4

2.1.2 Alma do Perfil Metálico

Tabela 78 - Temperatura média da alma no cenário fogo 4 lados - ANSYS

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	$\theta_{w,t}$ [°C] Temperatura média da alma			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	310.4	535.4	685.8	786.7
HEA 280	14.55	263.1	454.8	600.5	706.1
HEA 320	13.12	230.0	400.8	539.9	645.8
HEA 360	12.38	211.3	369.3	502.7	607.5
HEA 450	11.21	171.9	306.8	423.1	524.3
HEA 500	10.75	154.6	280.3	386.9	485.2
HEA 600	10.06	212.3	349.2	453.4	540.8
HEA 700	9.57	114.8	217.4	302.6	384.7
HEA 800	9.20	102.1	195.3	274.3	349.0
HEA 1000	8.69	87.2	167.2	238.1	303.0
UC 254 x 254 x 73	15.73	261.9	481.0	639.9	749.7
UC 254 x 254 x 167	14.46	278.5	522.5	691.2	798.3
UC 305 x 305 x 97	13.05	243.3	423.4	566.0	673.9
UC 305 x 305 x 158	12.54	236.2	436.1	590.9	702.3
UC 305 x 305 x 313	11.50	207.5	432.0	585.1	708.1
UC 356 x 368 x 202	10.68	205.4	381.1	517.6	623.7
UC 356 x 406 x 340	9.88	180.3	371.2	505.4	618.4
UC 356 x 406 x 592	9.05	150.9	347.7	491.1	607.0
UC 356 x 406 x 744	8.65	135.1	325.4	473.6	583.2
UC 356 x 406 x 1086	7.92	97.6	261.6	411.2	522.5
HD 260 x 93,0	15.38	289.9	514.3	673.2	779.9
HD 260 x 172	14.36	274.3	516.4	685.8	794.4
HD 320 x 74,2	13.31	243.9	412.9	549.5	656.3
HD 320 x 198	12.37	226.9	433.2	590.9	705.8
HD 320 x 300	11.72	207.3	428.8	583.2	706.5
HD 400 x 237	10.33	200.1	382.3	519.5	626.7
HD 400 x 347	9.86	183.9	380.5	518.3	634.8
HD 400 x 509	9.29	160.1	358.9	498.8	618.2
HD 400 x 900	8.29	124.0	308.8	459.4	566.7
HD 400 x 1299	7.54	95.2	255.1	401.0	509.5

2.1.3 Concreto

Tabela 79 - Temperatura média do concreto residual no cenário fogo 4 lados- ANSYS

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	$\theta_{c,t}$ [°C] Temperatura média do concreto			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	244.8	389.2	505.0	-
HEA 280	14.55	206.8	322.8	425.1	483.9
HEA 320	13.12	190.3	288.0	377.6	453.8

HEA 360	12.38	183.7	275.1	357.9	431.9
HEA 450	11.21	168.4	249.8	318.8	383.5
HEA 500	10.75	162.0	240.0	302.7	364.8
HEA 600	10.06	153.4	226.2	283.7	336.9
HEA 700	9.57	147.0	218.1	272.8	320.3
HEA 800	9.20	143.1	211.1	263.0	306.4
HEA 1000	8.69	136.9	201.1	250.5	290.3
UC 254 x 254 x 73	15.73	227.2	361.3	455.4	-
UC 254 x 254 x 167	14.46	224.4	367.4	460.3	-
UC 305 x 305 x 97	13.05	190.6	289.5	380.0	447.2
UC 305 x 305 x 158	12.54	189.6	294.7	388.5	454.0
UC 305 x 305 x 313	11.50	180.9	292.8	389.3	454.2
UC 356 x 368 x 202	10.68	163.3	247.4	319.6	387.6
UC 356 x 406 x 340	9.88	153.7	240.7	312.2	378.1
UC 356 x 406 x 592	9.05	140.9	234.4	309.2	373.8
UC 356 x 406 x 744	8.65	135.0	230.2	305.0	370.3
UC 356 x 406 x 1086	7.92	121.3	215.4	290.2	359.9
HD 260 x 93,0	15.38	225.4	360.1	454.3	-
HD 260 x 172	14.36	221.9	362.7	456.1	-
HD 320 x 74,2	13.31	192.0	288.2	376.0	444.0
HD 320 x 198	12.37	142.3	220.3	286.3	343.0
HD 320 x 300	11.72	189.9	302.7	404.9	471.7
HD 400 x 237	10.33	158.4	241.8	311.6	378.8
HD 400 x 347	9.86	153.4	240.6	312.5	378.3
HD 400 x 509	9.29	144.6	236.5	310.6	375.0
HD 400 x 900	8.29	134.3	242.5	331.7	393.7
HD 400 x 1299	7.54	121.2	215.4	290.5	358.4

Tabela 80 - Redução da espessura do concreto no cenário fogo 4 lados - ANSYS

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	b c,fi,v [mm] Redução do concreto ANSYS				b c,fi,h [mm] Redução do concreto ANSYS			
		R30	R60	R90	R120	R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	9.8	30.4	-	-	11.8	27.4	-	-
HEA 280	14.55	8.2	25.6	49.0	-	11.3	23.6	38.9	-
HEA 320	13.12	6.1	23.6	46.0	73.1	11.3	23.6	35.8	55.0
HEA 360	12.38	6.0	22.9	42.9	73.1	11.9	22.9	34.9	51.0
HEA 450	11.21	5.0	20.9	41.9	67.2	11.9	20.9	30.8	42.9
HEA 500	10.75	5.0	21.9	43.9	63.2	11.9	22.9	32.8	41.9
HEA 600	10.06	5.0	20.9	41.9	64.9	10.9	22.9	31.8	40.9
HEA 700	9.57	4.0	21.1	42.2	67.0	12.0	22.2	31.3	40.2
HEA 800	9.20	4.0	21.1	42.2	67.0	11.1	22.2	31.3	39.2
HEA 1000	8.69	4.0	21.1	42.2	68.0	11.1	22.2	31.3	38.2
UC 254 x 254 x 73	15.73	8.2	27.7	65.1	-	11.3	25.6	49.0	-
UC 254 x 254 x 167	14.46	3.1	23.6	65.1	-	11.3	25.6	49.0	-

UC 305 x 305 x 97	13.05	7.2	23.6	44.0	75.0	11.3	23.6	34.8	57.0
UC 305 x 305 x 158	12.54	4.1	21.5	44.0	79.0	11.3	23.6	36.9	58.1
UC 305 x 305 x 313	11.50	0.0	16.4	37.9	73.0	11.3	23.6	35.8	55.1
UC 356 x 368 x 202	10.68	4.0	17.9	34.8	54.1	11.3	21.9	33.8	47.0
UC 356 x 406 x 340	9.88	0.0	14.9	29.9	47.0	10.9	22.9	32.9	42.9
UC 356 x 406 x 592	9.05	0.0	9.0	23.9	42.9	10.9	22.9	35.8	41.9
UC 356 x 406 x 744	8.65	0.0	7.0	20.9	38.9	10.9	22.9	35.2	42.9
UC 356 x 406 x 1086	7.92	0.0	5.0	15.9	27.9	10.9	22.9	34.0	43.5
HD 260 x 93,0	15.38	6.1	26.6	63.1	-	11.3	25.1	48.0	-
HD 260 x 172	14.36	3.1	22.5	60.1	-	11.3	22.5	48.0	-
HD 320 x 74,2	13.31	8.2	25.6	45.0	73.1	10.2	22.5	34.8	55.0
HD 320 x 198	12.37	-	-	-	-	-	-	-	-
HD 320 x 300	11.72	-	-	-	-	-	-	-	-
HD 400 x 237	10.33	4.0	22.9	33.8	51.0	12.9	17.9	32.8	43.9
HD 400 x 347	9.86	2.0	14.9	27.9	50.0	11.9	23.9	32.8	42.9
HD 400 x 509	9.29	0.0	11.9	25.9	44.9	10.9	21.9	33.8	42.9
HD 400 x 900	8.29	0.0	14.0	17.9	34.8	10.9	21.9	29.9	42.9
HD 400 x 1299	7.54	0.0	4.0	13.9	27.9	10.9	20.9	30.8	40.9

2.1.4 Reforço

Tabela 81 - Temperatura média do reforço no cenário fogo 4 lados - ANSYS

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	$\theta_{s,t}$ [°C] Temperatura média			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	196.5	423.1	581.5	693.5
HEA 280	14.55	192.2	399.1	544.5	652.3
HEA 320	13.12	188.1	390.7	531.9	637.3
HEA 360	12.38	190.1	389.1	527.8	630.4
HEA 450	11.21	186.2	384.7	523.5	625.2
HEA 500	10.75	184.5	382.6	521.6	623.3
HEA 600	10.06	150.5	324.4	457.0	558.6
HEA 700	9.57	154.9	326.7	457.9	558.3
HEA 800	9.20	154.6	326.2	457.5	558.0
HEA 1000	8.69	155.3	327.8	459.6	560.1
UC 254 x 254 x 73	15.73	197.9	419.3	575.8	689.3
UC 254 x 254 x 167	14.46	181.2	402.7	565.1	684.6
UC 305 x 305 x 97	13.05	193.4	401.1	545.8	653.8
UC 305 x 305 x 158	12.54	183.4	390.0	538.4	650.3
UC 305 x 305 x 313	11.50	168.2	369.0	518.0	634.5
UC 356 x 368 x 202	10.68	185.2	382.7	521.8	625.6
UC 356 x 406 x 340	9.88	169.9	358.3	492.7	596.0
UC 356 x 406 x 592	9.05	162.3	348.2	483.1	590.1

UC 356 x 406 x 744	8.65	157.9	339.4	473.2	579.1
UC 356 x 406 x 1086	7.92	149.2	319.1	449.9	551.9
HD 260 x 93,0	15.38	193.7	414.4	572.1	686.8
HD 260 x 172	14.36	180.3	399.8	561.5	681.0
HD 320 x 74,2	13.31	199.4	407.1	549.5	655.7
HD 320 x 198	12.37	177.9	384.1	534.2	648.3
HD 320 x 300	11.72	168.7	371.0	521.3	638.3
HD 400 x 237	10.33	182.4	378.8	517.2	620.8
HD 400 x 347	9.86	174.0	367.2	504.9	611.0
HD 400 x 509	9.29	165.4	353.8	489.6	596.8
HD 400 x 900	8.29	154.3	331.8	464.6	569.1
HD 400 x 1299	7.54	145.6	311.3	438.9	538.4

2.2. Cenário fogo de 1 lado

2.2.1 Banzo do Perfil Metálico Exposto ao Fogo

Tabela 82 - Temperatura média do banzo exposto ao fogo no cenário fogo de 1 lado – ANSYS.

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	θ f, e, t [°C] Temperatura média do banzo			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6.30	389.45	575.03	689.95	769.73
HEA 280	5.19	349.05	523.93	630.29	705.61
HEA 320	4.65	332.49	506.57	612.19	686.40
HEA 360	4.56	334.62	512.14	619.98	695.75
HEA 450	4.31	322.55	501.53	610.04	687.57
HEA 500	4.21	316.57	496.88	605.71	684.50
HEA 600	4.06	290.57	464.12	570.25	648.77
HEA 700	3.99	313.23	497.57	607.73	688.66
HEA 800	3.90	315.69	502.15	613.45	695.27
HEA 1000	3.79	320.72	502.08	611.08	690.59
UC 254 x 254 x 73	5.82	364.01	553.82	668.74	749.37
UC 254 x 254 x 167	5.36	306.61	500.24	618.85	710.46
UC 305 x 305 x 97	4.57	328.44	499.96	604.09	677.29
UC 305 x 305 x 158	4.41	290.55	465.99	571.98	651.18
UC 305 x 305 x 313	4.08	252.27	430.58	540.41	625.33
UC 356 x 368 x 202	3.58	266.84	433.27	532.95	605.94
UC 356 x 406 x 340	3.27	232.11	396.27	495.62	570.38
UC 356 x 406 x 592	3.03	207.32	368.06	472.80	548.73
UC 356 x 406 x 744	2.91	198.93	357.70	464.66	540.82
UC 356 x 406 x 1086	2.70	186.51	341.93	451.25	528.44
HD 260 x 93,0	5.65	355.72	552.61	672.84	758.59
HD 260 x 172	5.30	303.94	507.43	630.12	725.29

HD 320 x 74,2	4.69	350.55	528.61	632.45	687.26
HD 320 x 198	4.43	275.41	460.16	568.51	652.04
HD 320 x 300	4.24	250.78	434.94	547.09	633.61
HD 400 x 237	3.39	247.90	415.96	515.17	588.44
HD 400 x 347	3.26	230.77	401.12	503.21	579.66
HD 400 x 509	3.10	214.33	382.99	489.21	566.86
HD 400 x 900	2.81	191.51	353.42	464.77	543.02
HD 400 x 1299	2.55	182.72	340.79	453.00	531.46

2.2.2 Banzo do Perfil Metálico Não Exposto ao Fogo

Tabela 83 - Temperatura média do banzo não exposto ao fogo no cenário fogo de 1 lado – ANSYS.

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	θ f, ne, t [°C] Temperatura média do banzo			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6.30	92.3	178.9	264.5	340.9
HEA 280	5.19	71.2	136.9	197.3	256.0
HEA 320	4.65	64.0	125.8	179.9	232.6
HEA 360	4.56	67.4	133.1	191.9	247.4
HEA 450	4.31	69.9	140.4	203.4	261.3
HEA 500	4.21	71.3	144.4	209.9	269.4
HEA 600	4.06	76.8	155.8	224.9	286.7
HEA 700	3.99	74.6	154.4	225.2	288.4
HEA 800	3.90	74.8	155.1	228.7	293.1
HEA 1000	3.79	73.6	151.1	219.3	280.7
UC 254 x 254 x 73	5.82	86.4	169.2	250.1	323.0
UC 254 x 254 x 167	5.36	88.9	189.0	284.9	367.3
UC 305 x 305 x 97	4.57	60.8	120.0	170.9	220.9
UC 305 x 305 x 158	4.41	63.2	130.4	192.5	250.6
UC 305 x 305 x 313	4.08	61.4	137.9	211.6	279.2
UC 356 x 368 x 202	3.58	45.6	96.6	140.5	181.2
UC 356 x 406 x 340	3.27	41.6	92.9	140.3	184.0
UC 356 x 406 x 592	3.03	38.4	90.5	143.3	193.1
UC 356 x 406 x 744	2.91	36.5	87.0	140.7	191.7
UC 356 x 406 x 1086	2.70	34.0	82.3	137.4	190.5
HD 260 x 93,0	5.65	89.1	178.0	264.1	341.0
HD 260 x 172	5.30	90.7	194.7	292.5	377.4
HD 320 x 74,2	4.69	57.5	111.5	156.9	201.6
HD 320 x 198	4.43	67.5	144.0	216.1	281.8
HD 320 x 300	4.24	65.5	147.1	226.3	297.3
HD 400 x 237	3.39	42.0	90.0	133.0	171.8
HD 400 x 347	3.26	41.8	93.6	142.3	187.1
HD 400 x 509	3.10	39.7	92.4	145.1	194.4

HD 400 x 900	2.81	35.4	85.1	140.7	193.7
HD 400 x 1299	2.55	30.6	72.0	123.5	173.6

2.2.3 Alma do Perfil Metálico

Tabela 84 - Temperatura média da alma no cenário fogo de 1 lado - ANSYS

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	$\theta_{w,t}$ [°C] Temperatura média da alma			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6.30	92.4	190.1	292.7	379.4
HEA 280	5.19	67.9	141.5	212.1	285.6
HEA 320	4.65	58.2	123.4	182.1	245.9
HEA 360	4.56	57.0	121.1	179.5	241.6
HEA 450	4.31	51.1	108.7	163.2	217.4
HEA 500	4.21	48.4	102.7	155.5	206.5
HEA 600	4.06	44.1	92.5	141.4	187.9
HEA 700	3.99	41.9	87.2	134.1	178.7
HEA 800	3.90	39.3	80.9	125.0	167.4
HEA 1000	3.79	35.6	71.0	109.5	147.2
UC 254 x 254 x 73	5.82	82.1	171.0	264.4	347.6
UC 254 x 254 x 167	5.36	88.4	192.7	299.4	389.8
UC 305 x 305 x 97	4.57	56.7	120.0	176.9	238.6
UC 305 x 305 x 158	4.41	59.7	130.1	195.4	264.3
UC 305 x 305 x 313	4.08	60.6	139.6	216.2	291.9
UC 356 x 368 x 202	3.58	44.5	96.3	145.3	191.0
UC 356 x 406 x 340	3.27	42.6	96.2	148.5	197.1
UC 356 x 406 x 592	3.03	41.1	97.6	155.5	210.2
UC 356 x 406 x 744	2.91	39.8	95.8	154.9	211.1
UC 356 x 406 x 1086	2.70	37.2	91.9	152.5	210.8
HD 260 x 93,0	5.65	85.5	180.0	278.8	366.4
HD 260 x 172	5.30	88.3	193.6	302.1	395.1
HD 320 x 74,2	4.69	55.1	115.5	170.3	229.3
HD 320 x 198	4.43	62.2	138.7	211.3	286.0
HD 320 x 300	4.24	62.1	143.5	223.6	302.4
HD 400 x 237	3.39	41.8	91.1	139.0	182.7
HD 400 x 347	3.26	43.0	97.5	151.2	201.1
HD 400 x 509	3.10	42.0	98.8	156.6	210.9
HD 400 x 900	2.81	38.8	94.7	155.8	214.0
HD 400 x 1299	2.55	35.3	86.1	145.3	202.2

2.2.4 Concreto Exposto Ao Fogo

Tabela 85 - Temperatura média para o concreto exposto ao fogo no cenário fogo de 1 lado - ANSYS.

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	θ c, e, t [°C] Temperatura média			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6.30	186.41	279.20	358.00	410.57
HEA 280	5.19	151.58	232.33	299.02	351.37
HEA 320	4.65	143.09	216.88	273.91	322.42
HEA 360	4.56	142.20	214.63	270.52	316.64
HEA 450	4.31	135.62	204.04	255.92	297.70
HEA 500	4.21	133.00	199.61	249.82	289.96
HEA 600	4.06	129.40	192.38	240.57	280.43
HEA 700	3.99	126.93	189.13	237.64	274.63
HEA 800	3.90	125.92	186.25	232.99	268.04
HEA 1000	3.79	123.16	180.59	224.72	258.16
UC 254 x 254 x 73	5.82	173.03	260.99	338.32	391.61
UC 254 x 254 x 167	5.36	169.18	265.47	352.46	411.80
UC 305 x 305 x 97	4.57	140.90	214.79	271.27	319.69
UC 305 x 305 x 158	4.41	140.67	215.83	277.41	331.07
UC 305 x 305 x 313	4.08	137.87	216.23	283.93	343.46
UC 356 x 368 x 202	3.58	128.77	182.19	222.11	261.76
UC 356 x 406 x 340	3.27	101.65	158.87	204.22	249.68
UC 356 x 406 x 592	3.03	124.53	185.96	229.41	263.14
UC 356 x 406 x 744	2.91	123.27	184.92	228.87	263.85
UC 356 x 406 x 1086	2.70	117.71	176.21	221.35	261.68
HD 260 x 93,0	5.65	170.45	259.94	338.66	393.67
HD 260 x 172	5.30	167.37	252.17	346.93	406.47
HD 320 x 74,2	4.69	151.67	224.09	283.64	318.75
HD 320 x 198	4.43	144.24	220.32	286.29	343.04
HD 320 x 300	4.24	141.32	220.19	290.59	350.80
HD 400 x 237	3.39	112.10	174.91	223.40	261.24
HD 400 x 347	3.26	110.51	174.84	225.06	265.74
HD 400 x 509	3.10	108.00	173.67	225.39	268.51
HD 400 x 900	2.81	104.67	170.30	223.49	269.85
HD 400 x 1299	2.55	103.08	167.35	220.55	266.17

Tabela 86 - Redução horizontal do concreto exposto ao fogo para o cenário fogo de 1 lado - ANSYS

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	b c,fi,h [mm] Redução do concreto			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6.30	10.8	23.5	38.2	
HEA 280	5.19	11.3	23.6	34.8	
HEA 320	4.65	11.3	22.5	32.8	42.9

HEA 360	4.56	10.9	22.9	31.8	41.9
HEA 450	4.31	10.9	22.9	30.8	39.9
HEA 500	4.21	10.9	21.9	30.8	38.9
HEA 600	4.06	10.9	22.9	30.8	38.9
HEA 700	3.99	11.1	21.9	31.3	38.2
HEA 800	3.90	11.1	21.9	31.3	38.2
HEA 1000	3.79	11.1	22.2	31.3	38.2
UC 254 x 254 x 73	5.82	11.3	23.6	35.8	
UC 254 x 254 x 167	5.36	11.3	22.5	35.8	
UC 305 x 305 x 97	4.57	11.3	22.5	32.8	43.0
UC 305 x 305 x 158	4.41	11.3	22.5	32.8	43.0
UC 305 x 305 x 313	4.08	11.3	22.5	32.8	43.0
UC 356 x 368 x 202	3.58	10.9	22.9	31.8	40.9
UC 356 x 406 x 340	3.27	10.9	21.9	31.8	39.9
UC 356 x 406 x 592	3.03	10.9	22.9	31.8	40.9
UC 356 x 406 x 744	2.91	10.9	22.9	31.8	39.9
UC 356 x 406 x 1086	2.70	10.9	21.9	31.8	39.7
HD 260 x 93,0	5.65	11.3	23.6	35.8	
HD 260 x 172	5.30	11.3	23.6	34.8	
HD 320 x 74,2	4.69	11.3	22.5	32.8	43.0
HD 320 x 198	4.43	11.3	22.5	32.8	43.0
HD 320 x 300	4.24	11.3	22.5	32.8	44.0
HD 400 x 237	3.39	10.9	22.9	31.8	39.9
HD 400 x 347	3.26	10.9	22.9	31.8	40.9
HD 400 x 509	3.10	10.9	22.9	31.8	39.9
HD 400 x 900	2.81	10.9	21.9	31.8	39.9
HD 400 x 1299	2.55	10.9	22.9	31.8	39.9

2.2.5 Concreto Não Exposto Ao Fogo

Tabela 87 - Temperatura média para o concreto não exposto - ANSYS

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	θ c, ne, t [°C] Temperatura média			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6.30	48.0	102.5	162.8	224.4
HEA 280	5.19	36.4	74.9	115.6	159.0
HEA 320	4.65	31.8	63.4	97.6	133.5
HEA 360	4.56	31.4	62.0	96.0	131.7
HEA 450	4.31	29.5	56.1	87.3	119.6
HEA 500	4.21	28.7	53.5	83.1	114.0
HEA 600	4.06	27.3	48.9	75.3	103.5
HEA 700	3.99	26.5	46.1	70.8	97.6
HEA 800	3.90	25.6	43.0	65.6	90.5

HEA 1000	3.79	24.3	38.5	57.4	78.7
UC 254 x 254 x 73	5.82	42.3	90.2	143.2	197.9
UC 254 x 254 x 167	5.36	43.9	99.3	162.2	225.5
UC 305 x 305 x 97	4.57	28.4	55.7	86.5	119.0
UC 305 x 305 x 158	4.41	29.1	59.7	94.6	131.8
UC 305 x 305 x 313	4.08	29.1	62.5	102.0	144.5
UC 356 x 368 x 202	3.58	25.3	46.4	72.1	97.9
UC 356 x 406 x 340	3.27	24.4	44.9	71.3	98.2
UC 356 x 406 x 592	3.03	23.7	44.3	72.4	101.9
UC 356 x 406 x 744	2.91	23.2	43.1	71.2	101.1
UC 356 x 406 x 1086	2.70	22.6	41.2	69.5	100.2
HD 260 x 93,0	5.65	43.5	94.0	150.0	207.7
HD 260 x 172	5.30	43.5	99.7	163.0	228.6
HD 320 x 74,2	4.69	31.9	62.7	95.4	128.8
HD 320 x 198	4.43	32.5	69.4	110.6	154.5
HD 320 x 300	4.24	32.1	70.8	115.3	162.7
HD 400 x 237	3.39	23.5	40.8	64.0	87.7
HD 400 x 347	3.26	24.9	45.7	72.8	100.5
HD 400 x 509	3.10	24.4	45.4	73.7	103.3
HD 400 x 900	2.81	23.3	42.6	71.2	102.0
HD 400 x 1299	2.55	22.2	38.2	64.6	93.7

2.2.6 Reforço Exposto Ao Fogo

Tabela 88 - Temperatura média do reforço exposto ao fogo para fogo de 1 lado - ANSYS.

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	θ s, e, t [°C] Temperatura média			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6.30	157.53	332.24	458.57	556.09
HEA 280	5.19	158.57	327.57	445.82	536.73
HEA 320	4.65	156.26	323.62	440.00	528.57
HEA 360	4.56	159.21	324.59	440.60	528.78
HEA 450	4.31	156.74	320.81	436.44	524.29
HEA 500	4.21	155.79	319.04	434.58	522.43
HEA 600	4.06	139.53	284.52	394.03	479.16
HEA 700	3.99	143.69	287.94	397.37	482.49
HEA 800	3.90	143.64	288.10	397.80	483.20
HEA 1000	3.79	144.06	288.84	398.22	483.13
UC 254 x 254 x 73	5.82	157.49	329.34	453.29	549.51
UC 254 x 254 x 167	5.36	149.31	316.20	443.22	543.03
UC 305 x 305 x 97	4.57	157.36	325.52	442.33	531.19
UC 305 x 305 x 158	4.41	150.91	315.02	432.04	522.38
UC 305 x 305 x 313	4.08	144.26	302.02	419.47	511.28
UC 356 x 368 x 202	3.58	152.85	313.51	427.23	513.15

UC 356 x 406 x 340	3.27	147.43	303.16	416.26	501.66
UC 356 x 406 x 592	3.03	142.09	291.41	403.21	488.26
UC 356 x 406 x 744	2.91	141.28	288.80	400.46	485.88
UC 356 x 406 x 1086	2.70	127.42	261.30	368.15	452.05
HD 260 x 93,0	5.65	158.04	331.98	458.75	557.78
HD 260 x 172	5.30	150.17	318.87	447.71	549.10
HD 320 x 74,2	4.69	162.45	335.24	454.19	543.55
HD 320 x 198	4.43	147.33	310.06	428.76	520.86
HD 320 x 300	4.24	143.12	301.14	419.93	512.96
HD 400 x 237	3.39	150.17	309.79	423.81	509.69
HD 400 x 347	3.26	146.85	303.19	417.39	503.53
HD 400 x 509	3.10	143.21	294.98	408.31	494.16
HD 400 x 900	2.81	137.38	283.30	394.97	480.74
HD 400 x 1299	2.55	137.60	279.32	389.13	474.33

2.2.7 Reforço Não Exposto Ao Fogo

Tabela 89 - Temperatura média do reforço não exposto ao fogo para o cenário fogo de 1 lado - ANSYS.

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	θ s, ne, t [°C] Temperatura média			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6.30	32.7	76.4	120.0	176.4
HEA 280	5.19	26.1	55.1	87.9	118.8
HEA 320	4.65	24.5	49.3	78.9	106.2
HEA 360	4.56	25.1	51.5	82.4	111.5
HEA 450	4.31	25.4	53.4	85.4	115.8
HEA 500	4.21	25.6	54.4	87.1	118.4
HEA 600	4.06	22.4	42.4	69.8	96.7
HEA 700	3.99	22.6	43.7	72.2	100.6
HEA 800	3.90	22.7	43.9	72.7	101.6
HEA 1000	3.79	22.7	43.8	72.1	100.1
UC 254 x 254 x 73	5.82	30.5	69.8	110.5	158.7
UC 254 x 254 x 167	5.36	30.8	75.3	122.7	182.7
UC 305 x 305 x 97	4.57	24.2	47.7	76.6	103.1
UC 305 x 305 x 158	4.41	24.5	51.0	83.3	113.6
UC 305 x 305 x 313	4.08	24.2	52.4	88.4	123.4
UC 356 x 368 x 202	3.58	21.4	36.4	59.6	82.5
UC 356 x 406 x 340	3.27	20.9	34.5	57.8	81.7
UC 356 x 406 x 592	3.03	20.6	33.7	58.2	84.2
UC 356 x 406 x 744	2.91	20.5	32.7	56.9	83.3
UC 356 x 406 x 1086	2.70	20.1	30.2	52.7	79.2
HD 260 x 93,0	5.65	30.8	71.3	113.6	164.1
HD 260 x 172	5.30	30.6	74.7	121.6	180.3

HD 320 x 74,2	4.69	24.1	45.2	72.2	97.4
HD 320 x 198	4.43	25.3	55.2	90.7	125.6
HD 320 x 300	4.24	25.0	55.7	93.5	131.6
HD 400 x 237	3.39	20.9	33.6	55.1	77.0
HD 400 x 347	3.26	21.0	34.4	57.8	81.9
HD 400 x 509	3.10	20.8	33.9	58.3	84.0
HD 400 x 900	2.81	20.4	31.8	55.6	82.4
HD 400 x 1299	2.55	20.1	28.7	49.5	75.2

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

ANEXO III

MÉTODO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO –
Aprimoramento para fogo 4 lados

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

3.MÉTODO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO: Aprimoramento para fogo 4 lados.

3.1 Banzos do perfil metálico

Tabela 90 - Temperatura média para o banzo - APRIMORAMENTO

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	θ f,t [°C] Temperatura média do banzo			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	691.4	899.0	978.6	1030.6
HEA 280	14.55	678.4	890.1	973.7	1026.4
HEA 320	13.12	662.2	877.7	968.2	1022.2
HEA 360	12.38	650.7	868.7	964.4	1019.4
HEA 450	11.21	631.0	853.1	957.9	1014.7
HEA 500	10.75	620.4	844.7	954.5	1012.3
HEA 600	10.06	609.0	835.7	950.8	1009.5
HEA 700	9.57	598.3	827.2	947.3	1007.1
HEA 800	9.20	592.6	822.7	945.4	1005.7
HEA 1000	8.69	599.8	829.1	947.5	1006.8
UC 254 x 254 x 73	15.73	682.0	885.7	985.4	1037.5
UC 254 x 254 x 167	14.46	626.2	840.7	947.8	1011.0
UC 305 x 305 x 97	13.05	667.6	877.1	979.6	1035.5
UC 305 x 305 x 158	12.54	637.8	852.8	959.2	1021.0
UC 305 x 305 x 313	11.50	566.2	794.3	909.9	985.8
UC 356 x 368 x 202	10.68	624.4	844.1	952.7	1017.9
UC 356 x 406 x 340	9.88	575.2	803.9	919.0	993.8
UC 356 x 406 x 592	9.05	486.9	731.0	857.4	949.4
UC 356 x 406 x 744	8.65	437.3	690.0	822.7	924.3
UC 356 x 406 x 1086	7.92	330.0	601.1	747.4	869.7
HD 260 x 93,0	15.38	688.2	886.1	984.1	1044.0
HD 260 x 172	14.36	640.8	848.6	953.7	1020.2
HD 320 x 74,2	13.31	666.1	880.3	989.0	1053.0
HD 320 x 198	12.37	608.1	832.2	948.1	1020.0
HD 320 x 300	11.72	565.2	796.1	917.2	994.8
HD 400 x 237	10.33	577.2	817.8	944.6	1021.7
HD 400 x 347	9.86	542.4	788.1	918.8	1000.5
HD 400 x 509	9.29	494.7	747.0	882.7	970.7
HD 400 x 900	8.29	391.2	656.0	801.5	903.1
HD 400 x 1299	7.54	310.4	584.8	737.8	850.0

Tabela 91 - Coeficientes de redução para a tensão de escoamento e o módulo de Elasticidade do aço para o banzo - APRIMORAMENTO

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	k y,θ				k E,θ			
		R30	R60	R90	R120	R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	0.2506	0.0605	0.0443	0.0339	0.1455	0.0677	0.0498	0.0381
HEA 280	14.55	0.2818	0.0650	0.0453	0.0347	0.1689	0.0697	0.0509	0.0391
HEA 320	13.12	0.3206	0.0711	0.0464	0.0356	0.1980	0.0725	0.0521	0.0400
HEA 360	12.38	0.3483	0.0756	0.0471	0.0361	0.2187	0.0745	0.0530	0.0406
HEA 450	11.21	0.3957	0.0834	0.0484	0.0371	0.2543	0.0780	0.0545	0.0417
HEA 500	10.75	0.4211	0.0877	0.0491	0.0375	0.2733	0.0800	0.0552	0.0422
HEA 600	10.06	0.4484	0.0921	0.0498	0.0381	0.2938	0.0820	0.0561	0.0429
HEA 700	9.57	0.4752	0.0964	0.0505	0.0386	0.3149	0.0839	0.0569	0.0434
HEA 800	9.20	0.4931	0.0987	0.0509	0.0389	0.3316	0.0849	0.0573	0.0437
HEA 1000	8.69	0.4706	0.0954	0.0505	0.0386	0.3106	0.0834	0.0568	0.0435
UC 254 x 254 x 73	15.73	0.2733	0.0672	0.0429	0.0325	0.1625	0.0707	0.0483	0.0366
UC 254 x 254 x 167	14.46	0.4070	0.0897	0.0504	0.0378	0.2628	0.0809	0.0568	0.0425
UC 305 x 305 x 97	13.05	0.3078	0.0714	0.0441	0.0329	0.1883	0.0726	0.0496	0.0370
UC 305 x 305 x 158	12.54	0.3793	0.0836	0.0482	0.0358	0.2420	0.0781	0.0542	0.0403
UC 305 x 305 x 313	11.50	0.5747	0.1169	0.0580	0.0428	0.4080	0.0923	0.0653	0.0482
UC 356 x 368 x 202	10.68	0.4114	0.0880	0.0495	0.0364	0.2660	0.0801	0.0556	0.0410
UC 356 x 406 x 340	9.88	0.5467	0.1080	0.0562	0.0412	0.3818	0.0891	0.0632	0.0464
UC 356 x 406 x 592	9.05	0.8088	0.1927	0.0813	0.0501	0.6131	0.1176	0.0771	0.0564
UC 356 x 406 x 744	8.65	0.9180	0.2540	0.0987	0.0551	0.6627	0.1480	0.0849	0.0620
UC 356 x 406 x 1086	7.92	1.0000	0.4673	0.1731	0.0751	0.7700	0.3080	0.1110	0.0743
HD 260 x 93,0	15.38	0.2584	0.0670	0.0432	0.0312	0.1513	0.0706	0.0486	0.0351
HD 260 x 172	14.36	0.3720	0.0857	0.0493	0.0360	0.2365	0.0791	0.0554	0.0404
HD 320 x 74,2	13.31	0.3114	0.0698	0.0422	0.0294	0.1910	0.0719	0.0475	0.0331
HD 320 x 198	12.37	0.4505	0.0939	0.0504	0.0360	0.2954	0.0828	0.0567	0.0405
HD 320 x 300	11.72	0.5778	0.1146	0.0566	0.0410	0.4108	0.0915	0.0636	0.0462
HD 400 x 237	10.33	0.5406	0.1011	0.0511	0.0357	0.3761	0.0860	0.0575	0.0401
HD 400 x 347	9.86	0.6485	0.1243	0.0562	0.0399	0.4770	0.0948	0.0633	0.0449
HD 400 x 509	9.29	0.7916	0.1736	0.0686	0.0459	0.6053	0.1112	0.0714	0.0516
HD 400 x 900	8.29	1.0000	0.3356	0.1093	0.0594	0.7088	0.2092	0.0897	0.0668
HD 400 x 1299	7.54	1.0000	0.5172	0.1847	0.0850	0.7896	0.3541	0.1149	0.0788

Tabela 92 – Tensão de escoamento reduzida do aço para o banzo - APRIMORAMENTO

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	f ay,f,t [Pa]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	8.90E+07	2.15E+07	1.57E+07	1.20E+07
HEA 280	14.55	1.00E+08	2.31E+07	1.61E+07	1.23E+07
HEA 320	13.12	1.14E+08	2.53E+07	1.65E+07	1.26E+07
HEA 360	12.38	1.20E+08	2.61E+07	1.63E+07	1.25E+07
HEA 450	11.21	1.37E+08	2.88E+07	1.67E+07	1.28E+07
HEA 500	10.75	1.45E+08	3.02E+07	1.69E+07	1.30E+07

HEA 600	10.06	1.55E+08	3.18E+07	1.72E+07	1.31E+07
HEA 700	9.57	1.64E+08	3.33E+07	1.74E+07	1.33E+07
HEA 800	9.20	1.70E+08	3.40E+07	1.76E+07	1.34E+07
HEA 1000	8.69	1.62E+08	3.29E+07	1.74E+07	1.33E+07
UC 254 x 254 x 73	15.73	9.70E+07	2.38E+07	1.52E+07	1.15E+07
UC 254 x 254 x 167	14.46	1.40E+08	3.09E+07	1.74E+07	1.30E+07
UC 305 x 305 x 97	13.05	1.09E+08	2.54E+07	1.56E+07	1.17E+07
UC 305 x 305 x 158	12.54	1.31E+08	2.88E+07	1.66E+07	1.24E+07
UC 305 x 305 x 313	11.50	1.93E+08	3.92E+07	1.94E+07	1.44E+07
UC 356 x 368 x 202	10.68	1.42E+08	3.03E+07	1.71E+07	1.26E+07
UC 356 x 406 x 340	9.88	1.83E+08	3.62E+07	1.88E+07	1.38E+07
UC 356 x 406 x 592	9.05	2.63E+08	6.26E+07	2.64E+07	1.63E+07
UC 356 x 406 x 744	8.65	2.89E+08	8.00E+07	3.11E+07	1.74E+07
UC 356 x 406 x 1086	7.92	2.95E+08	1.38E+08	5.11E+07	2.22E+07
HD 260 x 93,0	15.38	8.92E+07	2.31E+07	1.49E+07	1.08E+07
HD 260 x 172	14.36	1.28E+08	2.96E+07	1.70E+07	1.24E+07
HD 320 x 74,2	13.31	1.11E+08	2.48E+07	1.50E+07	1.04E+07
HD 320 x 198	12.37	1.55E+08	3.24E+07	1.74E+07	1.24E+07
HD 320 x 300	11.72	1.94E+08	3.84E+07	1.89E+07	1.37E+07
HD 400 x 237	10.33	1.87E+08	3.49E+07	1.76E+07	1.23E+07
HD 400 x 347	9.86	2.17E+08	4.16E+07	1.88E+07	1.34E+07
HD 400 x 509	9.29	2.65E+08	5.82E+07	2.30E+07	1.54E+07
HD 400 x 900	8.29	2.95E+08	9.90E+07	3.22E+07	1.75E+07
HD 400 x 1299	7.54	2.95E+08	1.53E+08	5.45E+07	2.51E+07

Tabela 93 – Módulo de elasticidade do aço para o banzo- APRIMORAMENTO

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	E a,f,t [Pa]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	3.05E+10	1.42E+10	1.05E+10	8.00E+09
HEA 280	14.55	3.55E+10	1.46E+10	1.07E+10	8.20E+09
HEA 320	13.12	4.16E+10	1.52E+10	1.10E+10	8.40E+09
HEA 360	12.38	4.59E+10	1.57E+10	1.11E+10	8.53E+09
HEA 450	11.21	5.34E+10	1.64E+10	1.14E+10	8.76E+09
HEA 500	10.75	5.74E+10	1.68E+10	1.16E+10	8.87E+09
HEA 600	10.06	6.17E+10	1.72E+10	1.18E+10	9.00E+09
HEA 700	9.57	6.61E+10	1.76E+10	1.19E+10	9.12E+09
HEA 800	9.20	6.96E+10	1.78E+10	1.20E+10	9.18E+09
HEA 1000	8.69	6.52E+10	1.75E+10	1.19E+10	9.13E+09
UC 254 x 254 x 73	15.73	3.41E+10	1.49E+10	1.01E+10	7.68E+09
UC 254 x 254 x 167	14.46	5.52E+10	1.70E+10	1.19E+10	8.93E+09
UC 305 x 305 x 97	13.05	3.95E+10	1.53E+10	1.04E+10	7.77E+09
UC 305 x 305 x 158	12.54	5.08E+10	1.64E+10	1.14E+10	8.46E+09

UC 305 x 305 x 313	11.50	8.57E+10	1.94E+10	1.37E+10	1.01E+10
UC 356 x 368 x 202	10.68	5.59E+10	1.68E+10	1.17E+10	8.61E+09
UC 356 x 406 x 340	9.88	8.02E+10	1.87E+10	1.33E+10	9.74E+09
UC 356 x 406 x 592	9.05	1.29E+11	2.47E+10	1.62E+10	1.18E+10
UC 356 x 406 x 744	8.65	1.39E+11	3.11E+10	1.78E+10	1.30E+10
UC 356 x 406 x 1086	7.92	1.62E+11	6.47E+10	2.33E+10	1.56E+10
HD 260 x 93,0	15.38	3.18E+10	1.48E+10	1.02E+10	7.37E+09
HD 260 x 172	14.36	4.97E+10	1.66E+10	1.16E+10	8.49E+09
HD 320 x 74,2	13.31	4.01E+10	1.51E+10	9.97E+09	6.95E+09
HD 320 x 198	12.37	6.20E+10	1.74E+10	1.19E+10	8.51E+09
HD 320 x 300	11.72	8.63E+10	1.92E+10	1.34E+10	9.70E+09
HD 400 x 237	10.33	7.90E+10	1.81E+10	1.21E+10	8.43E+09
HD 400 x 347	9.86	1.00E+11	1.99E+10	1.33E+10	9.43E+09
HD 400 x 509	9.29	1.27E+11	2.34E+10	1.50E+10	1.08E+10
HD 400 x 900	8.29	1.49E+11	4.39E+10	1.88E+10	1.40E+10
HD 400 x 1299	7.54	1.66E+11	7.44E+10	2.41E+10	1.65E+10

Tabela 94 – Resistência à compressão axial do banzo - APRIMORAMENTO

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	N fi,pl,rd,f [N]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	5.12E+05	1.24E+05	9.05E+04	6.93E+04
HEA 280	14.55	7.28E+05	1.68E+05	1.17E+05	8.97E+04
HEA 320	13.12	1.06E+06	2.35E+05	1.53E+05	1.17E+05
HEA 360	12.38	1.26E+06	2.74E+05	1.71E+05	1.31E+05
HEA 450	11.21	1.72E+06	3.63E+05	2.10E+05	1.61E+05
HEA 500	10.75	2.00E+06	4.17E+05	2.34E+05	1.79E+05
HEA 600	10.06	2.32E+06	4.77E+05	2.58E+05	1.97E+05
HEA 700	9.57	2.66E+06	5.39E+05	2.82E+05	2.16E+05
HEA 800	9.20	2.86E+06	5.72E+05	2.95E+05	2.25E+05
HEA 1000	8.69	2.53E+06	5.14E+05	2.72E+05	2.08E+05
UC 254 x 254 x 73	15.73	7.01E+05	1.72E+05	1.10E+05	8.34E+04
UC 254 x 254 x 167	14.46	2.36E+06	5.20E+05	2.93E+05	2.19E+05
UC 305 x 305 x 97	13.05	1.03E+06	2.38E+05	1.47E+05	1.10E+05
UC 305 x 305 x 158	12.54	2.04E+06	4.49E+05	2.59E+05	1.92E+05
UC 305 x 305 x 313	11.50	6.04E+06	1.23E+06	6.10E+05	4.51E+05
UC 356 x 368 x 202	10.68	2.87E+06	6.14E+05	3.45E+05	2.54E+05
UC 356 x 406 x 340	9.88	6.33E+06	1.25E+06	6.51E+05	4.78E+05
UC 356 x 406 x 592	9.05	1.60E+07	3.81E+06	1.61E+06	9.92E+05
UC 356 x 406 x 744	8.65	2.22E+07	6.14E+06	2.39E+06	1.33E+06
UC 356 x 406 x 1086	7.92	3.35E+07	1.56E+07	5.80E+06	2.52E+06
HD 260 x 93,0	15.38	8.11E+05	2.10E+05	1.36E+05	9.79E+04
HD 260 x 172	14.36	2.24E+06	5.15E+05	2.96E+05	2.16E+05
HD 320 x 74,2	13.31	7.30E+05	1.64E+05	9.89E+04	6.89E+04
HD 320 x 198	12.37	3.04E+06	6.35E+05	3.40E+05	2.43E+05

HD 320 x 300	11.72	5.82E+06	1.15E+06	5.69E+05	4.13E+05
HD 400 x 237	10.33	4.45E+06	8.32E+05	4.20E+05	2.94E+05
HD 400 x 347	9.86	7.67E+06	1.47E+06	6.65E+05	4.72E+05
HD 400 x 509	9.29	1.38E+07	3.03E+06	1.20E+06	8.01E+05
HD 400 x 900	8.29	2.76E+07	9.28E+06	3.02E+06	1.64E+06
HD 400 x 1299	7.54	3.93E+07	2.03E+07	7.26E+06	3.34E+06

Tabela 95 – Rigidez à flexão do banzo - APRIMORAMENTO

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	(EI) fi,f,z [Nm ²]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	8.45E+05	3.93E+05	2.89E+05	2.21E+05
HEA 280	14.55	1.69E+06	6.96E+05	5.09E+05	3.90E+05
HEA 320	13.12	2.90E+06	1.06E+06	7.64E+05	5.86E+05
HEA 360	12.38	3.62E+06	1.23E+06	8.77E+05	6.72E+05
HEA 450	11.21	5.05E+06	1.55E+06	1.08E+06	8.28E+05
HEA 500	10.75	5.94E+06	1.74E+06	1.20E+06	9.18E+05
HEA 600	10.06	6.94E+06	1.94E+06	1.32E+06	1.01E+06
HEA 700	9.57	8.03E+06	2.14E+06	1.45E+06	1.11E+06
HEA 800	9.20	8.77E+06	2.25E+06	1.52E+06	1.16E+06
HEA 1000	8.69	7.63E+06	2.05E+06	1.40E+06	1.07E+06
UC 254 x 254 x 73	15.73	1.33E+06	5.80E+05	3.96E+05	3.00E+05
UC 254 x 254 x 167	14.46	5.44E+06	1.67E+06	1.17E+06	8.80E+05
UC 305 x 305 x 97	13.05	2.89E+06	1.11E+06	7.61E+05	5.68E+05
UC 305 x 305 x 158	12.54	6.38E+06	2.06E+06	1.43E+06	1.06E+06
UC 305 x 305 x 313	11.50	2.37E+07	5.36E+06	3.79E+06	2.80E+06
UC 356 x 368 x 202	10.68	1.32E+07	3.98E+06	2.77E+06	2.04E+06
UC 356 x 406 x 340	9.88	3.75E+07	8.76E+06	6.21E+06	4.56E+06
UC 356 x 406 x 592	9.05	1.16E+08	2.22E+07	1.46E+07	1.06E+07
UC 356 x 406 x 744	8.65	1.66E+08	3.71E+07	2.13E+07	1.56E+07
UC 356 x 406 x 1086	7.92	3.15E+08	1.26E+08	4.55E+07	3.04E+07
HD 260 x 93,0	15.38	1.63E+06	7.60E+05	5.23E+05	3.78E+05
HD 260 x 172	14.36	5.18E+06	1.73E+06	1.21E+06	8.86E+05
HD 320 x 74,2	13.31	1.99E+06	7.48E+05	4.94E+05	3.44E+05
HD 320 x 198	12.37	9.48E+06	2.66E+06	1.82E+06	1.30E+06
HD 320 x 300	11.72	2.12E+07	4.72E+06	3.28E+06	2.38E+06
HD 400 x 237	10.33	2.45E+07	5.60E+06	3.74E+06	2.61E+06
HD 400 x 347	9.86	4.81E+07	9.56E+06	6.38E+06	4.53E+06
HD 400 x 509	9.29	9.56E+07	1.76E+07	1.13E+07	8.15E+06
HD 400 x 900	8.29	2.27E+08	6.70E+07	2.87E+07	2.14E+07
HD 400 x 1299	7.54	4.17E+08	1.87E+08	6.07E+07	4.16E+07

3.2 Alma do perfil metálico

Tabela 96 - Temperatura média da alma - APRIMORAMENTO

Perfil	$\theta_{w,t}$ [°C] Temperatura média do banzo			
	R30	R60	R90	R120
HEA 240	412.7	714.7	926.2	1075.2
HEA 280	357.2	622.9	813.5	952.6
HEA 320	302.4	532.1	703.9	831.8
HEA 360	264.3	468.8	628.0	747.8
HEA 450	215.4	387.5	530.2	639.8
HEA 500	199.8	361.7	499.0	605.5
HEA 600	174.1	319.1	447.6	548.8
HEA 700	147.3	274.6	394.3	489.8
HEA 800	136.4	256.6	372.4	465.8
HEA 1000	114.1	219.5	327.9	416.6
UC 254 x 254 x 73	329.1	530.0	684.1	795.5
UC 254 x 254 x 167	307.1	537.7	702.8	822.0
UC 305 x 305 x 97	262.0	443.9	583.9	694.8
UC 305 x 305 x 158	255.3	457.2	605.4	721.1
UC 305 x 305 x 313	233.4	444.2	594.4	713.2
UC 356 x 368 x 202	207.3	390.5	526.5	640.7
UC 356 x 406 x 340	190.6	380.8	518.3	634.9
UC 356 x 406 x 592	171.6	363.0	499.5	617.4
UC 356 x 406 x 744	161.7	351.6	486.5	604.7
UC 356 x 406 x 1086	143.7	329.2	460.6	578.7
HD 260 x 93,0	330.5	549.4	690.9	815.3
HD 260 x 172	321.1	544.4	695.6	818.1
HD 320 x 74,2	256.3	446.2	571.7	694.5
HD 320 x 198	261.3	464.7	607.9	728.4
HD 320 x 300	250.9	453.9	600.3	719.8
HD 400 x 237	201.4	385.2	521.1	639.5
HD 400 x 347	195.3	379.8	518.9	636.5
HD 400 x 509	183.5	366.0	506.2	623.0
HD 400 x 900	158.5	334.4	473.8	589.4
HD 400 x 1299	138.3	308.3	446.3	561.1

Tabela 97 - Coeficiente de redução para tensão de escoamento e o módulo de elasticidade do aço - APRIMORAMENTO

Perfil	$k_{y,\theta}$				$k_{E,\theta}$			
	R30	R60	R90	R120	R30	R60	R90	R120
HEA 240	0.972	0.212	0.055	0.025	0.687	0.124	0.062	0.028
HEA 280	1.000	0.415	0.103	0.049	0.743	0.269	0.087	0.056
HEA 320	1.000	0.681	0.225	0.094	0.798	0.507	0.128	0.083

HEA 360	1.000	0.849	0.403	0.173	0.836	0.631	0.260	0.111
HEA 450	1.000	1.000	0.686	0.374	0.885	0.713	0.512	0.238
HEA 500	1.000	1.000	0.782	0.457	0.900	0.738	0.601	0.300
HEA 600	1.000	1.000	0.895	0.629	0.926	0.781	0.652	0.458
HEA 700	1.000	1.000	1.000	0.802	0.953	0.825	0.706	0.610
HEA 800	1.000	1.000	1.000	0.855	0.964	0.843	0.728	0.634
HEA 1000	1.000	1.000	1.000	0.963	0.986	0.880	0.772	0.683
UC 254 x 254 x 73	1.000	0.687	0.268	0.115	0.771	0.513	0.159	0.092
UC 254 x 254 x 167	1.000	0.663	0.227	0.099	0.793	0.491	0.129	0.085
UC 305 x 305 x 97	1.000	0.903	0.520	0.243	0.838	0.656	0.357	0.139
UC 305 x 305 x 158	1.000	0.874	0.457	0.205	0.845	0.643	0.300	0.122
UC 305 x 305 x 313	1.000	0.903	0.487	0.214	0.867	0.656	0.326	0.125
UC 356 x 368 x 202	1.000	1.000	0.698	0.372	0.893	0.709	0.523	0.237
UC 356 x 406 x 340	1.000	1.000	0.723	0.386	0.909	0.719	0.547	0.247
UC 356 x 406 x 592	1.000	1.000	0.781	0.428	0.928	0.737	0.601	0.279
UC 356 x 406 x 744	1.000	1.000	0.810	0.459	0.938	0.748	0.613	0.302
UC 356 x 406 x 1086	1.000	1.000	0.867	0.536	0.956	0.771	0.639	0.372
HD 260 x 93,0	1.000	0.627	0.252	0.102	0.769	0.457	0.146	0.087
HD 260 x 172	1.000	0.642	0.241	0.101	0.779	0.471	0.138	0.086
HD 320 x 74,2	1.000	0.898	0.558	0.243	0.844	0.654	0.392	0.140
HD 320 x 198	1.000	0.858	0.451	0.196	0.839	0.635	0.296	0.119
HD 320 x 300	1.000	0.881	0.469	0.206	0.849	0.646	0.309	0.122
HD 400 x 237	1.000	1.000	0.715	0.375	0.899	0.715	0.539	0.239
HD 400 x 347	1.000	1.000	0.722	0.382	0.905	0.720	0.545	0.244
HD 400 x 509	1.000	1.000	0.761	0.415	0.917	0.734	0.582	0.269
HD 400 x 900	1.000	1.000	0.838	0.503	0.942	0.766	0.626	0.341
HD 400 x 1299	1.000	1.000	0.898	0.591	0.962	0.792	0.654	0.423

Tabela 98 – Tensão de escoamento do aço para alma - APRIMORAMENTO

Perfil	f _{ay,w,t} [Pa]			
	R30	R60	R90	R120
HEA 240	3.45E+08	7.54E+07	1.94E+07	8.86E+06
HEA 280	3.55E+08	1.47E+08	3.67E+07	1.76E+07
HEA 320	3.55E+08	2.42E+08	8.00E+07	3.34E+07
HEA 360	3.45E+08	2.93E+08	1.39E+08	5.96E+07
HEA 450	3.45E+08	3.45E+08	2.37E+08	1.29E+08
HEA 500	3.45E+08	3.45E+08	2.70E+08	1.58E+08
HEA 600	3.45E+08	3.45E+08	3.09E+08	2.17E+08
HEA 700	3.45E+08	3.45E+08	3.45E+08	2.77E+08
HEA 800	3.45E+08	3.45E+08	3.45E+08	2.95E+08
HEA 1000	3.45E+08	3.45E+08	3.45E+08	3.32E+08
UC 254 x 254 x 73	3.55E+08	2.44E+08	9.52E+07	4.10E+07
UC 254 x 254 x 167	3.45E+08	2.29E+08	7.82E+07	3.42E+07
UC 305 x 305 x 97	3.55E+08	3.21E+08	1.85E+08	8.61E+07

UC 305 x 305 x 158	3.45E+08	3.02E+08	1.58E+08	7.06E+07
UC 305 x 305 x 313	3.35E+08	3.02E+08	1.63E+08	7.17E+07
UC 356 x 368 x 202	3.45E+08	3.45E+08	2.41E+08	1.28E+08
UC 356 x 406 x 340	3.35E+08	3.35E+08	2.42E+08	1.29E+08
UC 356 x 406 x 592	3.25E+08	3.25E+08	2.54E+08	1.39E+08
UC 356 x 406 x 744	3.15E+08	3.15E+08	2.55E+08	1.45E+08
UC 356 x 406 x 1086	2.95E+08	2.95E+08	2.56E+08	1.58E+08
HD 260 x 93,0	3.45E+08	2.16E+08	8.69E+07	3.53E+07
HD 260 x 172	3.45E+08	2.22E+08	8.30E+07	3.48E+07
HD 320 x 74,2	3.55E+08	3.19E+08	1.98E+08	8.63E+07
HD 320 x 198	3.45E+08	2.96E+08	1.56E+08	6.76E+07
HD 320 x 300	3.35E+08	2.95E+08	1.57E+08	6.91E+07
HD 400 x 237	3.45E+08	3.45E+08	2.47E+08	1.29E+08
HD 400 x 347	3.35E+08	3.35E+08	2.42E+08	1.28E+08
HD 400 x 509	3.35E+08	3.35E+08	2.55E+08	1.39E+08
HD 400 x 900	2.95E+08	2.95E+08	2.47E+08	1.48E+08
HD 400 x 1299	2.95E+08	2.95E+08	2.65E+08	1.74E+08

Tabela 99 – Módulo de elasticidade do aço para alma - APRIMORAMENTO

Perfil	E a,w,t [Pa]			
	R30	R60	R90	R120
HEA 240	1.44E+11	2.61E+10	1.29E+10	5.90E+09
HEA 280	1.56E+11	5.64E+10	1.83E+10	1.17E+10
HEA 320	1.67E+11	1.06E+11	2.70E+10	1.74E+10
HEA 360	1.75E+11	1.33E+11	5.45E+10	2.33E+10
HEA 450	1.86E+11	1.50E+11	1.08E+11	5.00E+10
HEA 500	1.89E+11	1.55E+11	1.26E+11	6.30E+10
HEA 600	1.94E+11	1.64E+11	1.37E+11	9.63E+10
HEA 700	2.00E+11	1.73E+11	1.48E+11	1.28E+11
HEA 800	2.02E+11	1.77E+11	1.53E+11	1.33E+11
HEA 1000	2.07E+11	1.85E+11	1.62E+11	1.44E+11
UC 254 x 254 x 73	1.62E+11	1.08E+11	3.33E+10	1.93E+10
UC 254 x 254 x 167	1.67E+11	1.03E+11	2.71E+10	1.79E+10
UC 305 x 305 x 97	1.76E+11	1.38E+11	7.49E+10	2.93E+10
UC 305 x 305 x 158	1.77E+11	1.35E+11	6.31E+10	2.55E+10
UC 305 x 305 x 313	1.82E+11	1.38E+11	6.85E+10	2.62E+10
UC 356 x 368 x 202	1.87E+11	1.49E+11	1.10E+11	4.97E+10
UC 356 x 406 x 340	1.91E+11	1.51E+11	1.15E+11	5.19E+10
UC 356 x 406 x 592	1.95E+11	1.55E+11	1.26E+11	5.85E+10
UC 356 x 406 x 744	1.97E+11	1.57E+11	1.29E+11	6.33E+10
UC 356 x 406 x 1086	2.01E+11	1.62E+11	1.34E+11	7.80E+10
HD 260 x 93,0	1.62E+11	9.59E+10	3.07E+10	1.82E+10

HD 260 x 172	1.64E+11	9.90E+10	2.90E+10	1.80E+10
HD 320 x 74,2	1.77E+11	1.37E+11	8.23E+10	2.94E+10
HD 320 x 198	1.76E+11	1.33E+11	6.21E+10	2.49E+10
HD 320 x 300	1.78E+11	1.36E+11	6.50E+10	2.56E+10
HD 400 x 237	1.89E+11	1.50E+11	1.13E+11	5.02E+10
HD 400 x 347	1.90E+11	1.51E+11	1.15E+11	5.13E+10
HD 400 x 509	1.92E+11	1.54E+11	1.22E+11	5.64E+10
HD 400 x 900	1.98E+11	1.61E+11	1.31E+11	7.15E+10
HD 400 x 1299	2.02E+11	1.66E+11	1.37E+11	8.88E+10

Tabela 100- Resistência à compressão axial da alma - APRIMORAMENTO

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	N fi,pl,rd,w [N]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	5.33E+05	1.16E+05	3.00E+04	1.37E+04
HEA 280	14.55	6.93E+05	2.88E+05	7.16E+04	3.43E+04
HEA 320	13.12	8.91E+05	6.07E+05	2.01E+05	8.39E+04
HEA 360	12.38	1.09E+06	9.22E+05	4.38E+05	1.88E+05
HEA 450	11.21	1.58E+06	1.58E+06	1.08E+06	5.91E+05
HEA 500	10.75	1.84E+06	1.84E+06	1.44E+06	8.40E+05
HEA 600	10.06	2.42E+06	2.42E+06	2.17E+06	1.52E+06
HEA 700	9.57	3.18E+06	3.18E+06	3.18E+06	2.55E+06
HEA 800	9.20	3.80E+06	3.80E+06	3.80E+06	3.25E+06
HEA 1000	8.69	5.34E+06	5.34E+06	5.34E+06	5.14E+06
UC 254 x 254 x 73	15.73	6.89E+05	4.73E+05	1.85E+05	7.95E+04
UC 254 x 254 x 167	14.46	1.50E+06	9.91E+05	3.39E+05	1.48E+05
UC 305 x 305 x 97	13.05	9.74E+05	8.80E+05	5.06E+05	2.36E+05
UC 305 x 305 x 158	12.54	1.51E+06	1.32E+06	6.90E+05	3.09E+05
UC 305 x 305 x 313	11.50	2.79E+06	2.52E+06	1.36E+06	5.97E+05
UC 356 x 368 x 202	10.68	1.83E+06	1.83E+06	1.27E+06	6.80E+05
UC 356 x 406 x 340	9.88	2.86E+06	2.86E+06	2.07E+06	1.10E+06
UC 356 x 406 x 592	9.05	4.69E+06	4.69E+06	3.66E+06	2.01E+06
UC 356 x 406 x 744	8.65	5.61E+06	5.61E+06	4.54E+06	2.57E+06
UC 356 x 406 x 1086	7.92	7.34E+06	7.34E+06	6.36E+06	3.93E+06
HD 260 x 93,0	15.38	7.76E+05	4.87E+05	1.95E+05	7.94E+04
HD 260 x 172	14.36	1.40E+06	8.98E+05	3.36E+05	1.41E+05
HD 320 x 74,2	13.31	7.92E+05	7.12E+05	4.42E+05	1.93E+05
HD 320 x 198	12.37	1.73E+06	1.49E+06	7.81E+05	3.39E+05
HD 320 x 300	11.72	2.52E+06	2.22E+06	1.18E+06	5.20E+05
HD 400 x 237	10.33	2.08E+06	2.08E+06	1.49E+06	7.82E+05
HD 400 x 347	9.86	2.91E+06	2.91E+06	2.10E+06	1.11E+06
HD 400 x 509	9.29	4.20E+06	4.20E+06	3.19E+06	1.74E+06
HD 400 x 900	8.29	6.20E+06	6.20E+06	5.19E+06	3.12E+06
HD 400 x 1299	7.54	9.44E+06	9.44E+06	8.48E+06	5.58E+06

Tabela 101 – Rigidez à flexão da alma - APRIMORAMENTO

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	(EI) fi,w,z [Nm ²]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	1.05E+03	1.89E+02	9.37E+01	4.27E+01
HEA 280	14.55	1.62E+03	5.88E+02	1.90E+02	1.22E+02
HEA 320	13.12	2.84E+03	1.80E+03	4.57E+02	2.95E+02
HEA 360	12.38	4.61E+03	3.48E+03	1.43E+03	6.11E+02
HEA 450	11.21	9.37E+03	7.55E+03	5.43E+03	2.52E+03
HEA 500	10.75	1.21E+04	9.91E+03	8.07E+03	4.03E+03
HEA 600	10.06	1.92E+04	1.62E+04	1.35E+04	9.52E+03
HEA 700	9.57	3.23E+04	2.80E+04	2.39E+04	2.07E+04
HEA 800	9.20	4.18E+04	3.66E+04	3.15E+04	2.75E+04
HEA 1000	8.69	7.27E+04	6.49E+04	5.69E+04	5.04E+04
UC 254 x 254 x 73	15.73	1.94E+03	1.29E+03	3.99E+02	2.31E+02
UC 254 x 254 x 167	14.46	2.22E+04	1.37E+04	3.60E+03	2.38E+03
UC 305 x 305 x 97	13.05	3.94E+03	3.09E+03	1.68E+03	6.56E+02
UC 305 x 305 x 158	12.54	1.62E+04	1.23E+04	5.74E+03	2.33E+03
UC 305 x 305 x 313	11.50	1.14E+05	8.60E+04	4.28E+04	1.63E+04
UC 356 x 368 x 202	10.68	2.25E+04	1.79E+04	1.32E+04	5.97E+03
UC 356 x 406 x 340	9.88	9.60E+04	7.59E+04	5.78E+04	2.61E+04
UC 356 x 406 x 592	9.05	4.74E+05	3.77E+05	3.07E+05	1.42E+05
UC 356 x 406 x 744	8.65	9.04E+05	7.21E+05	5.91E+05	2.90E+05
UC 356 x 406 x 1086	7.92	2.53E+06	2.04E+06	1.69E+06	9.85E+05
HD 260 x 93,0	15.38	3.03E+03	1.80E+03	5.76E+02	3.41E+02
HD 260 x 172	14.36	1.79E+04	1.08E+04	3.17E+03	1.97E+03
HD 320 x 74,2	13.31	2.11E+03	1.63E+03	9.80E+02	3.50E+02
HD 320 x 198	12.37	2.39E+04	1.81E+04	8.42E+03	3.38E+03
HD 320 x 300	11.72	8.16E+04	6.21E+04	2.97E+04	1.17E+04
HD 400 x 237	10.33	3.39E+04	2.70E+04	2.03E+04	9.02E+03
HD 400 x 347	9.86	1.02E+05	8.11E+04	6.14E+04	2.75E+04
HD 400 x 509	9.29	3.07E+05	2.46E+05	1.95E+05	9.01E+04
HD 400 x 900	8.29	1.50E+06	1.22E+06	1.00E+06	5.44E+05
HD 400 x 1299	7.54	5.39E+06	4.43E+06	3.66E+06	2.37E+06

3.3 Concreto

Tabela 102 – Temperatura média do concreto - APRIMORAMENTO

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	θ c,t [°C] Temperatura média .			
		R30	R60	R90	R120

HEA 240	17.03	250.4	386.7	500.0	500.0
HEA 280	14.55	215.6	319.0	489.4	500.0
HEA 320	13.12	197.6	288.6	438.8	500.0
HEA 360	12.38	189.2	276.6	407.4	489.2
HEA 450	11.21	174.9	253.4	363.7	438.6
HEA 500	10.75	168.9	242.7	348.5	421.9
HEA 600	10.06	160.1	227.6	324.5	394.7
HEA 700	9.57	154.7	220.2	302.8	368.2
HEA 800	9.20	149.8	211.2	291.5	356.1
HEA 1000	8.69	143.6	201.4	272.0	333.2
UC 254 x 254 x 73	15.73	241.1	371.7	474.2	500.0
UC 254 x 254 x 167	14.46	230.9	379.3	485.5	500.0
UC 305 x 305 x 97	13.05	200.9	308.1	398.9	462.6
UC 305 x 305 x 158	12.54	198.7	319.1	413.3	479.2
UC 305 x 305 x 313	11.50	186.7	310.3	403.8	472.0
UC 356 x 368 x 202	10.68	169.4	269.6	354.4	422.0
UC 356 x 406 x 340	9.88	160.4	263.0	347.3	416.7
UC 356 x 406 x 592	9.05	149.5	250.3	332.6	403.5
UC 356 x 406 x 744	8.65	143.7	241.9	322.8	394.2
UC 356 x 406 x 1086	7.92	133.0	225.3	303.2	375.5
HD 260 x 93,0	15.38	237.0	380.0	490.0	500.0
HD 260 x 172	14.36	231.1	378.7	487.8	500.0
HD 320 x 74,2	13.31	195.8	308.4	405.1	444.3
HD 320 x 198	12.37	197.6	324.3	423.0	487.2
HD 320 x 300	11.72	191.5	317.8	415.1	485.4
HD 400 x 237	10.33	164.0	270.2	358.6	421.0
HD 400 x 347	9.86	160.3	267.2	354.9	422.8
HD 400 x 509	9.29	153.6	258.3	344.1	415.5
HD 400 x 900	8.29	139.4	237.2	318.8	392.9
HD 400 x 1299	7.54	128.0	219.7	297.9	372.9

Tabela 103 – Redução vertical e horizontal da camada do concreto - APRIMORAMENTO

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	b c,fi,v [mm] Redução do concreto				b c,fi,h [mm] Redução do concreto			
		R30	R60	R90	R120	R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	7.2	31.2	103.0	103.0	11.7	26.3	116.3	116.3
HEA 280	14.55	5.4	26.4	47.4	122.0	11.7	23.2	27.1	136.0
HEA 320	13.12	4.6	24.1	36.1	139.5	11.7	22.7	24.1	145.5
HEA 360	12.38	4.3	23.0	32.7	58.2	11.7	22.9	25.5	45.4
HEA 450	11.21	3.9	21.5	29.1	46.2	11.7	22.8	25.5	39.4
HEA 500	10.75	3.8	21.0	29.4	45.6	11.7	22.7	24.8	36.0
HEA 600	10.06	3.6	20.2	27.9	40.3	11.7	22.6	24.5	32.5
HEA 700	9.57	3.5	19.8	28.5	40.3	11.7	22.9	26.7	33.8

HEA 800	9.20	3.4	19.4	27.9	38.0	11.7	22.8	26.1	31.3
HEA 1000	8.69	3.0	18.7	19.2	16.9	11.7	23.0	27.2	31.1
UC 254 x 254 x 73	15.73	8.4	30.7	73.4	112.9	11.7	26.8	49.3	123.0
UC 254 x 254 x 167	14.46	7.0	26.1	62.1	112.9	11.7	26.7	48.6	123.0
UC 305 x 305 x 97	13.05	6.7	25.9	54.0	88.3	11.7	25.0	41.0	59.1
UC 305 x 305 x 158	12.54	6.1	23.8	49.8	82.5	11.7	25.2	41.7	60.3
UC 305 x 305 x 313	11.50	4.9	19.3	41.2	70.9	11.7	24.9	40.5	57.7
UC 356 x 368 x 202	10.68	5.1	20.9	38.8	65.9	11.7	24.1	36.6	50.2
UC 356 x 406 x 340	9.88	4.3	17.9	33.1	58.3	11.7	24.0	36.1	49.0
UC 356 x 406 x 592	9.05	3.0	13.1	26.3	49.6	11.7	23.7	35.1	46.9
UC 356 x 406 x 744	8.65	2.4	10.5	22.8	45.4	11.7	23.6	34.5	45.7
UC 356 x 406 x 1086	7.92	1.0	5.1	16.2	37.6	11.7	23.4	33.4	43.4
HD 260 x 93,0	15.38	9.4	28.5	64.6	112.5	11.7	27.2	50.1	125.0
HD 260 x 172	14.36	8.2	24.9	57.0	112.5	11.7	26.8	49.7	125.0
HD 320 x 74,2	13.31	6.6	25.1	53.3	104.6	11.7	25.4	39.9	56.1
HD 320 x 198	12.37	5.8	21.3	46.4	89.7	11.7	25.4	42.5	62.0
HD 320 x 300	11.72	5.2	18.7	41.7	80.3	11.7	25.2	42.0	60.8
HD 400 x 237	10.33	3.7	18.3	37.3	59.5	11.7	24.2	36.5	48.6
HD 400 x 347	9.86	3.4	16.4	34.1	54.0	11.7	24.2	36.6	48.8
HD 400 x 509	9.29	3.1	13.7	30.0	47.6	11.7	24.0	36.1	47.7
HD 400 x 900	8.29	2.7	8.2	22.1	37.9	11.7	23.6	34.6	44.4
HD 400 x 1299	7.54	2.5	4.0	16.4	31.5	11.7	23.4	33.4	41.7

Tabela 104 - Módulo de elasticidade do concreto reduzido em função da temperatura -
APRIMORAMENTO

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	E c,sec,θ [Pa]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	2.88E+09	1.59E+09	8.00E+08	8.00E+08
HEA 280	14.55	3.26E+09	2.20E+09	8.51E+08	8.00E+08
HEA 320	13.12	3.48E+09	2.52E+09	1.16E+09	8.00E+08
HEA 360	12.38	3.58E+09	2.63E+09	1.43E+09	8.52E+08
HEA 450	11.21	3.76E+09	2.85E+09	1.76E+09	1.16E+09
HEA 500	10.75	3.84E+09	2.96E+09	1.90E+09	1.29E+09
HEA 600	10.06	3.96E+09	3.12E+09	2.13E+09	1.53E+09
HEA 700	9.57	4.04E+09	3.20E+09	2.39E+09	1.73E+09
HEA 800	9.20	4.11E+09	3.31E+09	2.50E+09	1.83E+09
HEA 1000	8.69	4.20E+09	3.44E+09	2.67E+09	2.04E+09
UC 254 x 254 x 73	15.73	2.97E+09	1.70E+09	9.31E+08	8.00E+08
UC 254 x 254 x 167	14.46	3.08E+09	1.64E+09	8.71E+08	8.00E+08
UC 305 x 305 x 97	13.05	3.44E+09	2.32E+09	1.51E+09	9.99E+08
UC 305 x 305 x 158	12.54	3.47E+09	2.19E+09	1.37E+09	9.04E+08
UC 305 x 305 x 313	11.50	3.61E+09	2.30E+09	1.46E+09	9.44E+08
UC 356 x 368 x 202	10.68	3.83E+09	2.69E+09	1.84E+09	1.29E+09
UC 356 x 406 x 340	9.88	3.95E+09	2.75E+09	1.91E+09	1.34E+09

UC 356 x 406 x 592	9.05	4.11E+09	2.88E+09	2.05E+09	1.46E+09
UC 356 x 406 x 744	8.65	4.20E+09	2.96E+09	2.15E+09	1.54E+09
UC 356 x 406 x 1086	7.92	4.38E+09	3.14E+09	2.39E+09	1.67E+09
HD 260 x 93,0	15.38	3.02E+09	1.64E+09	8.48E+08	8.00E+08
HD 260 x 172	14.36	3.08E+09	1.65E+09	8.59E+08	8.00E+08
HD 320 x 74,2	13.31	3.50E+09	2.32E+09	1.45E+09	1.12E+09
HD 320 x 198	12.37	3.48E+09	2.14E+09	1.28E+09	8.63E+08
HD 320 x 300	11.72	3.55E+09	2.21E+09	1.35E+09	8.72E+08
HD 400 x 237	10.33	3.90E+09	2.69E+09	1.81E+09	1.30E+09
HD 400 x 347	9.86	3.95E+09	2.71E+09	1.84E+09	1.28E+09
HD 400 x 509	9.29	4.05E+09	2.80E+09	1.94E+09	1.35E+09
HD 400 x 900	8.29	4.27E+09	3.01E+09	2.20E+09	1.55E+09
HD 400 x 1299	7.54	4.46E+09	3.21E+09	2.45E+09	1.69E+09

Tabela 105 – Resistência à compressão axial do concreto - APRIMORAMENTO

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	N _{fi,pl,Rd,c} [N]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	6.00E+05	3.23E+05	-7.95E-27	-7.95E-27
HEA 280	14.55	9.01E+05	5.88E+05	3.24E+05	0.00E+00
HEA 320	13.12	1.15E+06	8.11E+05	5.74E+05	0.00E+00
HEA 360	12.38	1.29E+06	9.39E+05	7.17E+05	3.85E+05
HEA 450	11.21	1.66E+06	1.28E+06	1.05E+06	7.25E+05
HEA 500	10.75	1.86E+06	1.47E+06	1.22E+06	9.01E+05
HEA 600	10.06	2.29E+06	1.87E+06	1.59E+06	1.28E+06
HEA 700	9.57	2.67E+06	2.21E+06	1.89E+06	1.56E+06
HEA 800	9.20	3.11E+06	2.61E+06	2.26E+06	1.93E+06
HEA 1000	8.69	3.99E+06	3.41E+06	3.04E+06	2.74E+06
UC 254 x 254 x 73	15.73	6.96E+05	3.97E+05	1.28E+05	0.00E+00
UC 254 x 254 x 167	14.46	7.14E+05	4.17E+05	1.41E+05	0.00E+00
UC 305 x 305 x 97	13.05	1.14E+06	7.72E+05	4.41E+05	2.01E+05
UC 305 x 305 x 158	12.54	1.15E+06	7.75E+05	4.48E+05	2.13E+05
UC 305 x 305 x 313	11.50	1.16E+06	8.17E+05	5.09E+05	2.47E+05
UC 356 x 368 x 202	10.68	1.67E+06	1.26E+06	9.03E+05	5.60E+05
UC 356 x 406 x 340	9.88	1.78E+06	1.38E+06	1.02E+06	6.69E+05
UC 356 x 406 x 592	9.05	1.81E+06	1.45E+06	1.11E+06	7.58E+05
UC 356 x 406 x 744	8.65	1.82E+06	1.49E+06	1.16E+06	8.08E+05
UC 356 x 406 x 1086	7.92	1.84E+06	1.57E+06	1.24E+06	8.96E+05
HD 260 x 93,0	15.38	7.03E+05	4.10E+05	1.31E+05	0.00E+00
HD 260 x 172	14.36	7.17E+05	4.31E+05	1.57E+05	0.00E+00
HD 320 x 74,2	13.31	1.14E+06	7.71E+05	4.42E+05	1.47E+05
HD 320 x 198	12.37	1.13E+06	7.68E+05	4.41E+05	1.74E+05
HD 320 x 300	11.72	1.13E+06	7.87E+05	4.70E+05	2.08E+05
HD 400 x 237	10.33	1.78E+06	1.35E+06	9.67E+05	6.51E+05
HD 400 x 347	9.86	1.79E+06	1.38E+06	1.00E+06	6.88E+05

HD 400 x 509	9.29	1.81E+06	1.43E+06	1.06E+06	7.53E+05
HD 400 x 900	8.29	1.81E+06	1.51E+06	1.16E+06	8.68E+05
HD 400 x 1299	7.54	1.83E+06	1.59E+06	1.25E+06	9.62E+05

Tabela 106 – Rigidez à flexão do concreto - APRIMORAMENTO

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	(EI) f _{i,c,z} [Nm ²]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	4.49E+05	1.15E+05	-6.47E-30	-6.47E-30
HEA 280	14.55	1.02E+06	4.11E+05	1.08E+05	2.55E-30
HEA 320	13.12	1.59E+06	7.52E+05	2.96E+05	0.00E+00
HEA 360	12.38	1.82E+06	8.83E+05	4.12E+05	1.02E+05
HEA 450	11.21	2.46E+06	1.29E+06	7.14E+05	2.82E+05
HEA 500	10.75	2.83E+06	1.54E+06	8.95E+05	4.09E+05
HEA 600	10.06	3.59E+06	2.05E+06	1.29E+06	7.14E+05
HEA 700	9.57	4.27E+06	2.45E+06	1.61E+06	9.17E+05
HEA 800	9.20	5.06E+06	2.99E+06	2.02E+06	1.25E+06
HEA 1000	8.69	6.70E+06	4.05E+06	2.83E+06	1.97E+06
UC 254 x 254 x 73	15.73	6.04E+05	1.69E+05	2.32E+04	0.00E+00
UC 254 x 254 x 167	14.46	7.27E+05	2.04E+05	2.32E+04	0.00E+00
UC 305 x 305 x 97	13.05	1.62E+06	6.78E+05	2.05E+05	5.48E+04
UC 305 x 305 x 158	12.54	1.75E+06	6.96E+05	2.09E+05	5.84E+04
UC 305 x 305 x 313	11.50	2.12E+06	8.94E+05	3.08E+05	7.43E+04
UC 356 x 368 x 202	10.68	4.06E+06	2.01E+06	9.10E+05	3.40E+05
UC 356 x 406 x 340	9.88	5.33E+06	2.72E+06	1.32E+06	5.47E+05
UC 356 x 406 x 592	9.05	6.42E+06	3.43E+06	1.80E+06	8.21E+05
UC 356 x 406 x 744	8.65	7.15E+06	3.93E+06	2.16E+06	1.02E+06
UC 356 x 406 x 1086	7.92	8.73E+06	5.11E+06	3.04E+06	1.50E+06
HD 260 x 93,0	15.38	6.49E+05	1.79E+05	1.70E+04	0.00E+00
HD 260 x 172	14.36	7.41E+05	2.14E+05	2.61E+04	-3.13E-29
HD 320 x 74,2	13.31	1.57E+06	6.40E+05	1.93E+05	4.31E+04
HD 320 x 198	12.37	1.68E+06	6.54E+05	1.88E+05	4.32E+04
HD 320 x 300	11.72	1.85E+06	7.55E+05	2.34E+05	6.01E+04
HD 400 x 237	10.33	4.94E+06	2.45E+06	1.10E+06	4.83E+05
HD 400 x 347	9.86	5.39E+06	2.71E+06	1.26E+06	5.55E+05
HD 400 x 509	9.29	6.09E+06	3.18E+06	1.55E+06	7.25E+05
HD 400 x 900	8.29	7.75E+06	4.37E+06	2.38E+06	1.23E+06
HD 400 x 1299	7.54	1.02E+07	6.15E+06	3.67E+06	1.96E+06

3.4 Reforço

Tabela 107 – Temperatura média do reforço - APRIMORAMENTO

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	$\theta_{s,t}$ [°C] Temperatura média			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	204.0	436.9	593.3	708.3
HEA 280	14.55	199.0	419.6	568.5	678.5
HEA 320	13.12	196.2	409.6	554.2	661.3
HEA 360	12.38	194.7	404.4	546.8	652.5
HEA 450	11.21	192.4	396.2	535.1	638.5
HEA 500	10.75	191.4	393.0	530.5	632.9
HEA 600	10.06	160.5	342.1	477.0	580.1
HEA 700	9.57	159.5	338.7	472.1	574.2
HEA 800	9.20	158.8	336.1	468.5	569.8
HEA 1000	8.69	157.7	332.5	463.4	563.7
UC 254 x 254 x 73	15.73	218.8	452.3	610.5	720.9
UC 254 x 254 x 167	14.46	210.4	435.2	588.7	697.5
UC 305 x 305 x 97	13.05	201.1	416.1	564.4	671.4
UC 305 x 305 x 158	12.54	197.8	409.3	555.7	662.0
UC 305 x 305 x 313	11.50	190.9	395.3	537.8	642.8
UC 356 x 368 x 202	10.68	185.5	384.1	523.6	627.5
UC 356 x 406 x 340	9.88	180.2	373.4	510.0	612.9
UC 356 x 406 x 592	9.05	174.7	362.2	495.7	597.5
UC 356 x 406 x 744	8.65	172.1	356.7	488.7	589.9
UC 356 x 406 x 1086	7.92	167.3	346.9	476.2	576.5
HD 260 x 93,0	15.38	216.5	447.7	604.6	714.6
HD 260 x 172	14.36	209.8	433.8	587.0	695.6
HD 320 x 74,2	13.31	202.9	419.7	569.0	676.3
HD 320 x 198	12.37	196.6	407.0	552.7	658.8
HD 320 x 300	11.72	192.4	398.3	541.6	646.9
HD 400 x 237	10.33	183.2	379.4	517.6	621.0
HD 400 x 347	9.86	180.1	373.2	509.7	612.5
HD 400 x 509	9.29	176.3	365.4	499.8	601.9
HD 400 x 900	8.29	169.7	351.9	482.6	583.4
HD 400 x 1299	7.54	164.7	341.7	469.6	569.4

Tabela 108 – Coeficiente de redução para tensão de escoamento e módulo de elasticidade do reforço - APRIMORAMENTO

Perfil	u [mm]	k _{sy,θ}				k _{sE,θ}			
		R30	R60	R90	R120	R30	R60	R90	R120
HEA 240	50.0	0.000	0.840	0.418	0.119	0.864	0.501	0.251	0.078
HEA 280	50.0	1.000	0.887	0.485	0.180	0.871	0.529	0.290	0.114
HEA 240	50.0	1.000	0.914	0.524	0.228	0.875	0.545	0.313	0.142
HEA 280	50.0	1.000	0.928	0.544	0.253	0.877	0.553	0.325	0.156
HEA 240	50.0	1.000	0.942	0.575	0.292	0.880	0.566	0.344	0.178

HEA 280	50.0	1.000	0.944	0.588	0.308	0.881	0.571	0.351	0.187
HEA 240	54.8	1.000	0.975	0.732	0.454	0.921	0.653	0.437	0.272
HEA 280	54.8	1.000	0.977	0.745	0.470	0.923	0.658	0.445	0.281
HEA 800	54.8	1.000	0.978	0.755	0.482	0.924	0.662	0.450	0.288
HEA 1000	54.8	1.000	0.980	0.769	0.498	0.925	0.668	0.459	0.298
UC 254 x 254 x 73	50.0	1.000	0.799	0.371	0.118	0.842	0.476	0.223	0.076
UC 254 x 254 x 167	50.0	1.000	0.845	0.431	0.127	0.854	0.504	0.258	0.084
UC 305 x 305 x 97	50.0	1.000	0.896	0.496	0.200	0.868	0.534	0.297	0.126
UC 305 x 305 x 158	50.0	1.000	0.915	0.520	0.226	0.873	0.545	0.311	0.141
UC 305 x 305 x 313	50.0	1.000	0.943	0.568	0.280	0.882	0.568	0.339	0.172
UC 356 x 368 x 202	50.0	1.000	0.950	0.606	0.323	0.889	0.585	0.362	0.196
UC 356 x 406 x 340	50.0	1.000	0.956	0.643	0.364	0.896	0.603	0.384	0.219
UC 356 x 406 x 592	50.0	1.000	0.963	0.682	0.407	0.903	0.620	0.407	0.244
UC 356 x 406 x 744	50.0	1.000	0.966	0.700	0.427	0.906	0.629	0.418	0.256
UC 356 x 406 x 1086	50.0	1.000	0.972	0.734	0.463	0.913	0.645	0.438	0.278
HD 260x93	50.0	1.000	0.811	0.387	0.119	0.845	0.484	0.233	0.077
HD 260x172	50.0	1.000	0.849	0.435	0.132	0.855	0.506	0.261	0.087
HD 320x74.2	50.0	1.000	0.887	0.484	0.186	0.866	0.528	0.290	0.118
HD 320x198	50.0	1.000	0.921	0.528	0.235	0.874	0.549	0.316	0.146
HD 320x300	50.0	1.000	0.941	0.558	0.269	0.880	0.563	0.333	0.165
HD 400x237	50.0	1.000	0.952	0.622	0.341	0.892	0.593	0.372	0.206
HD 400x347	50.0	1.000	0.956	0.644	0.365	0.896	0.603	0.385	0.220
HD400x509	50.0	1.000	0.961	0.670	0.395	0.901	0.615	0.400	0.237
HD 400x900	50.0	1.000	0.969	0.717	0.445	0.909	0.637	0.428	0.267
HD 400x1299	50.0	1.000	0.975	0.752	0.483	0.916	0.653	0.449	0.289

Tabela 109 – Resistência à compressão axial do reforço -APRIMORAMENTO

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	N fi,pl,Rd,s [N]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	6.28E+05	5.28E+05	0.00E+00	0.00E+00
HEA 280	14.55	9.82E+05	8.71E+05	4.76E+05	0.00E+00
HEA 320	13.12	9.82E+05	8.98E+05	5.14E+05	0.00E+00
HEA 360	12.38	1.61E+06	1.49E+06	8.74E+05	4.07E+05
HEA 450	11.21	1.61E+06	1.52E+06	9.25E+05	4.70E+05
HEA 500	10.75	1.61E+06	1.52E+06	9.45E+05	4.95E+05
HEA 600	10.06	1.61E+06	1.57E+06	1.18E+06	7.30E+05
HEA 700	9.57	2.51E+06	2.45E+06	1.87E+06	1.18E+06
HEA 800	9.20	2.51E+06	2.46E+06	1.90E+06	1.21E+06
HEA 1000	8.69	2.51E+06	2.46E+06	1.93E+06	1.25E+06
UC 254 x 254 x 73	15.73	9.82E+05	7.84E+05	0.00E+00	0.00E+00
UC 254 x 254 x 167	14.46	9.82E+05	8.30E+05	4.23E+05	0.00E+00
UC 305 x 305 x 97	13.05	9.82E+05	8.80E+05	4.87E+05	0.00E+00
UC 305 x 305 x 158	12.54	9.82E+05	8.98E+05	5.10E+05	0.00E+00
UC 305 x 305 x 313	11.50	9.82E+05	9.26E+05	5.58E+05	2.75E+05
UC 356 x 368 x 202	10.68	1.61E+06	1.53E+06	9.75E+05	5.19E+05
UC 356 x 406 x 340	9.88	1.61E+06	1.54E+06	1.03E+06	5.85E+05

UC 356 x 406 x 592	9.05	1.61E+06	1.55E+06	1.10E+06	6.54E+05
UC 356 x 406 x 744	8.65	1.61E+06	1.55E+06	1.13E+06	6.87E+05
UC 356 x 406 x 1086	7.92	1.61E+06	1.56E+06	1.18E+06	7.45E+05
HD 260x93	15.38	9.82E+05	7.96E+05	3.80E+05	0.00E+00
HD 260x172	14.36	9.82E+05	8.33E+05	4.27E+05	0.00E+00
HD 320x74.2	13.31	9.82E+05	8.71E+05	4.75E+05	0.00E+00
HD 320x198	12.37	9.82E+05	9.04E+05	5.18E+05	0.00E+00
HD 320x300	11.72	9.82E+05	9.24E+05	5.47E+05	0.00E+00
HD 400x237	10.33	1.61E+06	1.53E+06	1.00E+06	5.49E+05
HD 400x347	9.86	1.61E+06	1.54E+06	1.04E+06	5.87E+05
HD400x509	9.29	1.61E+06	1.55E+06	1.08E+06	6.35E+05
HD 400x900	8.29	1.61E+06	1.56E+06	1.15E+06	7.15E+05
HD 400x1299	7.54	1.61E+06	1.57E+06	1.21E+06	7.76E+05

3.5 Soma Ponderada

Tabela 110 – Resistência à compressão axial - APRIMORAMENTO

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	N fi,pl,Rd [N]			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	4.02E+06	2.27E+06	1.09E+06		
HEA 280	14.55	5.37E+06	3.30E+06	1.91E+06		
HEA 320	13.12	6.54E+06	4.08E+06	2.55E+06	1.44E+06	2.01E+05
HEA 360	12.38	7.83E+06	5.25E+06	3.63E+06	2.20E+06	1.11E+06
HEA 450	11.21	9.45E+06	6.57E+06	4.74E+06	3.27E+06	1.95E+06
HEA 500	10.75	1.04E+07	7.32E+06	5.25E+06	3.84E+06	2.41E+06
HEA 600	10.06	1.18E+07	8.64E+06	6.33E+06	5.19E+06	3.73E+06
HEA 700	9.57	1.43E+07	1.10E+07	8.38E+06	7.22E+06	5.51E+06
HEA 800	9.20	1.56E+07	1.23E+07	9.43E+06	8.25E+06	6.61E+06
HEA 1000	8.69	1.77E+07	1.44E+07	1.17E+07		
UC 254 x 254 x 73	15.73	5.16E+06	3.07E+06	1.83E+06		
UC 254 x 254 x 167	14.46	9.20E+06	5.55E+06	2.76E+06		
UC 305 x 305 x 97	13.05	6.67E+06	4.12E+06	2.77E+06	1.58E+06	5.47E+05
UC 305 x 305 x 158	12.54	9.23E+06	5.67E+06	3.44E+06	1.91E+06	7.14E+05
UC 305 x 305 x 313	11.50	1.57E+07	1.10E+07	5.49E+06	3.04E+06	1.57E+06
UC 356 x 368 x 202	10.68	1.23E+07	7.98E+06	5.23E+06	3.50E+06	2.01E+06
UC 356 x 406 x 340	9.88	1.81E+07	1.26E+07	7.02E+06	4.78E+06	2.84E+06
UC 356 x 406 x 592	9.05	2.81E+07	2.41E+07	1.15E+07	7.47E+06	4.41E+06
UC 356 x 406 x 744	8.65	3.34E+07	3.12E+07	1.48E+07	9.21E+06	5.40E+06
UC 356 x 406 x 1086	7.92	4.44E+07	4.43E+07	2.61E+07	1.46E+07	8.09E+06
HD 260x93	15.38	5.83E+06	3.27E+06	1.90E+06		
HD 260x172	14.36	9.32E+06	5.33E+06	2.68E+06		
HD 320x74.2	13.31	5.48E+06	3.64E+06	2.52E+06	1.46E+06	4.09E+05

HD 320x198	12.37	1.08E+07	6.88E+06	3.79E+06	2.08E+06	7.57E+05
HD 320x300	11.72	1.49E+07	1.04E+07	5.09E+06	2.77E+06	1.14E+06
HD 400x237	10.33	1.39E+07	9.92E+06	5.80E+06	3.88E+06	2.28E+06
HD 400x347	9.86	1.84E+07	1.40E+07	7.30E+06	4.80E+06	2.86E+06
HD400x509	9.29	2.53E+07	2.14E+07	1.02E+07	6.53E+06	3.93E+06
HD 400x900	8.29	3.75E+07	3.73E+07	1.85E+07	1.05E+07	6.34E+06
HD 400x1299	7.54	5.24E+07	5.22E+07	3.29E+07	1.82E+07	1.07E+07

Tabela 111 – Rigidez à flexão efetiva - APRIMORAMENTO

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	(EI) fi,eff,z [Nm ²]			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	17.03	8.22E+06	2.33E+06	1.03E+06		
HEA 280	14.55	1.54E+07	5.43E+06	2.55E+06		
HEA 320	13.12	2.17E+07	7.80E+06	3.59E+06	1.89E+06	5.86E+05
HEA 360	12.38	2.66E+07	1.10E+07	5.20E+06	2.80E+06	1.81E+06
HEA 450	11.21	3.08E+07	1.30E+07	5.90E+06	3.31E+06	2.27E+06
HEA 500	10.75	3.32E+07	1.42E+07	6.30E+06	3.59E+06	2.52E+06
HEA 600	10.06	3.61E+07	1.61E+07	7.39E+06	4.48E+06	3.44E+06
HEA 700	9.57	4.28E+07	2.13E+07	1.02E+07	6.26E+06	4.86E+06
HEA 800	9.20	4.48E+07	2.27E+07	1.08E+07	6.70E+06	5.26E+06
HEA 1000	8.69	4.52E+07	2.29E+07	1.16E+07		
UC 254 x 254 x 73	15.73	1.21E+07	3.91E+06	1.72E+06		
UC 254 x 254 x 167	14.46	2.52E+07	8.46E+06	2.97E+06		
UC 305 x 305 x 97	13.05	2.28E+07	7.98E+06	3.64E+06	2.02E+06	5.55E+05
UC 305 x 305 x 158	12.54	3.42E+07	1.18E+07	4.69E+06	2.46E+06	1.11E+06
UC 305 x 305 x 313	11.50	6.71E+07	3.01E+07	8.30E+06	4.74E+06	3.77E+06
UC 356 x 368 x 202	10.68	6.90E+07	2.79E+07	1.19E+07	6.66E+06	4.82E+06
UC 356 x 406 x 340	9.88	1.22E+08	5.58E+07	1.86E+07	1.09E+07	8.43E+06
UC 356 x 406 x 592	9.05	2.16E+08	1.37E+08	3.28E+07	1.91E+07	1.57E+07
UC 356 x 406 x 744	8.65	2.80E+08	1.90E+08	4.78E+07	2.56E+07	2.14E+07
UC 356 x 406 x 1086	7.92	4.45E+08	3.44E+08	1.32E+08	4.79E+07	3.85E+07
HD 260x93	15.38	1.49E+07	4.40E+06	1.99E+06		
HD 260x172	14.36	2.65E+07	8.29E+06	3.07E+06		
HD 320x74.2	13.31	1.75E+07	6.83E+06	3.16E+06	1.51E+06	3.79E+05
HD 320x198	12.37	3.96E+07	1.47E+07	5.10E+06	2.72E+06	1.34E+06
HD 320x300	11.72	5.96E+07	2.69E+07	7.29E+06	4.09E+06	2.44E+06
HD 400x237	10.33	8.75E+07	4.16E+07	1.49E+07	8.28E+06	6.05E+06
HD 400x347	9.86	1.25E+08	6.65E+07	1.93E+07	1.10E+07	8.44E+06
HD400x509	9.29	1.84E+08	1.16E+08	2.80E+07	1.59E+07	1.28E+07
HD 400x900	8.29	3.52E+08	2.53E+08	7.64E+07	3.27E+07	2.82E+07
HD 400x1299	7.54	5.71E+08	4.53E+08	1.92E+08	6.38E+07	5.25E+07

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

ANEXO IV

MÉTODO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO: Atual Proposta para fogo 1 lado.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

4. MÉTODO SIMPLIFICADO DE CÁLCULO: Atual Proposta para fogo de 1 lado.

4.1 Banzo do Perfil Metálico Exposto Ao Fogo

Tabela 112 - Temperatura média do concreto exposto ao fogo - ATUAL PROPOSTA

Perfis	Am/V	$\theta_{f,e,t}$ [°C] Temperatura média			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	409,7	596,2	715,2	792,2
HEA 280	5,19	370,3	547,7	657,4	730,8
HEA 320	4,65	351,3	527,0	633,8	707,3
HEA 360	4,56	348,3	525,9	633,4	708,4
HEA 450	4,31	339,7	519,8	627,8	704,9
HEA 500	4,21	336,3	518,3	626,9	705,4
HEA 600	4,06	331,3	514,6	623,4	703,1
HEA 700	3,99	328,9	514,4	624,1	705,3
HEA 800	3,90	326,1	512,2	621,9	703,7
HEA 1000	3,79	321,8	504,0	611,1	690,7
UC 254 x 254 x 73	5,82	380,1	571,4	684,7	761,8
UC 254 x 254 x 167	5,36	352,0	537,5	650,5	728,0
UC 305 x 305 x 97	4,57	328,6	503,2	606,7	678,4
UC 305 x 305 x 158	4,41	316,8	489,3	593,3	665,7
UC 305 x 305 x 313	4,08	290,4	458,9	564,7	638,8
UC 356 x 368 x 202	3,58	281,7	443,0	540,8	609,7
UC 356 x 406 x 340	3,27	259,9	417,2	515,5	585,2
UC 356 x 406 x 592	3,03	234,2	388,9	490,9	563,6
UC 356 x 406 x 744	2,91	220,2	373,6	477,7	552,3
UC 356 x 406 x 1086	2,70	191,7	342,9	452,2	530,9
HD 260 x 93,0	5,65	392,4	583,9	698,9	762,5
HD 260 x 172	5,30	370,0	557,0	671,5	736,7
HD 320 x 74,2	4,69	350,7	528,9	632,6	690,9
HD 320 x 198	4,43	330,2	505,3	610,6	672,2
HD 320 x 300	4,24	314,5	487,1	593,7	657,8
HD 400 x 237	3,39	282,9	443,7	537,9	594,8
HD 400 x 347	3,26	271,3	430,5	526,0	585,3
HD 400 x 509	3,10	255,9	413,3	511,0	573,5
HD 400 x 900	2,81	224,6	378,8	482,3	552,7
HD 400 x 1299	2,55	198,4	349,6	457,4	533,8

Tabela 113 - Coeficientes de redução para tensão de escoamento e módulo de elasticidade do aço para o banzo exposto ao fogo - ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V	$k_{y,\theta}$				$k_{E,\theta}$			
		R30	R60	R90	R120	R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	0,979	0,482	0,212	0,119	0,690	0,321	0,124	0,093

HEA 280	5,19	1,000	0,632	0,332	0,193	0,730	0,462	0,207	0,118
HEA 320	4,65	1,000	0,696	0,389	0,221	0,749	0,522	0,249	0,127
HEA 360	4,56	1,000	0,700	0,390	0,220	0,752	0,525	0,250	0,127
HEA 450	4,31	1,000	0,718	0,403	0,224	0,760	0,542	0,260	0,128
HEA 500	4,21	1,000	0,723	0,405	0,223	0,764	0,547	0,262	0,128
HEA 600	4,06	1,000	0,735	0,414	0,226	0,769	0,558	0,268	0,129
HEA 700	3,99	1,000	0,735	0,412	0,224	0,771	0,558	0,267	0,128
HEA 800	3,90	1,000	0,742	0,418	0,226	0,774	0,565	0,271	0,129
HEA 1000	3,79	1,000	0,768	0,443	0,252	0,778	0,588	0,290	0,147
UC 254 x 254 x 73	5,82	1,000	0,559	0,267	0,156	0,720	0,393	0,158	0,105
UC 254 x 254 x 167	5,36	1,000	0,664	0,349	0,196	0,748	0,491	0,219	0,119
UC 305 x 305 x 97	4,57	1,000	0,770	0,454	0,282	0,771	0,591	0,298	0,169
UC 305 x 305 x 158	4,41	1,000	0,804	0,491	0,312	0,783	0,611	0,329	0,192
UC 305 x 305 x 313	4,08	1,000	0,870	0,579	0,377	0,810	0,641	0,412	0,240
UC 356 x 368 x 202	3,58	1,000	0,905	0,654	0,447	0,818	0,657	0,482	0,293
UC 356 x 406 x 340	3,27	1,000	0,962	0,732	0,516	0,840	0,683	0,555	0,353
UC 356 x 406 x 592	3,03	1,000	1,000	0,800	0,583	0,866	0,711	0,609	0,416
UC 356 x 406 x 744	2,91	1,000	1,000	0,829	0,618	0,880	0,726	0,622	0,448
UC 356 x 406 x 1086	2,70	1,000	1,000	0,885	0,684	0,908	0,757	0,648	0,510
HD 260 x 93,0	5,65	1,000	0,520	0,233	0,155	0,708	0,357	0,132	0,105
HD 260 x 172	5,30	1,000	0,603	0,299	0,186	0,730	0,435	0,181	0,115
HD 320 x 74,2	4,69	1,000	0,691	0,392	0,252	0,749	0,516	0,251	0,146
HD 320 x 198	4,43	1,000	0,764	0,445	0,297	0,770	0,585	0,291	0,180
HD 320 x 300	4,24	1,000	0,808	0,490	0,331	0,786	0,613	0,328	0,206
HD 400 x 237	3,39	1,000	0,904	0,663	0,486	0,817	0,656	0,490	0,325
HD 400 x 347	3,26	1,000	0,933	0,699	0,516	0,829	0,670	0,525	0,353
HD 400 x 509	3,10	1,000	0,971	0,746	0,552	0,844	0,687	0,568	0,387
HD 400 x 900	2,81	1,000	1,000	0,819	0,617	0,875	0,721	0,618	0,447
HD 400 x 1299	2,55	1,000	1,000	0,874	0,675	0,902	0,750	0,643	0,502

Tabela 114 – Tensão de escoamento do aço para o banzo exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V	f ay,f,t [Pa]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	3,47E+08	1,71E+08	7,52E+07	4,24E+07
HEA 280	5,19	3,55E+08	2,24E+08	1,18E+08	6,85E+07
HEA 320	4,65	3,55E+08	2,47E+08	1,38E+08	7,85E+07
HEA 360	4,56	3,45E+08	2,41E+08	1,35E+08	7,59E+07
HEA 450	4,31	3,45E+08	2,48E+08	1,39E+08	7,73E+07
HEA 500	4,21	3,45E+08	2,49E+08	1,40E+08	7,71E+07

HEA 600	4,06	3,45E+08	2,53E+08	1,43E+08	7,80E+07
HEA 700	3,99	3,45E+08	2,54E+08	1,42E+08	7,71E+07
HEA 800	3,90	3,45E+08	2,56E+08	1,44E+08	7,78E+07
HEA 1000	3,79	3,45E+08	2,65E+08	1,53E+08	8,71E+07
UC 254 x 254 x 73	5,82	3,55E+08	1,98E+08	9,47E+07	5,53E+07
UC 254 x 254 x 167	5,36	3,45E+08	2,29E+08	1,20E+08	6,77E+07
UC 305 x 305 x 97	4,57	3,55E+08	2,73E+08	1,61E+08	1,00E+08
UC 305 x 305 x 158	4,41	3,45E+08	2,77E+08	1,69E+08	1,08E+08
UC 305 x 305 x 313	4,08	3,35E+08	2,92E+08	1,94E+08	1,26E+08
UC 356 x 368 x 202	3,58	3,45E+08	3,12E+08	2,25E+08	1,54E+08
UC 356 x 406 x 340	3,27	3,35E+08	3,22E+08	2,45E+08	1,73E+08
UC 356 x 406 x 592	3,03	3,25E+08	3,25E+08	2,60E+08	1,89E+08
UC 356 x 406 x 744	2,91	3,15E+08	3,15E+08	2,61E+08	1,95E+08
UC 356 x 406 x 1086	2,70	2,95E+08	2,95E+08	2,61E+08	2,02E+08
HD 260 x 93,0	5,65	3,45E+08	1,79E+08	8,02E+07	5,35E+07
HD 260 x 172	5,30	3,45E+08	2,08E+08	1,03E+08	6,42E+07
HD 320 x 74,2	4,69	3,55E+08	2,45E+08	1,39E+08	8,94E+07
HD 320 x 198	4,43	3,45E+08	2,63E+08	1,53E+08	1,02E+08
HD 320 x 300	4,24	3,35E+08	2,71E+08	1,64E+08	1,11E+08
HD 400 x 237	3,39	3,45E+08	3,12E+08	2,29E+08	1,68E+08
HD 400 x 347	3,26	3,35E+08	3,13E+08	2,34E+08	1,73E+08
HD 400 x 509	3,10	3,35E+08	3,25E+08	2,50E+08	1,85E+08
HD 400 x 900	2,81	2,95E+08	2,95E+08	2,42E+08	1,82E+08
HD 400 x 1299	2,55	2,95E+08	2,95E+08	2,58E+08	1,99E+08

Tabela 115 - Módulo de elasticidade do aço para o banzo exposto ao fogo - ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V	E a,f,t [Pa]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	1,45E+11	6,74E+10	2,60E+10	1,96E+10
HEA 280	5,19	1,53E+11	9,70E+10	4,34E+10	2,47E+10
HEA 320	4,65	1,57E+11	1,10E+11	5,23E+10	2,67E+10
HEA 360	4,56	1,58E+11	1,10E+11	5,25E+10	2,66E+10
HEA 450	4,31	1,60E+11	1,14E+11	5,46E+10	2,69E+10
HEA 500	4,21	1,60E+11	1,15E+11	5,49E+10	2,68E+10
HEA 600	4,06	1,61E+11	1,17E+11	5,63E+10	2,70E+10
HEA 700	3,99	1,62E+11	1,17E+11	5,60E+10	2,69E+10
HEA 800	3,90	1,63E+11	1,19E+11	5,68E+10	2,70E+10
HEA 1000	3,79	1,63E+11	1,24E+11	6,09E+10	3,08E+10
UC 254 x 254 x 73	5,82	1,51E+11	8,25E+10	3,31E+10	2,21E+10
UC 254 x 254 x 167	5,36	1,57E+11	1,03E+11	4,60E+10	2,49E+10
UC 305 x 305 x 97	4,57	1,62E+11	1,24E+11	6,26E+10	3,54E+10
UC 305 x 305 x 158	4,41	1,64E+11	1,28E+11	6,92E+10	4,03E+10
UC 305 x 305 x 313	4,08	1,70E+11	1,35E+11	8,66E+10	5,04E+10
UC 356 x 368 x 202	3,58	1,72E+11	1,38E+11	1,01E+11	6,14E+10
UC 356 x 406 x 340	3,27	1,76E+11	1,43E+11	1,17E+11	7,41E+10
UC 356 x 406 x 592	3,03	1,82E+11	1,49E+11	1,28E+11	8,73E+10

UC 356 x 406 x 744	2,91	1,85E+11	1,53E+11	1,31E+11	9,42E+10
UC 356 x 406 x 1086	2,70	1,91E+11	1,59E+11	1,36E+11	1,07E+11
HD 260 x 93,0	5,65	1,49E+11	7,49E+10	2,77E+10	2,21E+10
HD 260 x 172	5,30	1,53E+11	9,13E+10	3,81E+10	2,42E+10
HD 320 x 74,2	4,69	1,57E+11	1,08E+11	5,28E+10	3,08E+10
HD 320 x 198	4,43	1,62E+11	1,23E+11	6,11E+10	3,78E+10
HD 320 x 300	4,24	1,65E+11	1,29E+11	6,89E+10	4,33E+10
HD 400 x 237	3,39	1,72E+11	1,38E+11	1,03E+11	6,82E+10
HD 400 x 347	3,26	1,74E+11	1,41E+11	1,10E+11	7,41E+10
HD 400 x 509	3,10	1,77E+11	1,44E+11	1,19E+11	8,12E+10
HD 400 x 900	2,81	1,84E+11	1,51E+11	1,30E+11	9,39E+10
HD 400 x 1299	2,55	1,89E+11	1,58E+11	1,35E+11	1,05E+11

Tabela 116 – Resistência à compressão axial do banzo exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V	N fi,pl,rd,f,e [N]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	1,00E+06	4,92E+05	2,17E+05	1,22E+05
HEA 280	5,19	1,29E+06	8,17E+05	4,29E+05	2,49E+05
HEA 320	4,65	1,65E+06	1,15E+06	6,42E+05	3,65E+05
HEA 360	4,56	1,81E+06	1,27E+06	7,06E+05	3,98E+05
HEA 450	4,31	2,17E+06	1,56E+06	8,77E+05	4,87E+05
HEA 500	4,21	2,38E+06	1,72E+06	9,65E+05	5,32E+05
HEA 600	4,06	2,59E+06	1,90E+06	1,07E+06	5,85E+05
HEA 700	3,99	2,79E+06	2,05E+06	1,15E+06	6,25E+05
HEA 800	3,90	2,90E+06	2,15E+06	1,21E+06	6,54E+05
HEA 1000	3,79	2,69E+06	2,07E+06	1,19E+06	6,79E+05
UC 254 x 254 x 73	5,82	1,28E+06	7,17E+05	3,42E+05	2,00E+05
UC 254 x 254 x 167	5,36	2,90E+06	1,92E+06	1,01E+06	5,69E+05
UC 305 x 305 x 97	4,57	1,67E+06	1,29E+06	7,58E+05	4,70E+05
UC 305 x 305 x 158	4,41	2,68E+06	2,16E+06	1,32E+06	8,38E+05
UC 305 x 305 x 313	4,08	5,26E+06	4,58E+06	3,05E+06	1,98E+06
UC 356 x 368 x 202	3,58	3,49E+06	3,16E+06	2,28E+06	1,56E+06
UC 356 x 406 x 340	3,27	5,79E+06	5,57E+06	4,24E+06	2,99E+06
UC 356 x 406 x 592	3,03	9,89E+06	9,89E+06	7,92E+06	5,77E+06
UC 356 x 406 x 744	2,91	1,21E+07	1,21E+07	1,00E+07	7,48E+06
UC 356 x 406 x 1086	2,70	1,67E+07	1,67E+07	1,48E+07	1,15E+07
HD 260 x 93,0	5,65	1,57E+06	8,16E+05	3,65E+05	2,43E+05
HD 260 x 172	5,30	3,00E+06	1,81E+06	8,97E+05	5,59E+05
HD 320 x 74,2	4,69	1,17E+06	8,09E+05	4,59E+05	2,95E+05
HD 320 x 198	4,43	3,38E+06	2,58E+06	1,50E+06	1,00E+06
HD 320 x 300	4,24	5,03E+06	4,07E+06	2,46E+06	1,67E+06
HD 400 x 237	3,39	4,12E+06	3,72E+06	2,73E+06	2,00E+06
HD 400 x 347	3,26	5,91E+06	5,52E+06	4,14E+06	3,05E+06
HD 400 x 509	3,10	8,74E+06	8,48E+06	6,52E+06	4,82E+06

HD 400 x 900	2,81	1,38E+07	1,38E+07	1,13E+07	8,52E+06
HD 400 x 1299	2,55	1,97E+07	1,97E+07	1,72E+07	1,33E+07

Tabela 117 – Rigidez efetiva à flexão do banzo exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V [m-1]	(EI) fi,f,e,z [Nm ²]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	2,00E+06	9,32E+05	3,60E+05	2,70E+05
HEA 280	5,19	3,64E+06	2,31E+06	1,03E+06	5,88E+05
HEA 320	4,65	5,48E+06	3,82E+06	1,82E+06	9,31E+05
HEA 360	4,56	6,22E+06	4,34E+06	2,07E+06	1,05E+06
HEA 450	4,31	7,54E+06	5,38E+06	2,58E+06	1,27E+06
HEA 500	4,21	8,30E+06	5,94E+06	2,84E+06	1,39E+06
HEA 600	4,06	9,08E+06	6,59E+06	3,16E+06	1,52E+06
HEA 700	3,99	9,84E+06	7,12E+06	3,40E+06	1,63E+06
HEA 800	3,90	1,02E+07	7,47E+06	3,58E+06	1,70E+06
HEA 1000	3,79	9,56E+06	7,23E+06	3,56E+06	1,80E+06
UC 254 x 254 x 73	5,82	2,95E+06	1,61E+06	6,46E+05	4,32E+05
UC 254 x 254 x 167	5,36	7,74E+06	5,08E+06	2,27E+06	1,23E+06
UC 305 x 305 x 97	4,57	5,92E+06	4,53E+06	2,28E+06	1,29E+06
UC 305 x 305 x 158	4,41	1,03E+07	8,05E+06	4,34E+06	2,53E+06
UC 305 x 305 x 313	4,08	2,35E+07	1,86E+07	1,20E+07	6,97E+06
UC 356 x 368 x 202	3,58	2,03E+07	1,63E+07	1,20E+07	7,27E+06
UC 356 x 406 x 340	3,27	4,13E+07	3,36E+07	2,73E+07	1,73E+07
UC 356 x 406 x 592	3,03	8,17E+07	6,71E+07	5,75E+07	3,92E+07
UC 356 x 406 x 744	2,91	1,10E+08	9,11E+07	7,80E+07	5,62E+07
UC 356 x 406 x 1086	2,70	1,86E+08	1,55E+08	1,33E+08	1,04E+08
HD 260 x 93,0	5,65	3,81E+06	1,92E+06	7,10E+05	5,65E+05
HD 260 x 172	5,30	7,99E+06	4,76E+06	1,99E+06	1,26E+06
HD 320 x 74,2	4,69	3,89E+06	2,68E+06	1,31E+06	7,61E+05
HD 320 x 198	4,43	1,24E+07	9,38E+06	4,67E+06	2,89E+06
HD 320 x 300	4,24	2,02E+07	1,58E+07	8,46E+06	5,31E+06
HD 400 x 237	3,39	2,66E+07	2,14E+07	1,60E+07	1,06E+07
HD 400 x 347	3,26	4,18E+07	3,38E+07	2,65E+07	1,78E+07
HD 400 x 509	3,10	6,67E+07	5,42E+07	4,49E+07	3,05E+07
HD 400 x 900	2,81	1,40E+08	1,16E+08	9,89E+07	7,16E+07
HD 400 x 1299	2,55	2,38E+08	1,98E+08	1,70E+08	1,33E+08

4.2 Banzo do Perfil Metálico Não Exposto Ao Fogo

Tabela 118 – Temperatura média do banzo não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfis	Am/V [m-1]	θ f,ne,t [°C] Temperatura média			
		R30	R60	R90	R120
HE B 240	6,30	98,3	181,6	265,1	350,3
HE B 260	5,19	76,1	141,1	201,2	266,4
HE B 280	4,65	69,6	132,0	187,1	246,2
HE B 300	4,56	72,0	138,6	198,0	258,9
HE B 340	4,31	74,1	146,5	211,1	273,5
HE B 450	4,21	76,3	152,8	221,4	285,5
HE B 500	4,06	77,4	157,1	228,6	293,4
HE B 600	3,99	80,2	164,6	240,7	307,8
HE B 700	3,90	80,5	166,4	243,7	311,0
HE B 900	3,79	73,6	151,3	219,5	280,8
HD 260 x 54,1	5,82	97,2	203,5	300,2	391,3
HD 260 x 142	5,36	89,1	189,8	284,1	370,6
HD 260 x 225	4,57	70,3	151,8	219,0	288,5
HD 320 x 127	4,41	67,7	147,9	215,9	284,3
HD 320 x 300	4,08	62,8	140,9	212,4	279,4
HD 400 x 237	3,58	49,8	113,6	162,5	216,7
HD 400 x 382	3,27	44,5	105,0	154,0	205,7
HD 400 x 551	3,03	42,3	104,0	161,8	214,8
HD 400 x 818	2,91	41,4	104,0	167,0	221,1
HD 400 x 1299	2,70	40,3	105,9	181,5	238,7
UC 254x254x73	5,65	97,4	206,8	306,2	402,4
UC 254X254X132	5,30	90,8	194,9	292,0	383,3
UC 305x305x97	4,69	73,9	159,6	232,5	305,7
UC 305x305x137	4,43	70,2	154,0	229,5	301,1
UC 305X305X198	4,24	67,3	149,6	227,0	297,5
UC 356X368X129	3,39	45,3	104,6	153,6	201,5
UC 356X368X177	3,26	43,7	102,5	153,9	201,6
UC 356X406X340	3,10	41,9	100,7	156,2	204,1
UC 356X406X744	2,81	39,9	100,3	166,9	217,0
UC 356X406X1086	2,55	37,5	98,4	172,9	224,0

Tabela 119 - Coeficientes de redução para tensão de escoamento e módulo de elasticidade do aço para o banzo não exposto ao fogo - ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V [m-1]	k y,θ				k E,θ			
		R30	R60	R90	R120	R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,918	0,835	0,750
HEA 280	5,19	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,959	0,899	0,834
HEA 320	4,65	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,968	0,913	0,854
HEA 360	4,56	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,961	0,902	0,841
HEA 450	4,31	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,953	0,889	0,827

HEA 500	4,21	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,947	0,879	0,815
HEA 600	4,06	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,943	0,871	0,807
HEA 700	3,99	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,935	0,859	0,792
HEA 800	3,90	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,934	0,856	0,789
HEA 1000	3,79	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,949	0,881	0,819
UC 254 x 254 x 73	5,82	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,896	0,800	0,709
UC 254 x 254 x 167	5,36	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,910	0,816	0,729
UC 305 x 305 x 97	4,57	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,948	0,881	0,812
UC 305 x 305 x 158	4,41	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,952	0,884	0,816
UC 305 x 305 x 313	4,08	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,959	0,888	0,821
UC 356 x 368 x 202	3,58	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,986	0,937	0,883
UC 356 x 406 x 340	3,27	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,995	0,946	0,894
UC 356 x 406 x 592	3,03	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,996	0,938	0,885
UC 356 x 406 x 744	2,91	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,996	0,933	0,879
UC 356 x 406 x 1086	2,70	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,994	0,919	0,861
HD 260 x 93,0	5,65	1,000	1,000	1,000	0,995	1,000	0,893	0,794	0,698
HD 260 x 172	5,30	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,905	0,808	0,717
HD 320 x 74,2	4,69	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,940	0,867	0,794
HD 320 x 198	4,43	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,946	0,871	0,799
HD 320 x 300	4,24	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,950	0,873	0,803
HD 400 x 237	3,39	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,995	0,946	0,899
HD 400 x 347	3,26	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	0,946	0,898
HD 400 x 509	3,10	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,944	0,896
HD 400 x 900	2,81	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,933	0,883
HD 400 x 1299	2,55	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,927	0,876

Tabela 120 - Tensão de escoamento do aço para o banzo não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V [m-1]	f _{ay,f,t} [Pa]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08
HEA 280	5,19	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08
HEA 320	4,65	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08
HEA 360	4,56	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
HEA 450	4,31	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
HEA 500	4,21	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
HEA 600	4,06	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
HEA 700	3,99	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
HEA 800	3,90	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
HEA 1000	3,79	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
UC 254 x 254 x 73	5,82	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08
UC 254 x 254 x 167	5,36	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08

UC 305 x 305 x 97	4,57	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08
UC 305 x 305 x 158	4,41	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
UC 305 x 305 x 313	4,08	3,35E+08	3,35E+08	3,35E+08	3,35E+08
UC 356 x 368 x 202	3,58	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
UC 356 x 406 x 340	3,27	3,35E+08	3,35E+08	3,35E+08	3,35E+08
UC 356 x 406 x 592	3,03	3,25E+08	3,25E+08	3,25E+08	3,25E+08
UC 356 x 406 x 744	2,91	3,15E+08	3,15E+08	3,15E+08	3,15E+08
UC 356 x 406 x 1086	2,70	2,95E+08	2,95E+08	2,95E+08	2,95E+08
HD 260 x 93,0	5,65	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,43E+08
HD 260 x 172	5,30	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
HD 320 x 74,2	4,69	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08
HD 320 x 198	4,43	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
HD 320 x 300	4,24	3,35E+08	3,35E+08	3,35E+08	3,35E+08
HD 400 x 237	3,39	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
HD 400 x 347	3,26	3,35E+08	3,35E+08	3,35E+08	3,35E+08
HD 400 x 509	3,10	3,35E+08	3,35E+08	3,35E+08	3,35E+08
HD 400 x 900	2,81	2,95E+08	2,95E+08	2,95E+08	2,95E+08
HD 400 x 1299	2,55	2,95E+08	2,95E+08	2,95E+08	2,95E+08

Tabela 121 – Módulo de elasticidade do aço para o banzo não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V [m-1]	E a,f,t [Pa]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	2,10E+11	1,93E+11	1,75E+11	1,57E+11
HEA 280	5,19	2,10E+11	2,01E+11	1,89E+11	1,75E+11
HEA 320	4,65	2,10E+11	2,03E+11	1,92E+11	1,79E+11
HEA 360	4,56	2,10E+11	2,02E+11	1,89E+11	1,77E+11
HEA 450	4,31	2,10E+11	2,00E+11	1,87E+11	1,74E+11
HEA 500	4,21	2,10E+11	1,99E+11	1,85E+11	1,71E+11
HEA 600	4,06	2,10E+11	1,98E+11	1,83E+11	1,69E+11
HEA 700	3,99	2,10E+11	1,96E+11	1,80E+11	1,66E+11
HEA 800	3,90	2,10E+11	1,96E+11	1,80E+11	1,66E+11
HEA 1000	3,79	2,10E+11	1,99E+11	1,85E+11	1,72E+11
UC 254 x 254 x 73	5,82	2,10E+11	1,88E+11	1,68E+11	1,49E+11
UC 254 x 254 x 167	5,36	2,10E+11	1,91E+11	1,71E+11	1,53E+11
UC 305 x 305 x 97	4,57	2,10E+11	1,99E+11	1,85E+11	1,70E+11
UC 305 x 305 x 158	4,41	2,10E+11	2,00E+11	1,86E+11	1,71E+11
UC 305 x 305 x 313	4,08	2,10E+11	2,01E+11	1,86E+11	1,72E+11
UC 356 x 368 x 202	3,58	2,10E+11	2,07E+11	1,97E+11	1,85E+11
UC 356 x 406 x 340	3,27	2,10E+11	2,09E+11	1,99E+11	1,88E+11
UC 356 x 406 x 592	3,03	2,10E+11	2,09E+11	1,97E+11	1,86E+11
UC 356 x 406 x 744	2,91	2,10E+11	2,09E+11	1,96E+11	1,85E+11
UC 356 x 406 x 1086	2,70	2,10E+11	2,09E+11	1,93E+11	1,81E+11
HD 260 x 93,0	5,65	2,10E+11	1,88E+11	1,67E+11	1,47E+11
HD 260 x 172	5,30	2,10E+11	1,90E+11	1,70E+11	1,51E+11

HD 320 x 74,2	4,69	2,10E+11	1,97E+11	1,82E+11	1,67E+11
HD 320 x 198	4,43	2,10E+11	1,99E+11	1,83E+11	1,68E+11
HD 320 x 300	4,24	2,10E+11	2,00E+11	1,83E+11	1,69E+11
HD 400 x 237	3,39	2,10E+11	2,09E+11	1,99E+11	1,89E+11
HD 400 x 347	3,26	2,10E+11	2,09E+11	1,99E+11	1,89E+11
HD 400 x 509	3,10	2,10E+11	2,10E+11	1,98E+11	1,88E+11
HD 400 x 900	2,81	2,10E+11	2,10E+11	1,96E+11	1,85E+11
HD 400 x 1299	2,55	2,10E+11	2,10E+11	1,95E+11	1,84E+11

Tabela 122 - Resistência à compressão axial do banzo não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V [m-1]	N fi,pl,rd,f,ne [N]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	1,02E+06	1,02E+06	1,02E+06	1,02E+06
HEA 280	5,19	1,29E+06	1,29E+06	1,29E+06	1,29E+06
HEA 320	4,65	1,65E+06	1,65E+06	1,65E+06	1,65E+06
HEA 360	4,56	1,81E+06	1,81E+06	1,81E+06	1,81E+06
HEA 450	4,31	2,17E+06	2,17E+06	2,17E+06	2,17E+06
HEA 500	4,21	2,38E+06	2,38E+06	2,38E+06	2,38E+06
HEA 600	4,06	2,59E+06	2,59E+06	2,59E+06	2,59E+06
HEA 700	3,99	2,79E+06	2,79E+06	2,79E+06	2,79E+06
HEA 800	3,90	2,90E+06	2,90E+06	2,90E+06	2,90E+06
HEA 1000	3,79	2,69E+06	2,69E+06	2,69E+06	2,69E+06
UC 254 x 254 x 73	5,82	1,28E+06	1,28E+06	1,28E+06	1,28E+06
UC 254 x 254 x 167	5,36	2,90E+06	2,90E+06	2,90E+06	2,90E+06
UC 305 x 305 x 97	4,57	1,67E+06	1,67E+06	1,67E+06	1,67E+06
UC 305 x 305 x 158	4,41	2,68E+06	2,68E+06	2,68E+06	2,68E+06
UC 305 x 305 x 313	4,08	5,26E+06	5,26E+06	5,26E+06	5,26E+06
UC 356 x 368 x 202	3,58	3,49E+06	3,49E+06	3,49E+06	3,49E+06
UC 356 x 406 x 340	3,27	5,79E+06	5,79E+06	5,79E+06	5,79E+06
UC 356 x 406 x 592	3,03	9,89E+06	9,89E+06	9,89E+06	9,89E+06
UC 356 x 406 x 744	2,91	1,21E+07	1,21E+07	1,21E+07	1,21E+07
UC 356 x 406 x 1086	2,70	1,67E+07	1,67E+07	1,67E+07	1,67E+07
HD 260 x 93,0	5,65	1,57E+06	1,57E+06	1,57E+06	1,56E+06
HD 260 x 172	5,30	3,00E+06	3,00E+06	3,00E+06	3,00E+06
HD 320 x 74,2	4,69	1,17E+06	1,17E+06	1,17E+06	1,17E+06
HD 320 x 198	4,43	3,38E+06	3,38E+06	3,38E+06	3,38E+06
HD 320 x 300	4,24	5,03E+06	5,03E+06	5,03E+06	5,03E+06
HD 400 x 237	3,39	4,12E+06	4,12E+06	4,12E+06	4,12E+06
HD 400 x 347	3,26	5,91E+06	5,91E+06	5,91E+06	5,91E+06
HD 400 x 509	3,10	8,74E+06	8,74E+06	8,74E+06	8,74E+06
HD 400 x 900	2,81	1,38E+07	1,38E+07	1,38E+07	1,38E+07
HD 400 x 1299	2,55	1,97E+07	1,97E+07	1,97E+07	1,97E+07

Tabela 123 – Rigidez efetiva à flexão do banzo não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V	(EI) fi,f,ne,z [Nm ²]
--------	------	-----------------------------------

	[m-1]	R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	2,90E+06	2,67E+06	2,42E+06	2,18E+06
HEA 280	5,19	4,99E+06	4,79E+06	4,49E+06	4,16E+06
HEA 320	4,65	7,32E+06	7,09E+06	6,69E+06	6,25E+06
HEA 360	4,56	8,27E+06	7,95E+06	7,46E+06	6,95E+06
HEA 450	4,31	9,92E+06	9,46E+06	8,82E+06	8,20E+06
HEA 500	4,21	1,09E+07	1,03E+07	9,55E+06	8,85E+06
HEA 600	4,06	1,18E+07	1,11E+07	1,03E+07	9,53E+06
HEA 700	3,99	1,28E+07	1,19E+07	1,10E+07	1,01E+07
HEA 800	3,90	1,32E+07	1,24E+07	1,13E+07	1,04E+07
HEA 1000	3,79	1,23E+07	1,17E+07	1,08E+07	1,01E+07
UC 254 x 254 x 73	5,82	4,10E+06	3,68E+06	3,28E+06	2,91E+06
UC 254 x 254 x 167	5,36	1,03E+07	9,42E+06	8,44E+06	7,55E+06
UC 305 x 305 x 97	4,57	7,67E+06	7,27E+06	6,76E+06	6,22E+06
UC 305 x 305 x 158	4,41	1,32E+07	1,26E+07	1,17E+07	1,08E+07
UC 305 x 305 x 313	4,08	2,90E+07	2,78E+07	2,58E+07	2,38E+07
UC 356 x 368 x 202	3,58	2,49E+07	2,45E+07	2,33E+07	2,20E+07
UC 356 x 406 x 340	3,27	4,91E+07	4,89E+07	4,65E+07	4,39E+07
UC 356 x 406 x 592	3,03	9,44E+07	9,40E+07	8,86E+07	8,36E+07
UC 356 x 406 x 744	2,91	1,25E+08	1,25E+08	1,17E+08	1,10E+08
UC 356 x 406 x 1086	2,70	2,05E+08	2,03E+08	1,88E+08	1,76E+08
HD 260 x 93,0	5,65	5,38E+06	4,81E+06	4,27E+06	3,76E+06
HD 260 x 172	5,30	1,09E+07	9,91E+06	8,85E+06	7,85E+06
HD 320 x 74,2	4,69	5,20E+06	4,89E+06	4,51E+06	4,13E+06
HD 320 x 198	4,43	1,60E+07	1,52E+07	1,40E+07	1,28E+07
HD 320 x 300	4,24	2,58E+07	2,45E+07	2,25E+07	2,07E+07
HD 400 x 237	3,39	3,26E+07	3,24E+07	3,08E+07	2,93E+07
HD 400 x 347	3,26	5,04E+07	5,03E+07	4,77E+07	4,53E+07
HD 400 x 509	3,10	7,90E+07	7,89E+07	7,46E+07	7,08E+07
HD 400 x 900	2,81	1,60E+08	1,60E+08	1,49E+08	1,41E+08
HD 400 x 1299	2,55	2,64E+08	2,64E+08	2,45E+08	2,31E+08

4.3 Alma do Perfil Metálico

Tabela 124 – Temperatura média da alma – ATUAL PROPOSTA

Perfil	$\theta_{w,t}$ [°C] Temperatura média da alma			
	R30	R60	R90	R120
HEA 240	100,7	197,7	301,5	392,0
HEA 280	75,5	154,8	228,6	306,0
HEA 320	62,3	130,5	191,0	258,5
HEA 360	59,3	123,4	182,8	245,5
HEA 450	52,6	109,9	164,1	219,6
HEA 500	50,1	105,1	156,9	210,3

HEA 600	46,3	97,6	146,1	195,8
HEA 700	44,0	92,3	139,9	186,0
HEA 800	42,0	88,5	134,1	178,6
HEA 1000	38,9	82,3	125,4	166,7
UC 254 x 254 x 73	87,2	174,2	272,6	366,7
UC 254 x 254 x 167	92,6	196,7	315,2	422,2
UC 305 x 305 x 97	61,5	124,0	193,2	263,8
UC 305 x 305 x 158	67,2	142,3	226,4	307,0
UC 305 x 305 x 313	66,8	146,9	236,8	320,5
UC 356 x 368 x 202	48,1	103,5	164,1	226,2
UC 356 x 406 x 340	46,3	103,9	167,1	230,1
UC 356 x 406 x 592	44,6	103,1	167,3	230,4
UC 356 x 406 x 744	42,8	100,2	163,1	224,9
UC 356 x 406 x 1086	39,0	93,4	152,6	211,4
HD 260 x 93,0	86,8	184,7	283,9	387,3
HD 260 x 172	89,2	195,2	307,5	417,9
HD 320 x 74,2	58,7	120,6	180,4	250,2
HD 320 x 198	69,1	151,6	240,0	328,1
HD 320 x 300	68,9	153,4	245,9	335,7
HD 400 x 237	45,6	101,0	162,0	224,5
HD 400 x 347	46,4	104,6	170,3	235,2
HD 400 x 509	45,3	103,7	170,7	235,5
HD 400 x 900	41,2	95,9	160,4	221,6
HD 400 x 1299	36,4	86,2	146,2	202,7

Tabela 125 – Coeficientes de redução da tensão de escoamento e módulo de elasticidade do aço para a alma – ATUAL PROPOSTA

Perfil	k y,0				k E,0			
	R30	R60	R90	R120	R30	R60	R90	R120
HEA 240	100,710	197,659	301,504	392,023	0,999	0,902	0,798	0,708
HEA 280	75,486	154,755	228,557	306,016	1,000	0,945	0,871	0,794
HEA 320	62,334	130,521	191,018	258,527	1,000	0,969	0,909	0,841
HEA 360	59,321	123,420	182,830	245,451	1,000	0,977	0,917	0,855
HEA 450	52,634	109,930	164,054	219,648	1,000	0,990	0,936	0,880
HEA 500	50,121	105,111	156,933	210,308	1,000	0,995	0,943	0,890
HEA 600	46,282	97,577	146,098	195,794	1,000	1,000	0,954	0,904
HEA 700	44,000	92,288	139,872	186,016	1,000	1,000	0,960	0,914
HEA 800	41,969	88,516	134,083	178,639	1,000	1,000	0,966	0,921
HEA 1000	38,878	82,274	125,405	166,703	1,000	1,000	0,975	0,933
UC 254 x 254 x 73	87,233	174,217	272,562	366,742	1,000	0,926	0,827	0,733
UC 254 x 254 x 167	92,591	196,661	315,199	422,220	1,000	0,903	0,785	0,678
UC 305 x 305 x 97	61,531	124,014	193,158	263,755	1,000	0,976	0,907	0,836
UC 305 x 305 x 158	67,153	142,296	226,424	307,008	1,000	0,958	0,874	0,793
UC 305 x 305 x 313	66,783	146,861	236,793	320,536	1,000	0,953	0,863	0,779

UC 356 x 368 x 202	48,070	103,486	164,121	226,179	1,000	0,997	0,936	0,874
UC 356 x 406 x 340	46,274	103,879	167,068	230,060	1,000	0,996	0,933	0,870
UC 356 x 406 x 592	44,559	103,083	167,329	230,436	1,000	0,997	0,933	0,870
UC 356 x 406 x 744	42,778	100,169	163,057	224,903	1,000	1,000	0,937	0,875
UC 356 x 406 x 1086	39,031	93,372	152,618	211,372	1,000	1,000	0,947	0,889
HD 260 x 93,0	86,817	184,660	283,859	387,279	1,000	0,915	0,816	0,713
HD 260 x 172	89,177	195,154	307,489	417,884	1,000	0,905	0,793	0,682
HD 320 x 74,2	58,665	120,555	180,366	250,169	1,000	0,979	0,920	0,850
HD 320 x 198	69,098	151,591	239,975	328,145	1,000	0,948	0,860	0,772
HD 320 x 300	68,921	153,448	245,920	335,713	1,000	0,947	0,854	0,764
HD 400 x 237	45,636	101,007	162,017	224,476	1,000	0,999	0,938	0,876
HD 400 x 347	46,407	104,633	170,312	235,209	1,000	0,995	0,930	0,865
HD 400 x 509	45,340	103,671	170,676	235,491	1,000	0,996	0,929	0,865
HD 400 x 900	41,182	95,907	160,367	221,601	1,000	1,000	0,940	0,878
HD 400 x 1299	36,426	86,214	146,202	202,679	1,000	1,000	0,954	0,897

Tabela 126 – Tensão de escoamento do aço para a alma – ATUAL PROPOSTA

Perfil	f _{ay,w,t} [Pa]			
	R30	R60	R90	R120
HEA 240	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08
HEA 280	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08
HEA 320	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08
HEA 360	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
HEA 450	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
HEA 500	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
HEA 600	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
HEA 700	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
HEA 800	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
HEA 1000	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
UC 254 x 254 x 73	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08
UC 254 x 254 x 167	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,28E+08
UC 305 x 305 x 97	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08
UC 305 x 305 x 158	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
UC 305 x 305 x 313	3,35E+08	3,35E+08	3,35E+08	3,35E+08
UC 356 x 368 x 202	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
UC 356 x 406 x 340	3,35E+08	3,35E+08	3,35E+08	3,35E+08
UC 356 x 406 x 592	3,25E+08	3,25E+08	3,25E+08	3,25E+08
UC 356 x 406 x 744	3,15E+08	3,15E+08	3,15E+08	3,15E+08
UC 356 x 406 x 1086	2,95E+08	2,95E+08	2,95E+08	2,95E+08
HD 260 x 93,0	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
HD 260 x 172	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,31E+08
HD 320 x 74,2	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08	3,55E+08
HD 320 x 198	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
HD 320 x 300	3,35E+08	3,35E+08	3,35E+08	3,35E+08

HD 400 x 237	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08	3,45E+08
HD 400 x 347	3,35E+08	3,35E+08	3,35E+08	3,35E+08
HD 400 x 509	3,35E+08	3,35E+08	3,35E+08	3,35E+08
HD 400 x 900	2,95E+08	2,95E+08	2,95E+08	2,95E+08
HD 400 x 1299	2,95E+08	2,95E+08	2,95E+08	2,95E+08

Tabela 127 – Módulo de elasticidade do aço para a alma – ATUAL PROPOSTA

Perfil	E a,w,t [Pa]			
	R30	R60	R90	R120
HEA 240	2,10E+11	1,89E+11	1,68E+11	1,49E+11
HEA 280	2,10E+11	1,99E+11	1,83E+11	1,67E+11
HEA 320	2,10E+11	2,04E+11	1,91E+11	1,77E+11
HEA 360	2,10E+11	2,05E+11	1,93E+11	1,79E+11
HEA 450	2,10E+11	2,08E+11	1,97E+11	1,85E+11
HEA 500	2,10E+11	2,09E+11	1,98E+11	1,87E+11
HEA 600	2,10E+11	2,10E+11	2,00E+11	1,90E+11
HEA 700	2,10E+11	2,10E+11	2,02E+11	1,92E+11
HEA 800	2,10E+11	2,10E+11	2,03E+11	1,93E+11
HEA 1000	2,10E+11	2,10E+11	2,05E+11	1,96E+11
UC 254 x 254 x 73	2,10E+11	1,94E+11	1,74E+11	1,54E+11
UC 254 x 254 x 167	2,10E+11	1,90E+11	1,65E+11	1,42E+11
UC 305 x 305 x 97	2,10E+11	2,05E+11	1,90E+11	1,76E+11
UC 305 x 305 x 158	2,10E+11	2,01E+11	1,83E+11	1,67E+11
UC 305 x 305 x 313	2,10E+11	2,00E+11	1,81E+11	1,64E+11
UC 356 x 368 x 202	2,10E+11	2,09E+11	1,97E+11	1,84E+11
UC 356 x 406 x 340	2,10E+11	2,09E+11	1,96E+11	1,83E+11
UC 356 x 406 x 592	2,10E+11	2,09E+11	1,96E+11	1,83E+11
UC 356 x 406 x 744	2,10E+11	2,10E+11	1,97E+11	1,84E+11
UC 356 x 406 x 1086	2,10E+11	2,10E+11	1,99E+11	1,87E+11
HD 260 x 93,0	2,10E+11	1,92E+11	1,71E+11	1,50E+11
HD 260 x 172	2,10E+11	1,90E+11	1,66E+11	1,43E+11
HD 320 x 74,2	2,10E+11	2,06E+11	1,93E+11	1,78E+11
HD 320 x 198	2,10E+11	1,99E+11	1,81E+11	1,62E+11
HD 320 x 300	2,10E+11	1,99E+11	1,79E+11	1,61E+11
HD 400 x 237	2,10E+11	2,10E+11	1,97E+11	1,84E+11
HD 400 x 347	2,10E+11	2,09E+11	1,95E+11	1,82E+11
HD 400 x 509	2,10E+11	2,09E+11	1,95E+11	1,82E+11
HD 400 x 900	2,10E+11	2,10E+11	1,97E+11	1,84E+11
HD 400 x 1299	2,10E+11	2,10E+11	2,00E+11	1,88E+11

Tabela 128 – Resistência à compressão axial da alma – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	N fi,pl,rd,w [N]			
		R30	R60	R90	R120

HEA 240	6,30	5,48E+05	5,48E+05	5,48E+05	5,48E+05
HEA 280	5,19	6,93E+05	6,93E+05	6,93E+05	6,93E+05
HEA 320	4,65	8,91E+05	8,91E+05	8,91E+05	8,91E+05
HEA 360	4,56	1,09E+06	1,09E+06	1,09E+06	1,09E+06
HEA 450	4,31	1,58E+06	1,58E+06	1,58E+06	1,58E+06
HEA 500	4,21	1,84E+06	1,84E+06	1,84E+06	1,84E+06
HEA 600	4,06	2,42E+06	2,42E+06	2,42E+06	2,42E+06
HEA 700	3,99	3,18E+06	3,18E+06	3,18E+06	3,18E+06
HEA 800	3,90	3,80E+06	3,80E+06	3,80E+06	3,80E+06
HEA 1000	3,79	5,34E+06	5,34E+06	5,34E+06	5,34E+06
UC 254 x 254 x 73	5,82	6,89E+05	6,89E+05	6,89E+05	6,89E+05
UC 254 x 254 x 167	5,36	1,50E+06	1,50E+06	1,50E+06	1,42E+06
UC 305 x 305 x 97	4,57	9,74E+05	9,74E+05	9,74E+05	9,74E+05
UC 305 x 305 x 158	4,41	1,51E+06	1,51E+06	1,51E+06	1,51E+06
UC 305 x 305 x 313	4,08	2,79E+06	2,79E+06	2,79E+06	2,79E+06
UC 356 x 368 x 202	3,58	1,83E+06	1,83E+06	1,83E+06	1,83E+06
UC 356 x 406 x 340	3,27	2,86E+06	2,86E+06	2,86E+06	2,86E+06
UC 356 x 406 x 592	3,03	4,69E+06	4,69E+06	4,69E+06	4,69E+06
UC 356 x 406 x 744	2,91	5,61E+06	5,61E+06	5,61E+06	5,61E+06
UC 356 x 406 x 1086	2,70	7,34E+06	7,34E+06	7,34E+06	7,34E+06
HD 260 x 93,0	5,65	7,76E+05	7,76E+05	7,76E+05	7,76E+05
HD 260 x 172	5,30	1,40E+06	1,40E+06	1,40E+06	1,34E+06
HD 320 x 74,2	4,69	7,92E+05	7,92E+05	7,92E+05	7,92E+05
HD 320 x 198	4,43	1,73E+06	1,73E+06	1,73E+06	1,73E+06
HD 320 x 300	4,24	2,52E+06	2,52E+06	2,52E+06	2,52E+06
HD 400 x 237	3,39	2,08E+06	2,08E+06	2,08E+06	2,08E+06
HD 400 x 347	3,26	2,91E+06	2,91E+06	2,91E+06	2,91E+06
HD 400 x 509	3,10	4,20E+06	4,20E+06	4,20E+06	4,20E+06
HD 400 x 900	2,81	6,20E+06	6,20E+06	6,20E+06	6,20E+06
HD 400 x 1299	2,55	9,44E+06	9,44E+06	9,44E+06	9,44E+06

Tabela 129 – Rigidez efetiva à flexão para a alma – ATUAL PROPOSTA.

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	(EI) fi,w,z [Nm ²]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	1,52E+03	1,37E+03	1,21E+03	1,08E+03
HEA 280	5,19	2,19E+03	2,07E+03	1,91E+03	1,74E+03
HEA 320	4,65	3,56E+03	3,45E+03	3,24E+03	3,00E+03
HEA 360	4,56	5,51E+03	5,38E+03	5,06E+03	4,71E+03
HEA 450	4,31	1,06E+04	1,05E+04	9,91E+03	9,33E+03
HEA 500	4,21	1,34E+04	1,34E+04	1,27E+04	1,19E+04
HEA 600	4,06	2,08E+04	2,08E+04	1,98E+04	1,88E+04
HEA 700	3,99	3,39E+04	3,39E+04	3,26E+04	3,10E+04
HEA 800	3,90	4,34E+04	4,34E+04	4,19E+04	3,99E+04
HEA 1000	3,79	7,37E+04	7,37E+04	7,19E+04	6,88E+04

UC 254 x 254 x 73	5,82	2,51E+03	2,33E+03	2,08E+03	1,84E+03
UC 254 x 254 x 167	5,36	2,80E+04	2,53E+04	2,19E+04	1,89E+04
UC 305 x 305 x 97	4,57	4,71E+03	4,59E+03	4,27E+03	3,93E+03
UC 305 x 305 x 158	4,41	1,91E+04	1,83E+04	1,67E+04	1,52E+04
UC 305 x 305 x 313	4,08	1,31E+05	1,25E+05	1,13E+05	1,02E+05
UC 356 x 368 x 202	3,58	2,52E+04	2,51E+04	2,36E+04	2,20E+04
UC 356 x 406 x 340	3,27	1,06E+05	1,05E+05	9,85E+04	9,19E+04
UC 356 x 406 x 592	3,03	5,11E+05	5,09E+05	4,77E+05	4,44E+05
UC 356 x 406 x 744	2,91	9,63E+05	9,63E+05	9,02E+05	8,43E+05
UC 356 x 406 x 1086	2,70	2,65E+06	2,65E+06	2,51E+06	2,35E+06
HD 260 x 93,0	5,65	3,94E+03	3,60E+03	3,21E+03	2,81E+03
HD 260 x 172	5,30	2,30E+04	2,08E+04	1,82E+04	1,57E+04
HD 320 x 74,2	4,69	2,50E+03	2,45E+03	2,30E+03	2,12E+03
HD 320 x 198	4,43	2,85E+04	2,70E+04	2,45E+04	2,20E+04
HD 320 x 300	4,24	9,61E+04	9,10E+04	8,21E+04	7,34E+04
HD 400 x 237	3,39	3,78E+04	3,77E+04	3,54E+04	3,31E+04
HD 400 x 347	3,26	1,13E+05	1,12E+05	1,05E+05	9,73E+04
HD 400 x 509	3,10	3,35E+05	3,34E+05	3,12E+05	2,90E+05
HD 400 x 900	2,81	1,60E+06	1,60E+06	1,50E+06	1,40E+06
HD 400 x 1299	2,55	5,60E+06	5,60E+06	5,34E+06	5,02E+06

4.4 Concreto Exposto Ao Fogo

Tabela 130 – Temperatura média do concreto exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA.

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	θ c,e,t [°C] Temperatura média			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	195,5	294,4	361,4	426,5
HEA 280	5,19	163,2	249,7	305,1	367,4
HEA 320	4,65	148,8	227,8	276,9	334,5
HEA 360	4,56	147,6	223,8	271,4	325,2
HEA 450	4,31	141,8	213,5	257,8	307,2
HEA 500	4,21	139,3	209,4	252,5	300,7
HEA 600	4,06	135,7	203,3	244,5	290,5
HEA 700	3,99	134,6	200,3	240,3	283,6
HEA 800	3,90	132,4	196,9	236,0	278,5
HEA 1000	3,79	129,7	192,2	229,7	270,2
UC 254 x 254 x 73	5,82	184,1	278,8	359,1	412,7
UC 254 x 254 x 167	5,36	183,2	286,3	378,4	437,3
UC 305 x 305 x 97	4,57	153,9	227,9	285,7	328,5
UC 305 x 305 x 158	4,41	156,1	237,1	304,2	351,2
UC 305 x 305 x 313	4,08	152,4	235,0	304,9	353,1
UC 356 x 368 x 202	3,58	134,5	199,7	249,1	287,7
UC 356 x 406 x 340	3,27	130,1	195,1	245,3	284,1
UC 356 x 406 x 592	3,03	126,5	191,1	241,2	280,0
UC 356 x 406 x 744	2,91	124,1	187,4	236,3	274,5
UC 356 x 406 x 1086	2,70	119,3	179,8	225,8	262,5
HD 260 x 93,0	5,65	187,6	274,1	363,1	432,6
HD 260 x 172	5,30	179,4	267,4	362,4	440,3
HD 320 x 74,2	4,69	159,6	232,7	294,9	341,0
HD 320 x 198	4,43	155,0	233,6	311,1	374,9
HD 320 x 300	4,24	150,2	228,8	307,8	374,4
HD 400 x 237	3,39	125,9	193,4	250,7	298,6
HD 400 x 347	3,26	122,8	190,8	250,3	301,1
HD 400 x 509	3,10	118,7	186,3	245,9	297,6
HD 400 x 900	2,81	111,1	176,8	233,7	284,1
HD 400 x 1299	2,55	104,0	167,5	220,7	268,6

Tabela 131 – Redução da camda horizontal de concreto exposta ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	b c,fi,h [mm] Redução do concreto exposto			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	11,7	29,7	39,9	49,6
HEA 280	5,19	11,7	28,9	35,6	45,9
HEA 320	4,65	11,7	28,4	34,0	43,6
HEA 360	4,56	11,7	28,1	33,9	42,7

HEA 450	4,31	11,7	27,8	33,3	41,3
HEA 500	4,21	11,7	27,7	33,0	40,8
HEA 600	4,06	11,7	27,5	32,7	40,1
HEA 700	3,99	11,7	27,4	32,6	39,5
HEA 800	3,90	11,7	27,3	32,4	39,1
HEA 1000	3,79	11,7	27,1	32,2	38,5
UC 254 x 254 x 73	5,82	11,7	24,4	36,3	48,4
UC 254 x 254 x 167	5,36	11,7	24,0	36,5	48,1
UC 305 x 305 x 97	4,57	11,7	24,0	33,7	43,6
UC 305 x 305 x 158	4,41	11,7	23,8	34,2	44,1
UC 305 x 305 x 313	4,08	11,7	23,6	34,1	43,8
UC 356 x 368 x 202	3,58	11,7	23,6	32,7	41,5
UC 356 x 406 x 340	3,27	11,7	23,4	32,7	41,2
UC 356 x 406 x 592	3,03	11,7	23,3	32,6	41,1
UC 356 x 406 x 744	2,91	11,7	23,3	32,6	40,9
UC 356 x 406 x 1086	2,70	11,7	23,2	32,4	40,6
HD 260 x 93,0	5,65	11,7	23,7	35,6	48,2
HD 260 x 172	5,30	11,7	23,8	35,4	47,8
HD 320 x 74,2	4,69	11,7	23,3	33,5	43,5
HD 320 x 198	4,43	11,7	23,5	33,9	44,4
HD 320 x 300	4,24	11,7	23,6	33,8	44,2
HD 400 x 237	3,39	11,7	23,3	32,4	41,2
HD 400 x 347	3,26	11,7	23,4	32,5	41,3
HD 400 x 509	3,10	11,7	23,4	32,4	41,2
HD 400 x 900	2,81	11,7	23,4	32,2	40,8
HD 400 x 1299	2,55	11,7	23,4	32,1	40,3

Tabela 132 – Módulo de elasticidade reduzido do concreto exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	E c,sec,θ [Pa]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	3,51E+09	2,47E+09	1,78E+09	1,25E+09
HEA 280	5,19	3,91E+09	2,88E+09	2,36E+09	1,74E+09
HEA 320	4,65	4,12E+09	3,12E+09	2,62E+09	2,03E+09
HEA 360	4,56	4,14E+09	3,16E+09	2,67E+09	2,13E+09
HEA 450	4,31	4,23E+09	3,28E+09	2,80E+09	2,34E+09
HEA 500	4,21	4,27E+09	3,33E+09	2,85E+09	2,42E+09
HEA 600	4,06	4,33E+09	3,41E+09	2,94E+09	2,51E+09
HEA 700	3,99	4,35E+09	3,45E+09	2,98E+09	2,57E+09
HEA 800	3,90	4,39E+09	3,49E+09	3,03E+09	2,61E+09
HEA 1000	3,79	4,43E+09	3,54E+09	3,10E+09	2,69E+09
UC 254 x 254 x 73	5,82	3,64E+09	2,61E+09	1,80E+09	1,37E+09
UC 254 x 254 x 167	5,36	3,65E+09	2,54E+09	1,65E+09	1,17E+09
UC 305 x 305 x 97	4,57	4,05E+09	3,12E+09	2,55E+09	2,09E+09

UC 305 x 305 x 158	4,41	4,02E+09	3,01E+09	2,37E+09	1,87E+09
UC 305 x 305 x 313	4,08	4,07E+09	3,04E+09	2,37E+09	1,85E+09
UC 356 x 368 x 202	3,58	4,35E+09	3,46E+09	2,89E+09	2,53E+09
UC 356 x 406 x 340	3,27	4,43E+09	3,51E+09	2,93E+09	2,56E+09
UC 356 x 406 x 592	3,03	4,49E+09	3,56E+09	2,97E+09	2,60E+09
UC 356 x 406 x 744	2,91	4,53E+09	3,60E+09	3,02E+09	2,65E+09
UC 356 x 406 x 1086	2,70	4,62E+09	3,69E+09	3,14E+09	2,76E+09
HD 260 x 93,0	5,65	3,60E+09	2,65E+09	1,77E+09	1,21E+09
HD 260 x 172	5,30	3,70E+09	2,71E+09	1,78E+09	1,15E+09
HD 320 x 74,2	4,69	3,97E+09	3,06E+09	2,47E+09	1,97E+09
HD 320 x 198	4,43	4,03E+09	3,05E+09	2,29E+09	1,68E+09
HD 320 x 300	4,24	4,10E+09	3,11E+09	2,33E+09	1,68E+09
HD 400 x 237	3,39	4,50E+09	3,53E+09	2,87E+09	2,44E+09
HD 400 x 347	3,26	4,55E+09	3,56E+09	2,88E+09	2,41E+09
HD 400 x 509	3,10	4,63E+09	3,61E+09	2,92E+09	2,45E+09
HD 400 x 900	2,81	4,77E+09	3,73E+09	3,05E+09	2,56E+09
HD 400 x 1299	2,55	4,92E+09	3,85E+09	3,20E+09	2,70E+09

Tabela 133 – Resistência à compressão axial para o concreto exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	Nfi,pl,Rd,c,e [N]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	3,32E+05	2,44E+05	1,96E+05	1,52E+05
HEA 280	5,19	4,73E+05	3,74E+05	3,27E+05	2,70E+05
HEA 320	4,65	5,94E+05	4,87E+05	4,38E+05	3,71E+05
HEA 360	4,56	6,51E+05	5,35E+05	4,80E+05	4,12E+05
HEA 450	4,31	8,34E+05	6,95E+05	6,29E+05	5,47E+05
HEA 500	4,21	9,36E+05	7,83E+05	7,11E+05	6,22E+05
HEA 600	4,06	1,15E+06	9,67E+05	8,82E+05	7,78E+05
HEA 700	3,99	1,32E+06	1,12E+06	1,02E+06	9,04E+05
HEA 800	3,90	1,54E+06	1,30E+06	1,19E+06	1,06E+06
HEA 1000	3,79	1,98E+06	1,68E+06	1,55E+06	1,39E+06
UC 254 x 254 x 73	5,82	3,82E+05	3,04E+05	2,39E+05	1,87E+05
UC 254 x 254 x 167	5,36	3,82E+05	3,03E+05	2,33E+05	1,78E+05
UC 305 x 305 x 97	4,57	5,98E+05	5,13E+05	4,40E+05	3,80E+05
UC 305 x 305 x 158	4,41	5,97E+05	5,08E+05	4,29E+05	3,68E+05
UC 305 x 305 x 313	4,08	5,98E+05	5,10E+05	4,29E+05	3,68E+05
UC 356 x 368 x 202	3,58	8,53E+05	7,62E+05	6,78E+05	6,07E+05
UC 356 x 406 x 340	3,27	9,04E+05	8,13E+05	7,26E+05	6,54E+05
UC 356 x 406 x 592	3,03	9,04E+05	8,13E+05	7,28E+05	6,56E+05
UC 356 x 406 x 744	2,91	9,06E+05	8,16E+05	7,33E+05	6,62E+05
UC 356 x 406 x 1086	2,70	9,03E+05	8,15E+05	7,38E+05	6,69E+05
HD 260 x 93,0	5,65	3,87E+05	3,14E+05	2,46E+05	1,85E+05
HD 260 x 172	5,30	3,89E+05	3,16E+05	2,47E+05	1,83E+05

HD 320 x 74,2	4,69	5,93E+05	5,09E+05	4,33E+05	3,70E+05
HD 320 x 198	4,43	5,85E+05	4,99E+05	4,15E+05	3,44E+05
HD 320 x 300	4,24	5,81E+05	4,97E+05	4,13E+05	3,41E+05
HD 400 x 237	3,39	9,02E+05	8,10E+05	7,20E+05	6,40E+05
HD 400 x 347	3,26	9,06E+05	8,13E+05	7,21E+05	6,40E+05
HD 400 x 509	3,10	9,11E+05	8,18E+05	7,28E+05	6,45E+05
HD 400 x 900	2,81	9,07E+05	8,16E+05	7,33E+05	6,52E+05
HD 400 x 1299	2,55	9,13E+05	8,22E+05	7,46E+05	6,68E+05

Tabela 134 – Rigidez efetiva à flexão do concreto exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	(EI) fi,c,e,z [Nm ²]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	2,95E+05	1,18E+05	5,74E+04	2,62E+04
HEA 280	5,19	6,41E+05	2,99E+05	1,99E+05	1,04E+05
HEA 320	4,65	9,74E+05	4,91E+05	3,55E+05	2,07E+05
HEA 360	4,56	1,08E+06	5,50E+05	3,97E+05	2,42E+05
HEA 450	4,31	1,42E+06	7,42E+05	5,46E+05	3,60E+05
HEA 500	4,21	1,60E+06	8,49E+05	6,30E+05	4,27E+05
HEA 600	4,06	1,99E+06	1,07E+06	8,06E+05	5,58E+05
HEA 700	3,99	2,33E+06	1,26E+06	9,47E+05	6,69E+05
HEA 800	3,90	2,73E+06	1,49E+06	1,13E+06	8,03E+05
HEA 1000	3,79	3,55E+06	1,96E+06	1,51E+06	1,09E+06
UC 254 x 254 x 73	5,82	4,02E+05	1,98E+05	9,14E+04	4,27E+04
UC 254 x 254 x 167	5,36	4,61E+05	2,28E+05	9,89E+04	4,51E+04
UC 305 x 305 x 97	4,57	1,01E+06	5,80E+05	3,70E+05	2,29E+05
UC 305 x 305 x 158	4,41	1,06E+06	6,04E+05	3,67E+05	2,19E+05
UC 305 x 305 x 313	4,08	1,24E+06	7,14E+05	4,32E+05	2,63E+05
UC 356 x 368 x 202	3,58	2,39E+06	1,52E+06	1,05E+06	7,62E+05
UC 356 x 406 x 340	3,27	3,07E+06	1,99E+06	1,40E+06	1,03E+06
UC 356 x 406 x 592	3,03	3,58E+06	2,34E+06	1,66E+06	1,24E+06
UC 356 x 406 x 744	2,91	3,91E+06	2,58E+06	1,85E+06	1,39E+06
UC 356 x 406 x 1086	2,70	4,64E+06	3,11E+06	2,28E+06	1,74E+06
HD 260 x 93,0	5,65	4,24E+05	2,22E+05	1,01E+05	4,19E+04
HD 260 x 172	5,30	4,82E+05	2,53E+05	1,15E+05	4,71E+04
HD 320 x 74,2	4,69	9,37E+05	5,49E+05	3,39E+05	2,01E+05
HD 320 x 198	4,43	1,02E+06	5,84E+05	3,36E+05	1,82E+05
HD 320 x 300	4,24	1,11E+06	6,43E+05	3,74E+05	2,02E+05
HD 400 x 237	3,39	2,92E+06	1,86E+06	1,28E+06	9,06E+05
HD 400 x 347	3,26	3,17E+06	2,03E+06	1,39E+06	9,77E+05
HD 400 x 509	3,10	3,55E+06	2,28E+06	1,57E+06	1,11E+06
HD 400 x 900	2,81	4,41E+06	2,87E+06	2,03E+06	1,46E+06
HD 400 x 1299	2,55	5,73E+06	3,79E+06	2,76E+06	2,03E+06

4.5 Concreto Não Exposto Ao Fogo

Tabela 135 – Temperatura média do concreto não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	$\theta_{c,ne,t}$ [°C] Temperatura do concreto			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	48,5	105,5	171,1	231,2
HEA 280	5,19	37,5	79,6	127,1	170,7
HEA 320	4,65	32,5	66,3	104,9	140,6
HEA 360	4,56	31,9	63,3	100,5	134,8
HEA 450	4,31	29,8	56,6	89,8	120,4
HEA 500	4,21	28,9	54,1	85,6	114,8
HEA 600	4,06	27,6	50,2	79,4	106,3
HEA 700	3,99	27,1	48,0	76,0	101,9
HEA 800	3,90	26,4	45,9	72,6	97,3
HEA 1000	3,79	25,4	42,8	67,6	90,6
UC 254 x 254 x 73	5,82	46,2	92,2	151,6	198,5
UC 254 x 254 x 167	5,36	47,8	102,0	171,9	230,7
UC 305 x 305 x 97	4,57	34,7	63,0	102,0	144,0
UC 305 x 305 x 158	4,41	36,7	71,7	119,0	168,7
UC 305 x 305 x 313	4,08	36,3	72,9	122,6	177,1
UC 356 x 368 x 202	3,58	28,3	49,5	80,9	125,5
UC 356 x 406 x 340	3,27	27,3	48,7	80,6	128,5
UC 356 x 406 x 592	3,03	26,3	47,5	79,5	129,4
UC 356 x 406 x 744	2,91	25,5	45,7	76,5	126,6
UC 356 x 406 x 1086	2,70	23,8	41,6	69,7	119,5
HD 260 x 93,0	5,65	48,5	99,8	163,2	218,4
HD 260 x 172	5,30	48,1	102,3	170,5	228,8
HD 320 x 74,2	4,69	37,1	66,3	104,4	146,3
HD 320 x 198	4,43	39,4	78,2	129,6	179,2
HD 320 x 300	4,24	38,8	77,8	130,3	180,7
HD 400 x 237	3,39	29,2	50,1	81,9	121,6
HD 400 x 347	3,26	29,0	50,9	84,4	125,1
HD 400 x 509	3,10	28,2	49,5	82,8	123,7
HD 400 x 900	2,81	26,0	44,4	74,9	114,5
HD 400 x 1299	2,55	23,8	38,7	65,5	103,3

Tabela 136 – Módulo de elasticidade reduzido do concreto não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	E _{c,sec,θ} [Pa]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	6,59E+09	4,88E+09	3,81E+09	3,08E+09
HEA 280	5,19	7,07E+09	5,53E+09	4,48E+09	3,81E+09
HEA 320	4,65	7,32E+09	5,94E+09	4,90E+09	4,25E+09

HEA 360	4,56	7,34E+09	6,04E+09	4,99E+09	4.35E+09
HEA 450	4,31	7,45E+09	6,28E+09	5,25E+09	4.60E+09
HEA 500	4,21	7,50E+09	6,37E+09	5,36E+09	4.70E+09
HEA 600	4,06	7,57E+09	6,52E+09	5,54E+09	4.87E+09
HEA 700	3,99	7,59E+09	6,61E+09	5,63E+09	4.96E+09
HEA 800	3,90	7,63E+09	6,70E+09	5,74E+09	5.06E+09
HEA 1000	3,79	7,69E+09	6,83E+09	5,89E+09	5.23E+09
UC 254 x 254 x 73	5,82	6,69E+09	5,19E+09	4,08E+09	3.47E+09
UC 254 x 254 x 167	5,36	6,62E+09	4,96E+09	3,80E+09	3.08E+09
UC 305 x 305 x 97	4,57	7,21E+09	6,05E+09	4,96E+09	4.20E+09
UC 305 x 305 x 158	4,41	7,11E+09	5,77E+09	4,62E+09	3.84E+09
UC 305 x 305 x 313	4,08	7,13E+09	5,73E+09	4,56E+09	3.73E+09
UC 356 x 368 x 202	3,58	7,53E+09	6,55E+09	5,49E+09	4.50E+09
UC 356 x 406 x 340	3,27	7,59E+09	6,58E+09	5,50E+09	4.45E+09
UC 356 x 406 x 592	3,03	7,64E+09	6,63E+09	5,53E+09	4.44E+09
UC 356 x 406 x 744	2,91	7,68E+09	6,71E+09	5,62E+09	4.49E+09
UC 356 x 406 x 1086	2,70	7,78E+09	6,89E+09	5,83E+09	4.61E+09
HD 260 x 93,0	5,65	6,59E+09	5,00E+09	3,91E+09	3.23E+09
HD 260 x 172	5,30	6,61E+09	4,95E+09	3,81E+09	3.11E+09
HD 320 x 74,2	4,69	7,09E+09	5,94E+09	4,91E+09	4.16E+09
HD 320 x 198	4,43	6,98E+09	5,57E+09	4,43E+09	3.70E+09
HD 320 x 300	4,24	7,01E+09	5,58E+09	4,42E+09	3.68E+09
HD 400 x 237	3,39	7,49E+09	6,53E+09	5,46E+09	4.58E+09
HD 400 x 347	3,26	7,49E+09	6,50E+09	5,40E+09	4.51E+09
HD 400 x 509	3,10	7,54E+09	6,55E+09	5,44E+09	4.54E+09
HD 400 x 900	2,81	7,65E+09	6,76E+09	5,67E+09	4.71E+09
HD 400 x 1299	2,55	7,78E+09	7,02E+09	5,96E+09	4.93E+09

Tabela 137 – Resistência à compressão axial do concreto não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	Nfi,pl,Rd,c,ne [N]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	3,90E+05	3,89E+05	3,76E+05	3,59E+05
HEA 280	5,19	5,37E+05	5,37E+05	5,30E+05	5,18E+05
HEA 320	4,65	6,64E+05	6,64E+05	6,63E+05	6,51E+05
HEA 360	4,56	7,30E+05	7,30E+05	7,30E+05	7,18E+05
HEA 450	4,31	9,32E+05	9,32E+05	9,32E+05	9,23E+05
HEA 500	4,21	1,04E+06	1,04E+06	1,04E+06	1,04E+06
HEA 600	4,06	1,28E+06	1,28E+06	1,28E+06	1,27E+06
HEA 700	3,99	1,48E+06	1,48E+06	1,48E+06	1,47E+06
HEA 800	3,90	1,71E+06	1,71E+06	1,71E+06	1,71E+06
HEA 1000	3,79	2,20E+06	2,20E+06	2,20E+06	2,20E+06
UC 254 x 254 x 73	5,82	4,44E+05	4,44E+05	4,32E+05	4,22E+05
UC 254 x 254 x 167	5,36	4,44E+05	4,43E+05	4,28E+05	4,08E+05
UC 305 x 305 x 97	4,57	6,70E+05	6,70E+05	6,69E+05	6,55E+05

UC 305 x 305 x 158	4,41	6,70E+05	6,70E+05	6,64E+05	6,47E+05
UC 305 x 305 x 313	4,08	6,70E+05	6,70E+05	6,62E+05	6,44E+05
UC 356 x 368 x 202	3,58	9,32E+05	9,32E+05	9,32E+05	9,20E+05
UC 356 x 406 x 340	3,27	9,82E+05	9,82E+05	9,82E+05	9,68E+05
UC 356 x 406 x 592	3,03	9,81E+05	9,81E+05	9,81E+05	9,66E+05
UC 356 x 406 x 744	2,91	9,81E+05	9,81E+05	9,81E+05	9,68E+05
UC 356 x 406 x 1086	2,70	9,76E+05	9,76E+05	9,76E+05	9,67E+05
HD 260 x 93,0	5,65	4,50E+05	4,50E+05	4,36E+05	4,19E+05
HD 260 x 172	5,30	4,50E+05	4,49E+05	4,34E+05	4,15E+05
HD 320 x 74,2	4,69	6,67E+05	6,67E+05	6,65E+05	6,51E+05
HD 320 x 198	4,43	6,57E+05	6,57E+05	6,48E+05	6,31E+05
HD 320 x 300	4,24	6,52E+05	6,52E+05	6,43E+05	6,26E+05
HD 400 x 237	3,39	9,78E+05	9,78E+05	9,78E+05	9,68E+05
HD 400 x 347	3,26	9,80E+05	9,80E+05	9,80E+05	9,68E+05
HD 400 x 509	3,10	9,84E+05	9,84E+05	9,84E+05	9,72E+05
HD 400 x 900	2,81	9,76E+05	9,76E+05	9,76E+05	9,69E+05
HD 400 x 1299	2,55	9,79E+05	9,79E+05	9,79E+05	9,78E+05

Tabela 138 – Rigidez efetiva à flexão do concreto não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	(EI) f _{i,c,ne,z} [Nm ²]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	7,62E+05	5,64E+05	4,40E+05	3,56E+05
HEA 280	5,19	1,52E+06	1,19E+06	9,64E+05	8,20E+05
HEA 320	4,65	2,22E+06	1,81E+06	1,49E+06	1,29E+06
HEA 360	4,56	2,48E+06	2,04E+06	1,69E+06	1,47E+06
HEA 450	4,31	3,22E+06	2,71E+06	2,27E+06	1,98E+06
HEA 500	4,21	3,62E+06	3,08E+06	2,59E+06	2,27E+06
HEA 600	4,06	4,47E+06	3,86E+06	3,27E+06	2,88E+06
HEA 700	3,99	5,24E+06	4,56E+06	3,89E+06	3,42E+06
HEA 800	3,90	6,11E+06	5,36E+06	4,59E+06	4,05E+06
HEA 1000	3,79	7,92E+06	7,03E+06	6,07E+06	5,39E+06
UC 254 x 254 x 73	5,82	9,98E+05	7,75E+05	6,09E+05	5,18E+05
UC 254 x 254 x 167	5,36	1,12E+06	8,36E+05	6,40E+05	5,20E+05
UC 305 x 305 x 97	4,57	2,29E+06	1,92E+06	1,58E+06	1,34E+06
UC 305 x 305 x 158	4,41	2,39E+06	1,94E+06	1,56E+06	1,29E+06
UC 305 x 305 x 313	4,08	2,74E+06	2,20E+06	1,75E+06	1,43E+06
UC 356 x 368 x 202	3,58	5,06E+06	4,40E+06	3,69E+06	3,03E+06
UC 356 x 406 x 340	3,27	6,35E+06	5,51E+06	4,60E+06	3,73E+06
UC 356 x 406 x 592	3,03	7,28E+06	6,32E+06	5,28E+06	4,23E+06
UC 356 x 406 x 744	2,91	7,91E+06	6,90E+06	5,78E+06	4,62E+06
UC 356 x 406 x 1086	2,70	9,23E+06	8,17E+06	6,92E+06	5,48E+06
HD 260 x 93,0	5,65	1,04E+06	7,93E+05	6,20E+05	5,11E+05
HD 260 x 172	5,30	1,15E+06	8,59E+05	6,62E+05	5,39E+05
HD 320 x 74,2	4,69	2,16E+06	1,80E+06	1,49E+06	1,27E+06

HD 320 x 198	4,43	2,25E+06	1,80E+06	1,43E+06	1,19E+06
HD 320 x 300	4,24	2,42E+06	1,93E+06	1,53E+06	1,27E+06
HD 400 x 237	3,39	5,88E+06	5,13E+06	4,29E+06	3,59E+06
HD 400 x 347	3,26	6,30E+06	5,46E+06	4,54E+06	3,79E+06
HD 400 x 509	3,10	6,94E+06	6,03E+06	5,01E+06	4,18E+06
HD 400 x 900	2,81	8,39E+06	7,42E+06	6,21E+06	5,16E+06
HD 400 x 1299	2,55	1,06E+07	9,60E+06	8,16E+06	6,74E+06

4.6 Reforço Exposto Ao Fogo

Tabela 139 – Temperatura média do reforço exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	θ s,e,t [°C] Temperatura média			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	5,19	174,7	359,6	496,2	597,7
HEA 280	4,65	167,7	343,8	469,5	565,4
HEA 320	4,56	164,3	336,1	456,5	549,8
HEA 360	4,31	163,7	334,8	454,3	547,1
HEA 450	4,21	162,1	331,3	448,3	539,9
HEA 500	4,06	161,5	329,9	446,0	537,0
HEA 600	3,99	147,8	290,7	402,6	488,1
HEA 700	3,90	147,6	290,3	401,6	486,8
HEA 800	3,79	147,3	289,9	400,4	485,3
HEA 1000	5,82	146,9	289,3	398,8	483,2
UC 254 x 254 x 73	5,36	171,6	352,8	484,6	583,7
UC 254 x 254 x 167	4,57	168,8	346,3	473,7	570,6
UC 305 x 305 x 97	4,41	163,8	335,1	454,8	547,7
UC 305 x 305 x 158	4,08	162,8	332,8	450,9	543,0
UC 305 x 305 x 313	3,58	160,7	328,1	443,0	533,4
UC 356 x 368 x 202	3,27	157,6	321,0	431,0	518,9
UC 356 x 406 x 340	3,03	155,6	316,5	423,4	509,7
UC 356 x 406 x 592	2,91	154,1	313,1	417,7	502,9
UC 356 x 406 x 744	2,70	153,3	311,4	414,9	499,4
UC 356 x 406 x 1086	5,65	152,0	308,4	409,8	493,3
HD 260 x 93,0	5,30	170,6	350,4	480,7	578,9
HD 260 x 172	4,69	168,4	345,5	472,3	568,8
HD 320 x 74,2	4,43	164,5	336,7	457,5	550,9
HD 320 x 198	4,24	162,9	333,1	451,4	543,5
HD 320 x 300	3,39	161,7	330,3	446,7	537,8
HD 400 x 237	3,26	156,3	318,2	426,3	513,2
HD 400 x 347	3,10	155,5	316,3	423,1	509,4
HD 400 x 509	2,81	154,5	314,1	419,3	504,8
HD 400 x 900	2,55	152,7	310,0	412,4	496,5
HD 400 x 1299	7,54	151,1	306,3	406,2	489,0

Tabela 140 – Coeficientes de redução da tensão d escoamento e módulo de elasticidade para o aço do reforço exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	u [mm]	k sy,θ				k sE,θ			
		R30	R60	R90	R120	R30	R60	R90	R120
HEA 240	50,0	1,000	0,964	0,680	0,406	0,903	0,625	0,406	0,244
HEA 280	50,0	1,000	0,974	0,752	0,493	0,912	0,650	0,449	0,295
HEA 240	50,0	1,000	0,978	0,787	0,536	0,916	0,662	0,470	0,320
HEA 280	50,0	1,000	0,979	0,793	0,543	0,917	0,664	0,473	0,325
HEA 240	50,0	1,000	0,981	0,809	0,562	0,919	0,670	0,483	0,336
HEA 280	50,0	1,000	0,982	0,816	0,570	0,920	0,672	0,486	0,341
HEA 240	54,8	1,000	1,000	0,933	0,702	0,938	0,734	0,556	0,419
HEA 280	54,8	1,000	1,000	0,936	0,706	0,938	0,734	0,557	0,421
HEA 800	54,8	1,000	1,000	0,939	0,710	0,939	0,735	0,559	0,424
HEA 1000	54,8	1,000	1,000	0,941	0,715	0,939	0,736	0,562	0,427
UC 254 x 254 x 73	50,0	1,000	0,968	0,712	0,444	0,907	0,636	0,425	0,266
UC 254 x 254 x 167	50,0	1,000	0,972	0,741	0,479	0,911	0,646	0,442	0,287
UC 305 x 305 x 97	50,0	1,000	0,979	0,792	0,541	0,917	0,664	0,472	0,324
UC 305 x 305 x 158	50,0	1,000	0,980	0,803	0,554	0,918	0,668	0,479	0,331
UC 305 x 305 x 313	50,0	1,000	0,983	0,824	0,580	0,921	0,675	0,491	0,347
UC 356 x 368 x 202	50,0	1,000	0,987	0,856	0,619	0,925	0,686	0,510	0,370
UC 356 x 406 x 340	50,0	1,000	0,990	0,877	0,644	0,928	0,694	0,523	0,384
UC 356 x 406 x 592	50,0	1,000	0,992	0,892	0,662	0,930	0,699	0,532	0,395
UC 356 x 406 x 744	50,0	1,000	0,993	0,900	0,672	0,931	0,702	0,536	0,401
UC 356 x 406 x 1086	50,0	1,000	0,995	0,914	0,688	0,932	0,707	0,544	0,411
HD 260x93	50,0	1,000	0,970	0,722	0,457	0,908	0,639	0,431	0,274
HD 260x172	50,0	1,000	0,973	0,745	0,484	0,911	0,647	0,444	0,290
HD 320x74.2	50,0	1,000	0,978	0,785	0,533	0,916	0,661	0,468	0,319
HD 320x198	50,0	1,000	0,980	0,801	0,552	0,918	0,667	0,478	0,330
HD 320x300	50,0	1,000	0,982	0,814	0,568	0,920	0,672	0,485	0,339
HD 400x237	50,0	1,000	0,989	0,869	0,634	0,927	0,691	0,518	0,379
HD 400x347	50,0	1,000	0,990	0,878	0,645	0,928	0,694	0,523	0,385
HD400x509	50,0	1,000	0,992	0,888	0,657	0,929	0,698	0,529	0,392
HD 400x900	50,0	1,000	0,994	0,906	0,680	0,931	0,704	0,540	0,406
HD 400x1299	50,0	1,000	0,996	0,923	0,700	0,934	0,710	0,550	0,418

Tabela 141 – Resistência à compressão axial do reforço exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	N fi,pl,Rd,s,e [N]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	5,19	3,14E+05	3,03E+05	2,14E+05	1,28E+05
HEA 280	4,65	4,91E+05	4,78E+05	3,69E+05	2,42E+05
HEA 320	4,56	4,91E+05	4,80E+05	3,87E+05	2,63E+05
HEA 360	4,31	8,04E+05	7,87E+05	6,38E+05	4,37E+05
HEA 450	4,21	8,04E+05	7,89E+05	6,51E+05	4,52E+05
HEA 500	4,06	8,04E+05	7,90E+05	6,56E+05	4,58E+05
HEA 600	3,99	8,04E+05	8,04E+05	7,50E+05	5,65E+05
HEA 700	3,90	1,26E+06	1,26E+06	1,18E+06	8,87E+05
HEA 800	3,79	1,26E+06	1,26E+06	1,18E+06	8,92E+05
HEA 1000	5,82	1,26E+06	1,26E+06	1,18E+06	8,99E+05
UC 254 x 254 x 73	5,36	4,91E+05	4,75E+05	3,49E+05	2,18E+05
UC 254 x 254 x 167	4,57	4,91E+05	4,77E+05	3,64E+05	2,35E+05

UC 305 x 305 x 97	4,41	4,91E+05	4,81E+05	3,89E+05	2,66E+05
UC 305 x 305 x 158	4,08	4,91E+05	4,81E+05	3,94E+05	2,72E+05
UC 305 x 305 x 313	3,58	4,91E+05	4,83E+05	4,04E+05	2,85E+05
UC 356 x 368 x 202	3,27	8,04E+05	7,94E+05	6,89E+05	4,98E+05
UC 356 x 406 x 340	3,03	8,04E+05	7,96E+05	7,05E+05	5,18E+05
UC 356 x 406 x 592	2,91	8,04E+05	7,98E+05	7,17E+05	5,33E+05
UC 356 x 406 x 744	2,70	8,04E+05	7,99E+05	7,24E+05	5,40E+05
UC 356 x 406 x 1086	5,65	8,04E+05	8,00E+05	7,35E+05	5,53E+05
HD 260x93	5,30	4,91E+05	4,76E+05	3,55E+05	2,24E+05
HD 260x172	4,69	4,91E+05	4,78E+05	3,66E+05	2,38E+05
HD 320x74.2	4,43	4,91E+05	4,80E+05	3,85E+05	2,61E+05
HD 320x198	4,24	4,91E+05	4,81E+05	3,93E+05	2,71E+05
HD 320x300	3,39	4,91E+05	4,82E+05	4,00E+05	2,79E+05
HD 400x237	3,26	8,04E+05	7,95E+05	6,99E+05	5,10E+05
HD 400x347	3,10	8,04E+05	7,96E+05	7,06E+05	5,18E+05
HD400x509	2,81	8,04E+05	7,97E+05	7,14E+05	5,28E+05
HD 400x900	2,55	8,04E+05	7,99E+05	7,29E+05	5,46E+05
HD 400x1299	7,54	8,04E+05	8,01E+05	7,42E+05	5,63E+05

Tabela 142 – Rigidez efetiva à flexão do reforço exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	(EI) f _{i,s,e,z} [Nm ²]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	5,19	5,87E+05	4,06E+05	2,64E+05	1,58E+05
HEA 280	4,65	1,53E+06	1,09E+06	7,53E+05	4,96E+05
HEA 320	4,56	1,90E+06	1,37E+06	9,72E+05	6,63E+05
HEA 360	4,31	3,12E+06	2,26E+06	1,61E+06	1,10E+06
HEA 450	4,21	3,12E+06	2,28E+06	1,64E+06	1,14E+06
HEA 500	4,06	3,13E+06	2,29E+06	1,65E+06	1,16E+06
HEA 600	3,99	3,19E+06	2,50E+06	1,89E+06	1,42E+06
HEA 700	3,90	5,00E+06	3,92E+06	2,97E+06	2,25E+06
HEA 800	3,79	5,00E+06	3,92E+06	2,98E+06	2,26E+06
HEA 1000	5,82	5,01E+06	3,92E+06	3,00E+06	2,28E+06
UC 254 x 254 x 73	5,36	1,12E+06	7,88E+05	5,27E+05	3,30E+05
UC 254 x 254 x 167	4,57	1,29E+06	9,14E+05	6,25E+05	4,06E+05
UC 305 x 305 x 97	4,41	2,00E+06	1,45E+06	1,03E+06	7,06E+05
UC 305 x 305 x 158	4,08	2,12E+06	1,54E+06	1,10E+06	7,64E+05
UC 305 x 305 x 313	3,58	2,41E+06	1,77E+06	1,29E+06	9,07E+05
UC 356 x 368 x 202	3,27	5,92E+06	4,39E+06	3,26E+06	2,36E+06
UC 356 x 406 x 340	3,03	7,21E+06	5,39E+06	4,06E+06	2,99E+06
UC 356 x 406 x 592	2,91	8,11E+06	6,10E+06	4,64E+06	3,45E+06
UC 356 x 406 x 744	2,70	8,68E+06	6,55E+06	5,00E+06	3,74E+06
UC 356 x 406 x 1086	5,65	9,89E+06	7,49E+06	5,77E+06	4,36E+06
HD 260x93	5,30	1,21E+06	8,49E+05	5,72E+05	3,63E+05
HD 260x172	4,69	1,33E+06	9,47E+05	6,50E+05	4,24E+05
HD 320x74.2	4,43	1,90E+06	1,37E+06	9,69E+05	6,59E+05
HD 320x198	4,24	2,02E+06	1,46E+06	1,05E+06	7,25E+05

HD 320x300	3,39	2,16E+06	1,58E+06	1,14E+06	7,97E+05
HD 400x237	3,26	6,83E+06	5,09E+06	3,82E+06	2,79E+06
HD 400x347	3,10	7,26E+06	5,43E+06	4,09E+06	3,01E+06
HD400x509	2,81	7,86E+06	5,90E+06	4,47E+06	3,32E+06
HD 400x900	2,55	9,22E+06	6,97E+06	5,35E+06	4,02E+06
HD 400x1299	7,54	1,12E+07	8,49E+06	6,58E+06	5,00E+06

4.7 Reforço Não Exposto Ao Fogo

Tabela 143 – Temperatura média do reforço não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	θ s,ne,t [°C] Temperatura média			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	36,7	96,5	146,6	225,5
HEA 280	5,19	32,9	81,2	122,1	186,6
HEA 320	4,65	31,0	73,8	110,2	167,6
HEA 360	4,56	30,7	72,6	108,2	164,5
HEA 450	4,31	29,9	69,1	102,7	155,7
HEA 500	4,21	29,5	67,8	100,5	152,2
HEA 600	4,06	23,7	46,3	77,0	110,5
HEA 700	3,99	23,6	45,7	75,8	108,7
HEA 800	3,90	23,4	44,9	74,4	106,5
HEA 1000	3,79	23,1	43,9	72,4	103,5
UC 254 x 254 x 73	5,82	35,1	89,9	136,0	208,6
UC 254 x 254 x 167	5,36	33,5	83,6	126,0	192,7
UC 305 x 305 x 97	4,57	30,8	72,8	108,6	165,1
UC 305 x 305 x 158	4,41	30,2	70,6	105,1	159,5
UC 305 x 305 x 313	4,08	29,1	66,0	97,8	147,9
UC 356 x 368 x 202	3,58	27,4	59,2	86,8	130,4
UC 356 x 406 x 340	3,27	26,3	54,8	79,8	119,3
UC 356 x 406 x 592	3,03	25,5	51,6	74,7	111,1
UC 356 x 406 x 744	2,91	25,0	50,0	72,1	106,9
UC 356 x 406 x 1086	2,70	24,3	47,1	67,4	99,5
HD 260 x 93,0	5,65	34,5	87,6	132,4	202,9
HD 260 x 172	5,30	33,3	82,8	124,7	190,6
HD 320 x 74,2	4,69	31,2	74,3	111,1	169,0
HD 320 x 198	4,43	30,3	70,8	105,5	160,1
HD 320 x 300	4,24	29,6	68,2	101,2	153,2
HD 400 x 237	3,39	26,7	56,5	82,5	123,5
HD 400 x 347	3,26	26,2	54,7	79,6	119,0
HD 400 x 509	3,10	25,7	52,5	76,1	113,3
HD 400 x 900	2,81	24,7	48,6	69,8	103,3
HD 400 x 1299	2,55	23,8	45,0	64,1	94,3

Tabela 144 – Coeficientes de redução da tensão de escoamento e módulo de elasticidade para o aço do reforço não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	u [mm]	k _{sy,θ}				k _{sE,θ}			
		R30	R60	R90	R120	R30	R60	R90	R120
HEA 240	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,939	0,832
HEA 280	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,971	0,887
HEA 240	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,987	0,912
HEA 280	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,989	0,916
HEA 240	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,996	0,928
HEA 280	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,932
HEA 240	54,8	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,986
HEA 280	54,8	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,989
HEA 800	54,8	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,992
HEA 1000	54,8	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,995
UC 254 x 254 x 73	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,953	0,857
UC 254 x 254 x 167	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,966	0,879
UC 305 x 305 x 97	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,989	0,915
UC 305 x 305 x 158	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,993	0,923
UC 305 x 305 x 313	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,938
UC 356 x 368 x 202	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,960
UC 356 x 406 x 340	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,975
UC 356 x 406 x 592	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,986
UC 356 x 406 x 744	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,991
UC 356 x 406 x 1086	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
HD 260x93	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,958	0,866
HD 260x172	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,968	0,882
HD 320x74.2	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,986	0,910
HD 320x198	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,993	0,922
HD 320x300	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,998	0,931
HD 400x237	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,969
HD 400x347	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,975
HD400x509	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,983
HD 400x900	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,996
HD 400x1299	50,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Tabela 145 – Resistência à compressão axial do reforço não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	N _{fi,pl,Rd,s,ne} [N]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	3,14E+05	3,14E+05	3,14E+05	3,14E+05
HEA 280	5,19	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05
HEA 320	4,65	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05

HEA 360	4,56	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05
HEA 450	4,31	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05
HEA 500	4,21	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05
HEA 600	4,06	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05
HEA 700	3,99	1,26E+06	1,26E+06	1,26E+06	1,26E+06
HEA 800	3,90	1,26E+06	1,26E+06	1,26E+06	1,26E+06
HEA 1000	3,79	1,26E+06	1,26E+06	1,26E+06	1,26E+06
UC 254 x 254 x 73	5,82	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05
UC 254 x 254 x 167	5,36	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05
UC 305 x 305 x 97	4,57	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05
UC 305 x 305 x 158	4,41	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05
UC 305 x 305 x 313	4,08	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05
UC 356 x 368 x 202	3,58	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05
UC 356 x 406 x 340	3,27	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05
UC 356 x 406 x 592	3,03	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05
UC 356 x 406 x 744	2,91	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05
UC 356 x 406 x 1086	2,70	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05
HD 260x93	5,65	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05
HD 260x172	5,30	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05
HD 320x74.2	4,69	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05
HD 320x198	4,43	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05
HD 320x300	4,24	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05	4,91E+05
HD 400x237	3,39	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05
HD 400x347	3,26	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05
HD400x509	3,10	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05
HD 400x900	2,81	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05
HD 400x1299	2,55	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05	8,04E+05

Tabela 146 – Rigidez efetiva à flexão do reforço não exposto ao fogo – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	(EI) fi,s,ne,z [Nm ²]			
		R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	6,50E+05	6,50E+05	6,10E+05	5,41E+05
HEA 280	5,19	1,68E+06	1,68E+06	1,63E+06	1,49E+06
HEA 320	4,65	2,07E+06	2,07E+06	2,04E+06	1,89E+06
HEA 360	4,56	3,40E+06	3,40E+06	3,36E+06	3,11E+06
HEA 450	4,31	3,40E+06	3,40E+06	3,39E+06	3,15E+06
HEA 500	4,21	3,40E+06	3,40E+06	3,40E+06	3,17E+06
HEA 600	4,06	3,40E+06	3,40E+06	3,40E+06	3,35E+06
HEA 700	3,99	5,33E+06	5,33E+06	5,33E+06	5,27E+06
HEA 800	3,90	5,33E+06	5,33E+06	5,33E+06	5,29E+06
HEA 1000	3,79	5,33E+06	5,33E+06	5,33E+06	5,31E+06
UC 254 x 254 x 73	5,82	1,24E+06	1,24E+06	1,18E+06	1,06E+06
UC 254 x 254 x 167	5,36	1,41E+06	1,41E+06	1,37E+06	1,24E+06
UC 305 x 305 x 97	4,57	2,18E+06	2,18E+06	2,16E+06	2,00E+06
UC 305 x 305 x 158	4,41	2,31E+06	2,31E+06	2,29E+06	2,13E+06
UC 305 x 305 x 313	4,08	2,62E+06	2,62E+06	2,62E+06	2,45E+06

UC 356 x 368 x 202	3,58	6,39E+06	6,39E+06	6,39E+06	6,14E+06
UC 356 x 406 x 340	3,27	7,77E+06	7,77E+06	7,77E+06	7,58E+06
UC 356 x 406 x 592	3,03	8,72E+06	8,72E+06	8,72E+06	8,60E+06
UC 356 x 406 x 744	2,91	9,33E+06	9,33E+06	9,33E+06	9,25E+06
UC 356 x 406 x 1086	2,70	1,06E+07	1,06E+07	1,06E+07	1,06E+07
HD 260x93	5,65	1,33E+06	1,33E+06	1,27E+06	1,15E+06
HD 260x172	5,30	1,46E+06	1,46E+06	1,42E+06	1,29E+06
HD 320x74.2	4,69	2,07E+06	2,07E+06	2,04E+06	1,88E+06
HD 320x198	4,43	2,20E+06	2,20E+06	2,18E+06	2,02E+06
HD 320x300	4,24	2,35E+06	2,35E+06	2,34E+06	2,18E+06
HD 400x237	3,39	7,37E+06	7,37E+06	7,37E+06	7,14E+06
HD 400x347	3,26	7,83E+06	7,83E+06	7,83E+06	7,63E+06
HD400x509	3,10	8,45E+06	8,45E+06	8,45E+06	8,31E+06
HD 400x900	2,81	9,90E+06	9,90E+06	9,90E+06	9,86E+06
HD 400x1299	2,55	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07	1,20E+07

4.8 Soma Ponderada

Tabela 147 – Resistência à compressão axial – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	N fi,pl,Rd [N]			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	4,02E+06	3,92E+06	3,31E+06		
HEA 280	5,19	5,37E+06	5,27E+06	4,68E+06		
HEA 320	4,65	6,54E+06	6,43E+06	5,81E+06	5,16E+06	4,68E+06
HEA 360	4,56	7,83E+06	7,70E+06	7,02E+06	6,26E+06	5,67E+06
HEA 450	4,31	9,45E+06	9,30E+06	8,53E+06	7,65E+06	6,97E+06
HEA 500	4,21	1,04E+07	1,02E+07	9,36E+06	8,40E+06	7,67E+06
HEA 600	4,06	1,18E+07	1,16E+07	1,08E+07	9,79E+06	9,01E+06
HEA 700	3,99	1,43E+07	1,41E+07	1,31E+07	1,21E+07	1,11E+07
HEA 800	3,90	1,56E+07	1,54E+07	1,44E+07	1,32E+07	1,23E+07
HEA 1000	3,79	1,77E+07	1,74E+07	1,65E+07		
UC 254 x 254 x 73	5,82	5,16E+06	5,06E+06	4,40E+06		
UC 254 x 254 x 167	5,36	9,20E+06	9,10E+06	8,03E+06		
UC 305 x 305 x 97	4,57	6,67E+06	6,56E+06	6,08E+06	5,39E+06	4,90E+06
UC 305 x 305 x 158	4,41	9,23E+06	9,13E+06	8,50E+06	7,49E+06	6,81E+06
UC 305 x 305 x 313	4,08	1,57E+07	1,56E+07	1,48E+07	1,31E+07	1,18E+07
UC 356 x 368 x 202	3,58	1,23E+07	1,22E+07	1,18E+07	1,07E+07	9,70E+06
UC 356 x 406 x 340	3,27	1,81E+07	1,79E+07	1,76E+07	1,61E+07	1,46E+07
UC 356 x 406 x 592	3,03	2,81E+07	2,80E+07	2,79E+07	2,57E+07	2,33E+07
UC 356 x 406 x 744	2,91	3,34E+07	3,33E+07	3,32E+07	3,10E+07	2,82E+07
UC 356 x 406 x 1086	2,70	4,44E+07	4,43E+07	4,42E+07	4,22E+07	3,85E+07
HD 260x93	5,65	5,83E+06	5,73E+06	4,89E+06		
HD 260x172	5,30	9,32E+06	9,23E+06	7,95E+06		

HD 320x74.2	4,69	5,48E+06	5,38E+06	4,92E+06	4,40E+06	4,03E+06
HD 320x198	4,43	1,08E+07	1,07E+07	9,82E+06	8,56E+06	7,85E+06
HD 320x300	4,24	1,49E+07	1,48E+07	1,37E+07	1,20E+07	1,10E+07
HD 400x237	3,39	1,39E+07	1,38E+07	1,33E+07	1,21E+07	1,11E+07
HD 400x347	3,26	1,84E+07	1,82E+07	1,77E+07	1,62E+07	1,48E+07
HD400x509	3,10	2,53E+07	2,52E+07	2,48E+07	2,27E+07	2,07E+07
HD 400x900	2,81	3,75E+07	3,73E+07	3,72E+07	3,46E+07	3,15E+07
HD 400x1299	2,55	5,24E+07	5,23E+07	5,22E+07	4,95E+07	4,54E+07

Tabela 148 – Rigidez efetiva à flexão – ATUAL PROPOSTA

Perfil	Am/V [m ⁻¹]	20 °C	(EI) fi,eff,z [Nm ²]			
			R30	R60	R90	R120
HEA 240	6,30	8,22E+06	6,99E+06	4,74E+06		
HEA 280	5,19	1,54E+07	1,36E+07	1,01E+07		
HEA 320	4,65	2,17E+07	1,93E+07	1,48E+07	1,07E+07	1,09E+07
HEA 360	4,56	2,66E+07	2,39E+07	1,82E+07	1,33E+07	1,36E+07
HEA 450	4,31	3,08E+07	2,77E+07	2,12E+07	1,54E+07	1,57E+07
HEA 500	4,21	3,32E+07	2,99E+07	2,29E+07	1,65E+07	1,67E+07
HEA 600	4,06	3,61E+07	3,27E+07	2,52E+07	1,83E+07	1,86E+07
HEA 700	3,99	4,28E+07	3,90E+07	3,02E+07	2,20E+07	2,26E+07
HEA 800	3,90	4,48E+07	4,09E+07	3,17E+07	2,32E+07	2,36E+07
HEA 1000	3,79	4,52E+07	4,14E+07	3,26E+07		
UC 254 x 254 x 73	5,82	1,21E+07	1,05E+07	7,36E+06		
UC 254 x 254 x 167	5,36	2,52E+07	2,21E+07	1,60E+07		
UC 305 x 305 x 97	4,57	2,28E+07	2,04E+07	1,59E+07	1,13E+07	1,15E+07
UC 305 x 305 x 158	4,41	3,42E+07	3,07E+07	2,41E+07	1,71E+07	1,74E+07
UC 305 x 305 x 313	4,08	6,71E+07	6,08E+07	4,82E+07	3,52E+07	3,56E+07
UC 356 x 368 x 202	3,58	6,90E+07	6,35E+07	5,12E+07	3,98E+07	4,08E+07
UC 356 x 406 x 340	3,27	1,22E+08	1,13E+08	9,22E+07	7,34E+07	7,58E+07
UC 356 x 406 x 592	3,03	2,16E+08	2,02E+08	1,66E+08	1,34E+08	1,40E+08
UC 356 x 406 x 744	2,91	2,80E+08	2,64E+08	2,17E+08	1,75E+08	1,85E+08
UC 356 x 406 x 1086	2,70	4,45E+08	4,25E+08	3,51E+08	2,79E+08	3,04E+08
HD 260x93	5,65	1,49E+07	1,29E+07	8,83E+06		
HD 260x172	5,30	2,65E+07	2,31E+07	1,63E+07		
HD 320x74.2	4,69	1,75E+07	1,55E+07	1,18E+07	8,53E+06	8,61E+06
HD 320x198	4,43	3,96E+07	3,53E+07	2,73E+07	1,89E+07	1,96E+07
HD 320x300	4,24	5,96E+07	5,34E+07	4,19E+07	2,91E+07	3,02E+07
HD 400x237	3,39	8,75E+07	8,05E+07	6,53E+07	5,09E+07	5,34E+07
HD 400x347	3,26	1,25E+08	1,15E+08	9,37E+07	7,37E+07	7,76E+07
HD400x509	3,10	1,84E+08	1,71E+08	1,40E+08	1,11E+08	1,17E+08
HD 400x900	2,81	3,52E+08	3,31E+08	2,73E+08	2,19E+08	2,34E+08
HD 400x1299	2,55	5,71E+08	5,44E+08	4,51E+08	3,61E+08	3,93E+08

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

ANEXO V

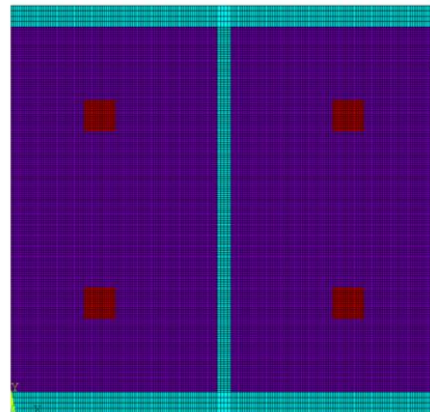
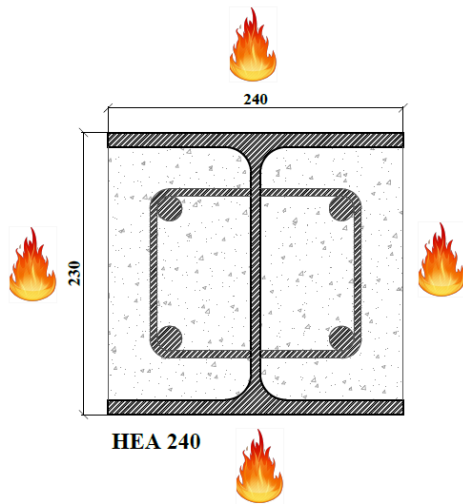
FICHA TÉCNICA

Esta página foi intencionalmente deixada em branco.

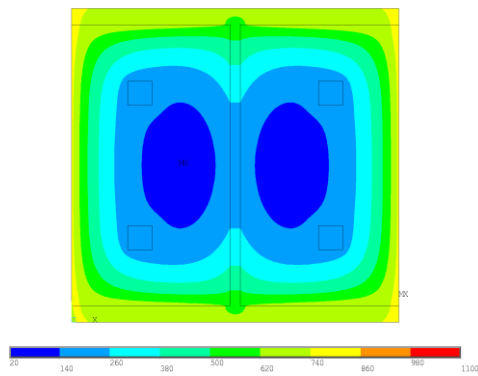
5 EVOLUÇÃO DA TEMPERATURA DA ANÁLISE NUMÉRICA.

5.1 Cenário Fogo 4 Lados

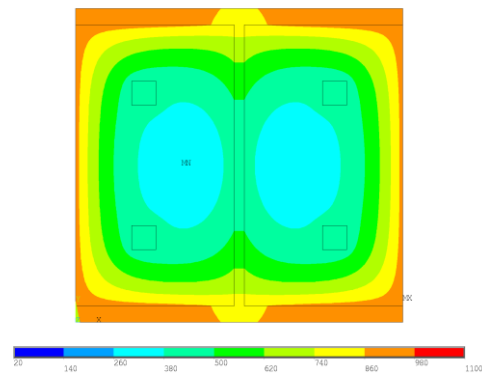
HEA 240 – Fogo 4 lados



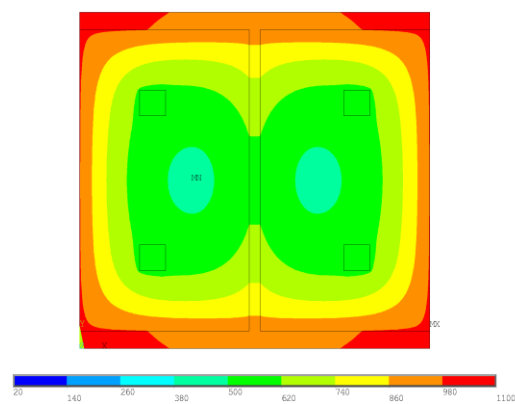
R30



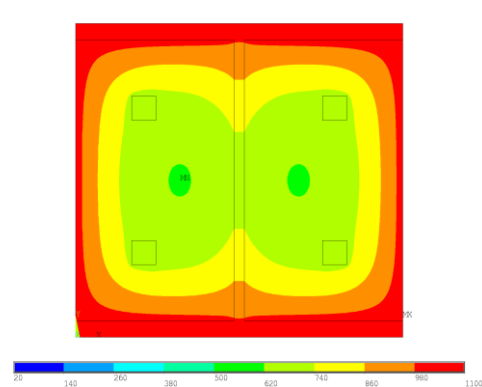
R60



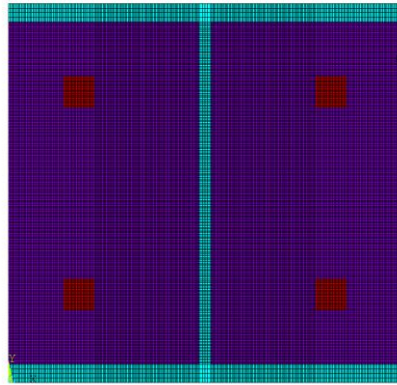
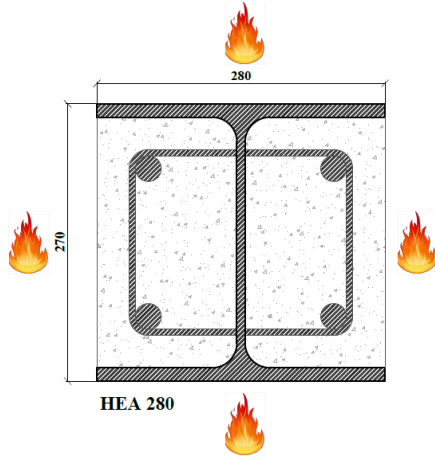
R90



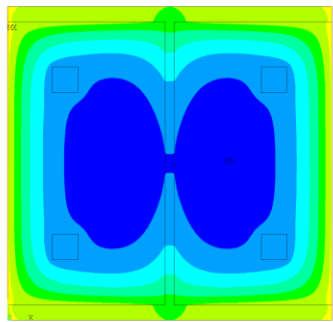
R120



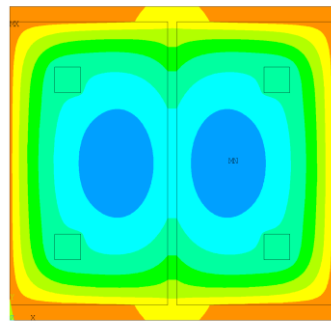
HEA 280 - Fogo 4 lados



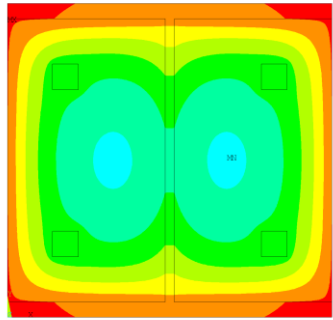
R30



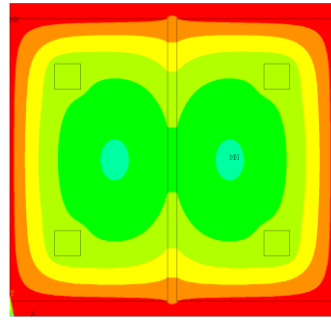
R60



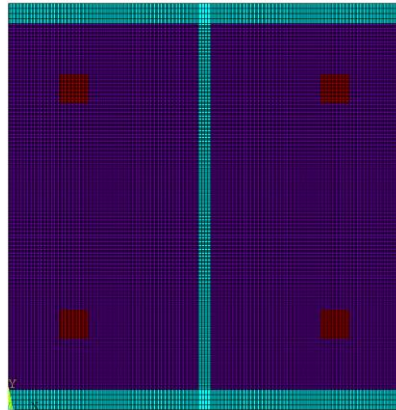
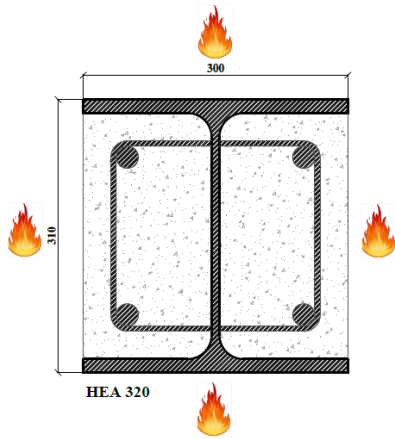
R90



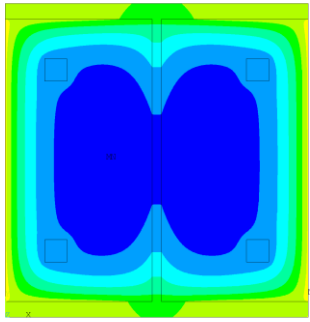
R120



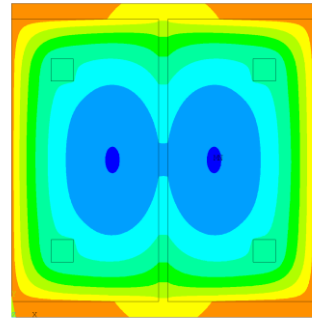
HEA 320 - Fogo 4 lados



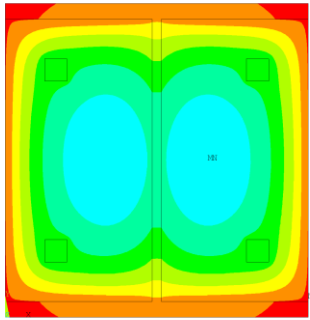
R30



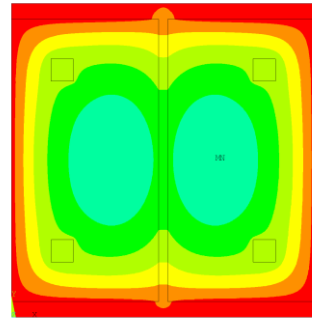
R60



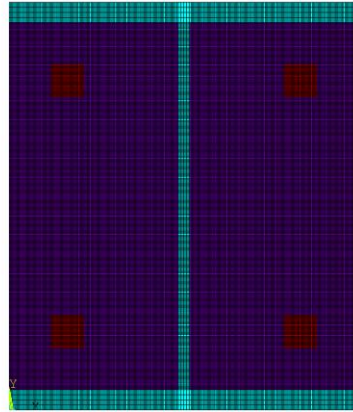
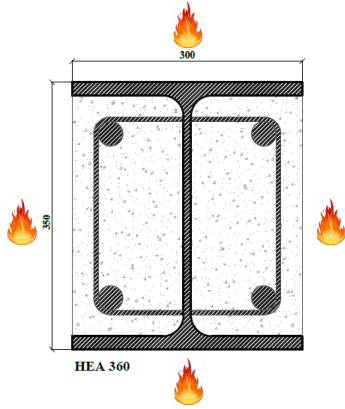
R90



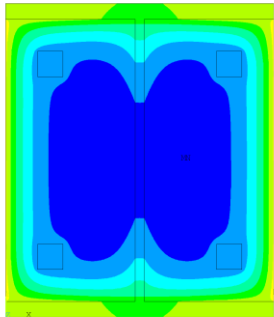
R120



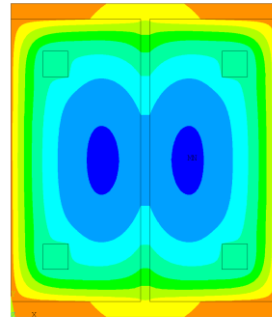
HEA 360 - Fogo 4 lados



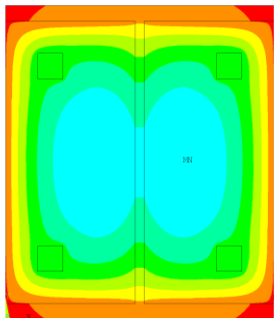
R30



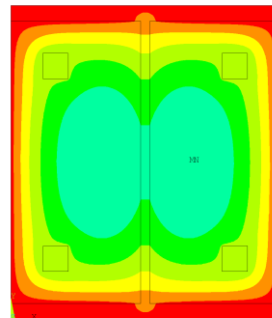
R60



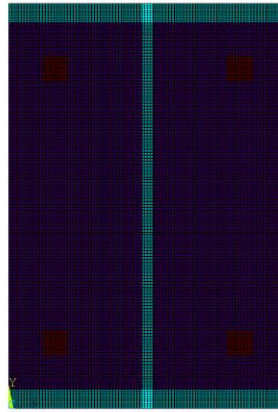
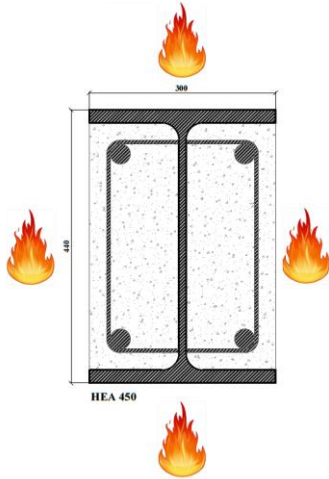
R90



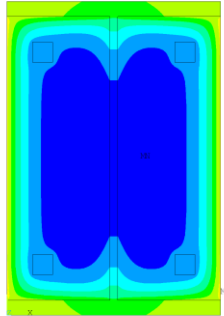
R120



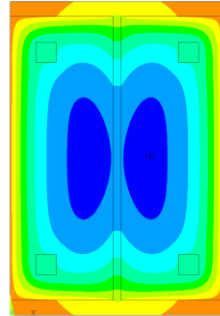
HEA 450 - Fogo 4 lados



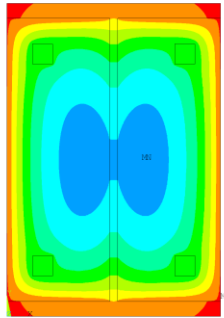
R30



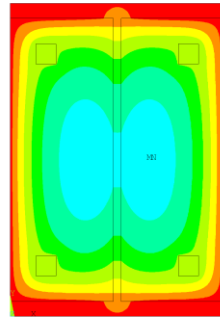
R60



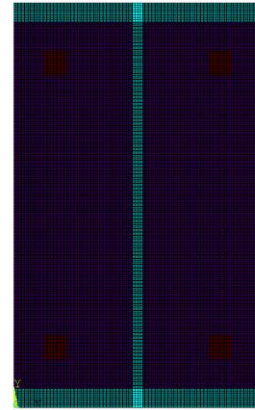
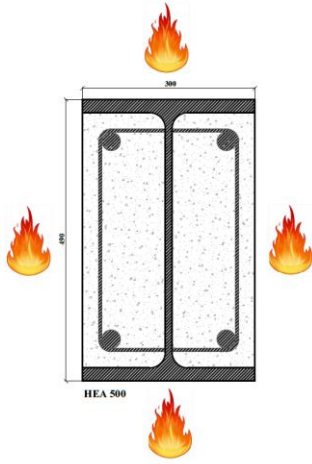
R90



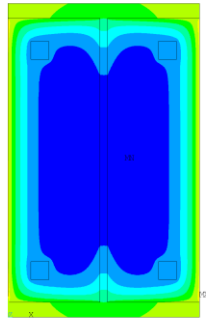
R120



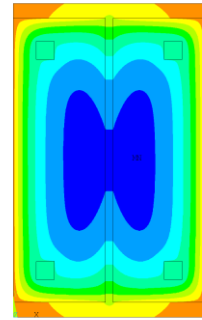
HEA 500 - Fogo 4 lados



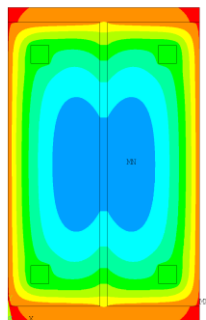
R30



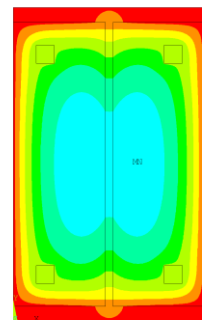
R60



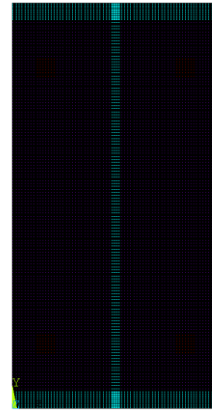
R90



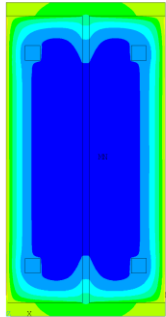
R120



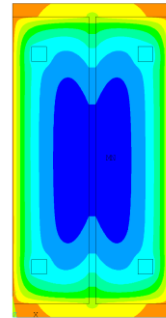
HEA 600 - Fogo 4 lados



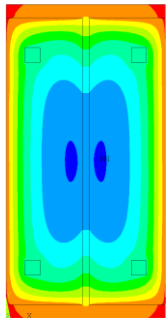
R30



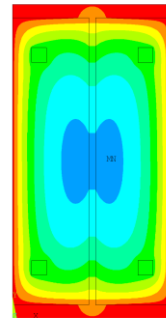
R60



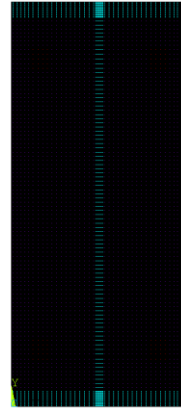
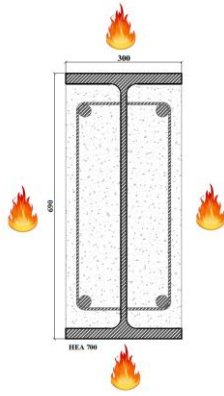
R90



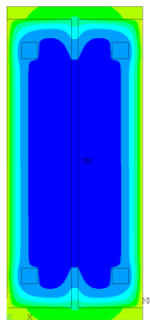
R120



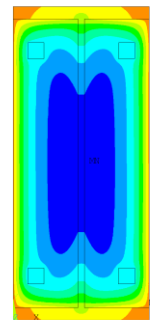
HEA 700 - Fogo 4 lados



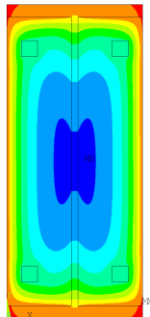
R30



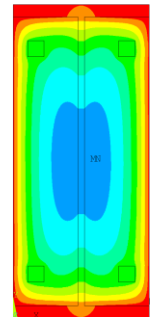
R60



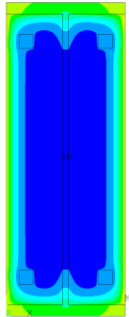
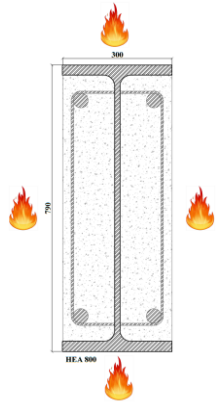
R90



R120

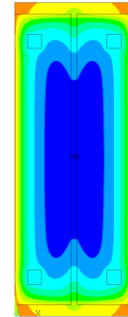


HEA 800 - Fogo 4 lados

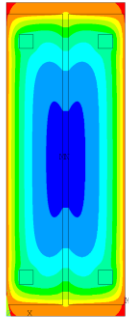


R30

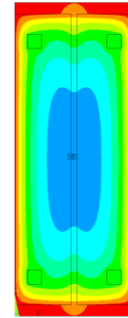
5



R60

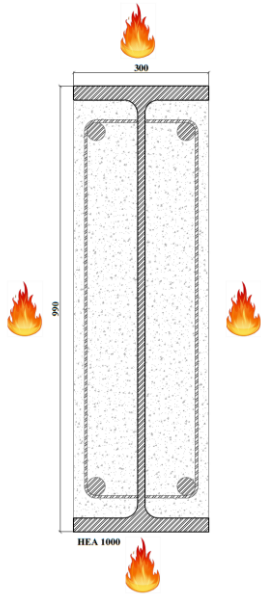


R90

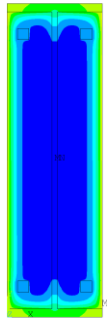


R120

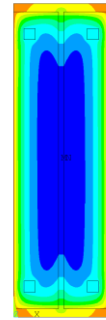
HEA 1000 - Fogo 4 lados



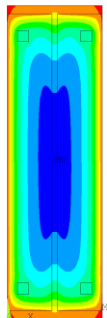
R30



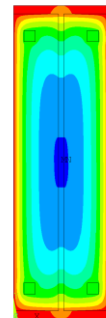
R60



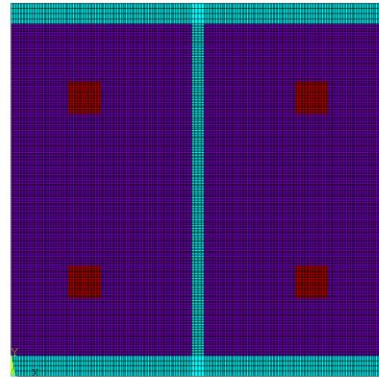
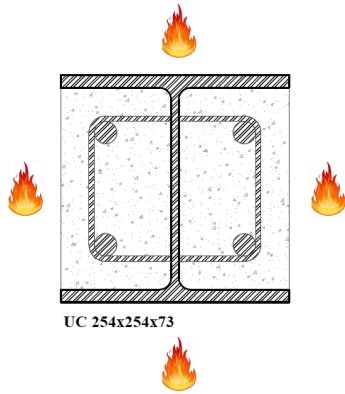
R90



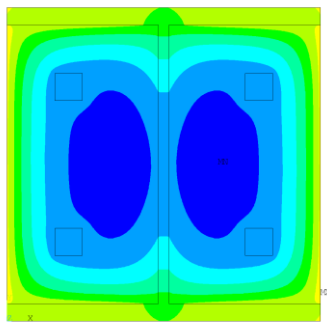
R120



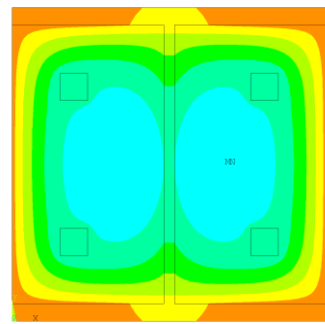
UC 254X254X73 - Fogo 4 lados



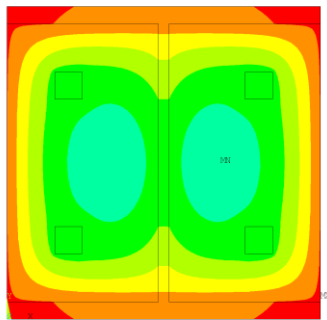
R30



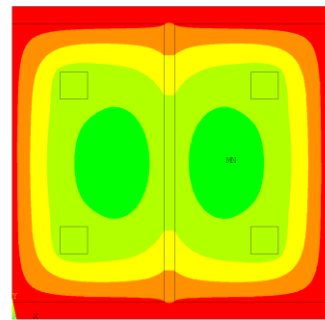
R60



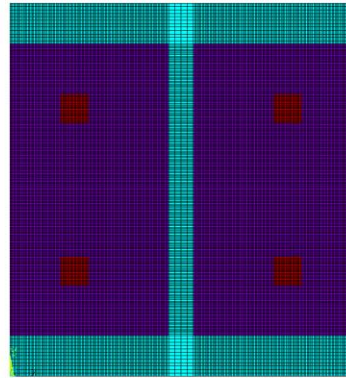
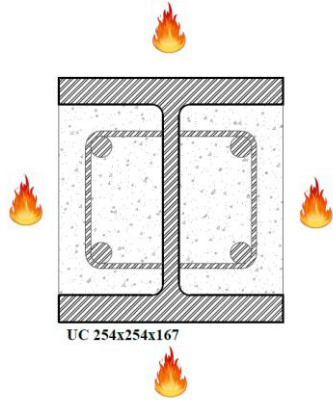
R90



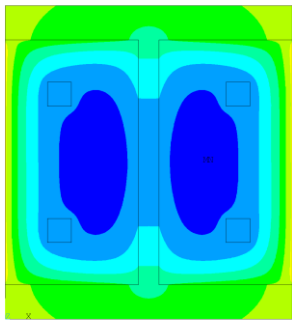
R120



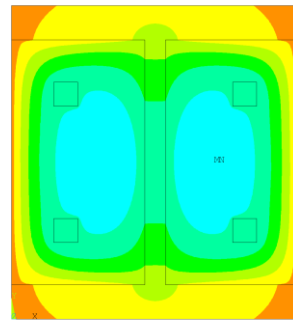
UC 254X254X167 - Fogo 4 lados



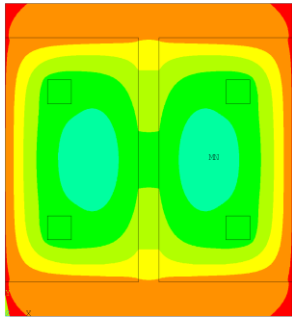
R30



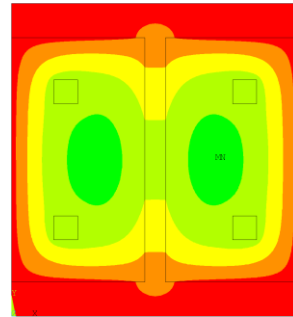
R60



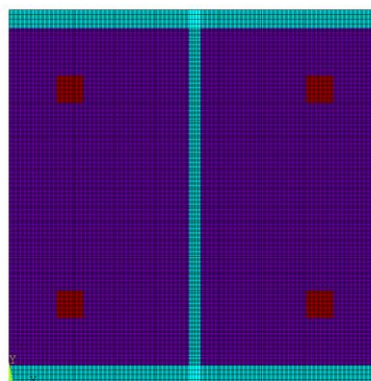
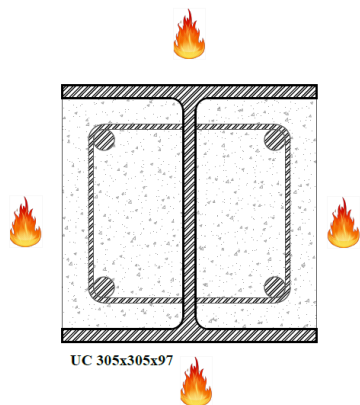
R90



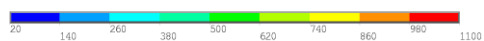
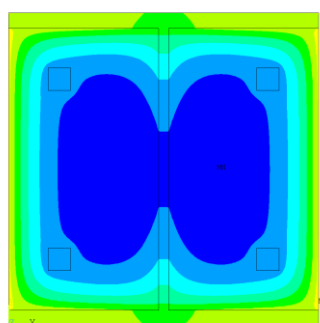
R120



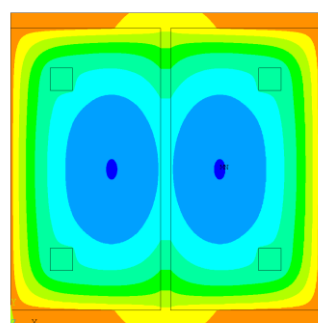
UC 305x305x97 - Fogo 4 lados



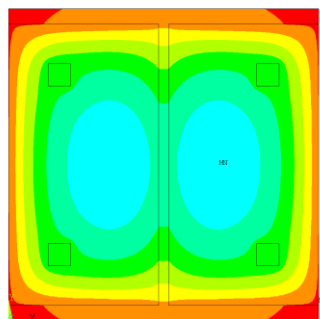
R30



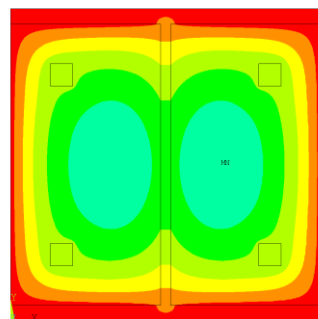
R60



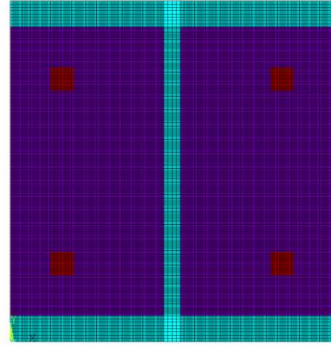
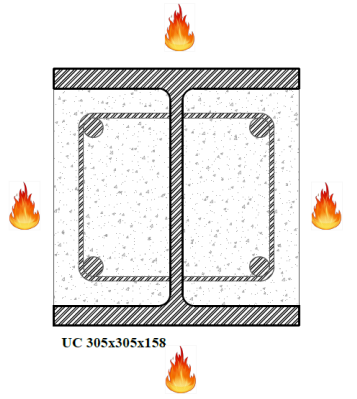
R90



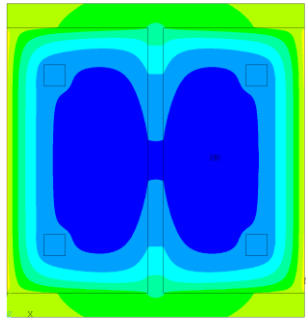
R120



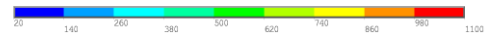
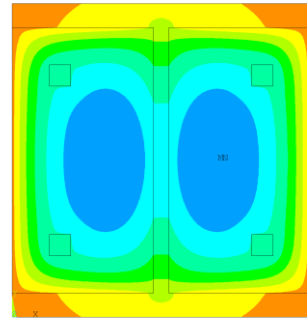
UC 305x305x158 - Fogo 4 lados



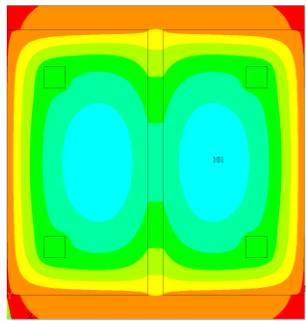
R30



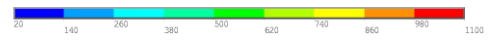
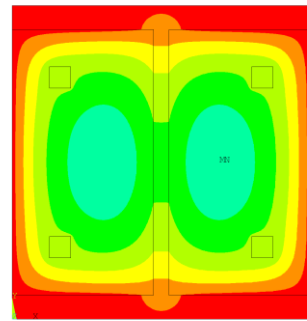
R60



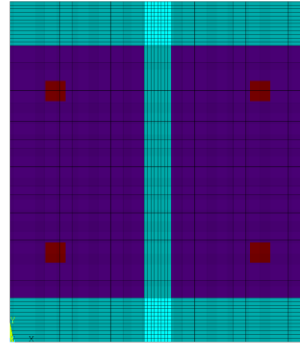
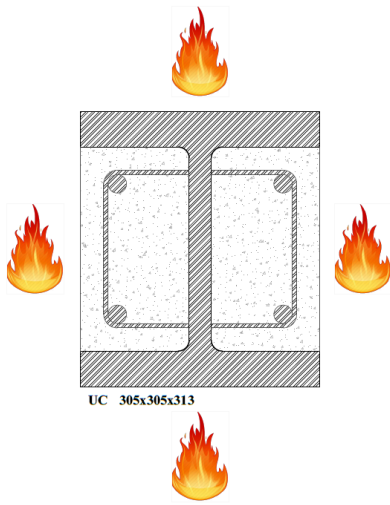
R90



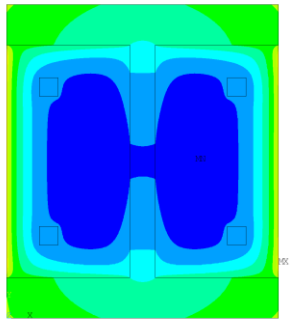
R120



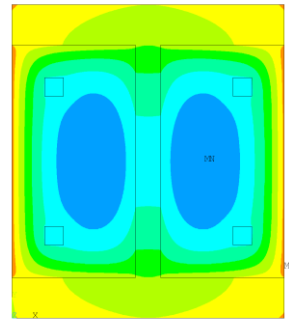
UC 305x305x313 - Fogo 4 lados



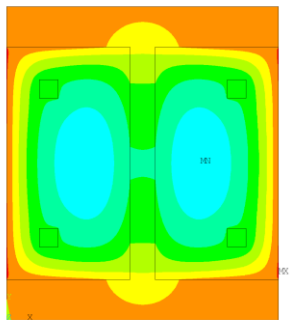
R30



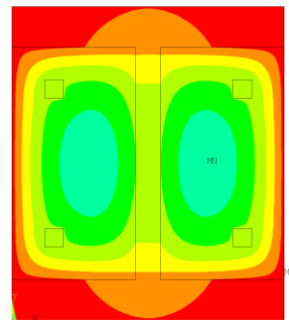
R60



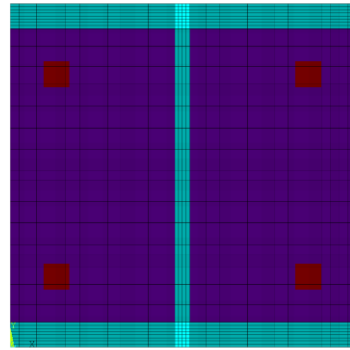
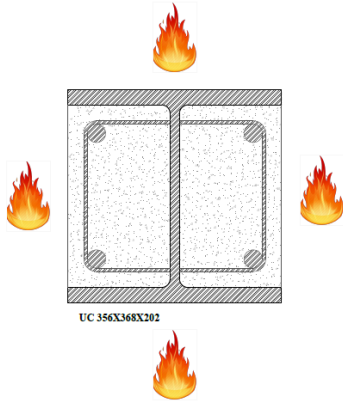
R90



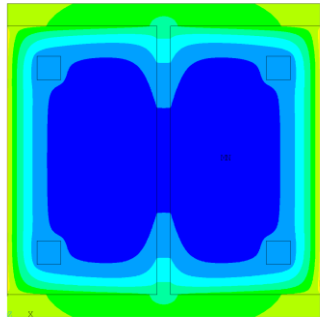
R120



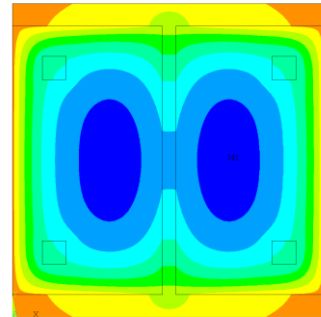
UC 356x368x202 - Fogo 4 lados



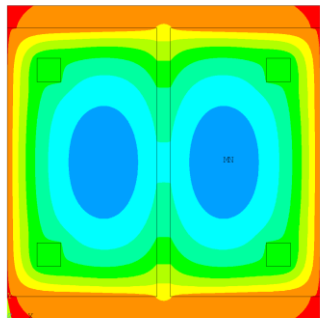
R30



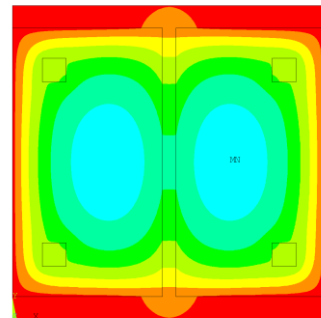
R60



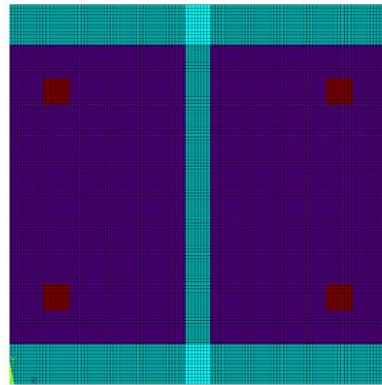
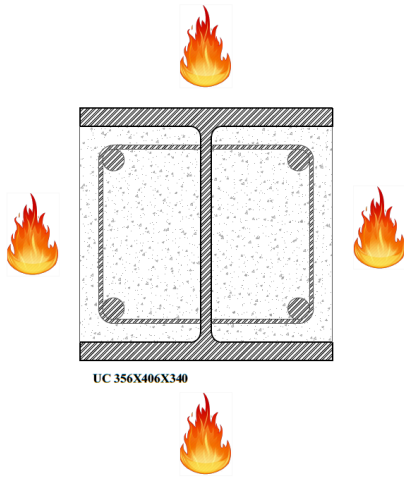
R90



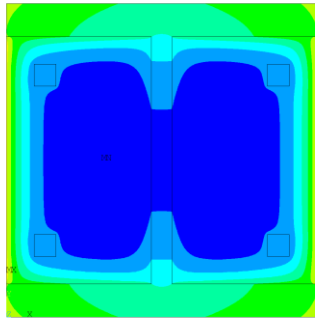
R120



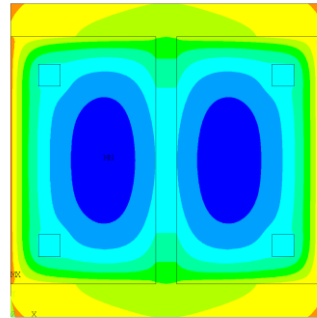
UC 356x368x340 - Fogo 4 lados



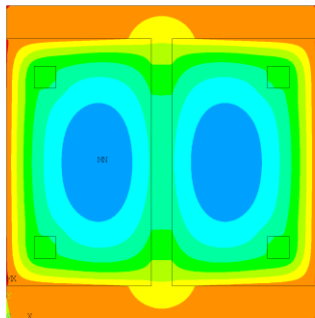
R30



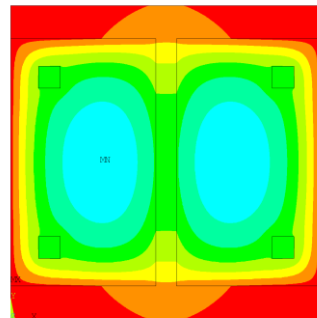
R60



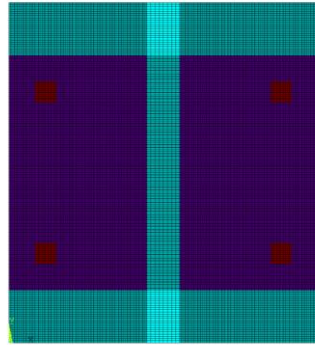
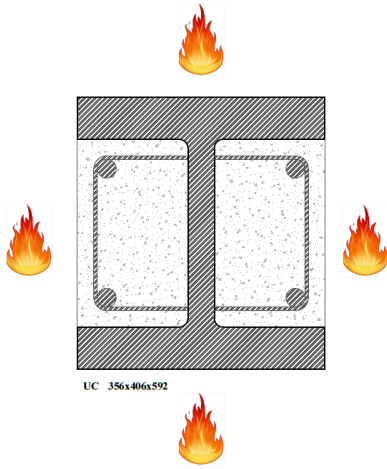
R90



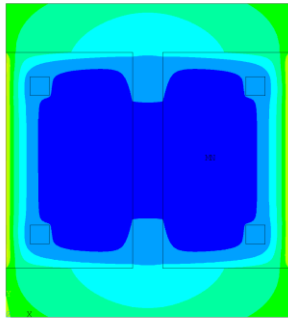
R120



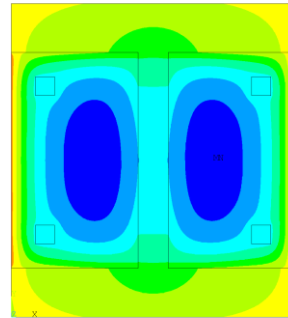
UC 356x406x592 - Fogo 4 lados



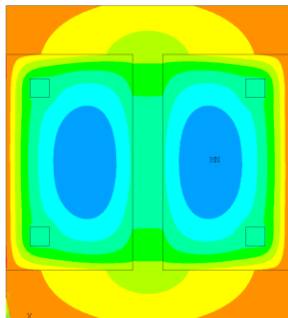
R30



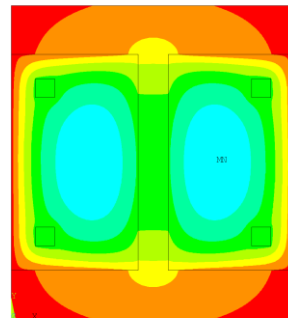
R60



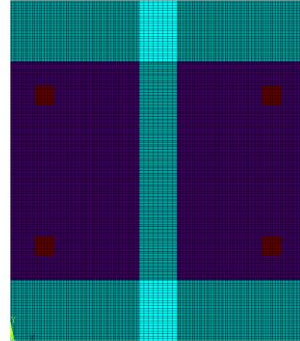
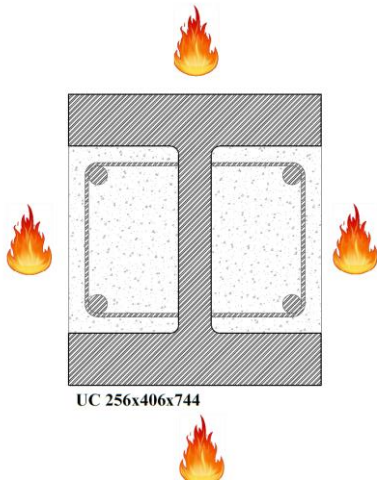
R90



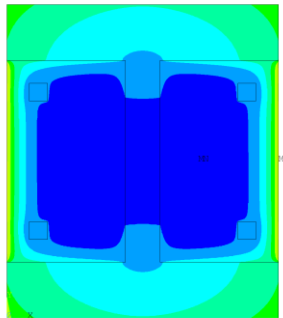
R120



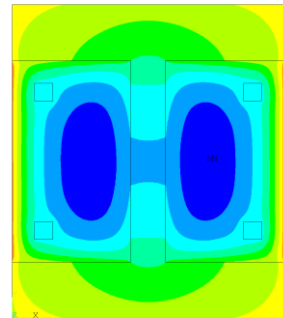
UC 356x406x744 - Fogo 4 lados



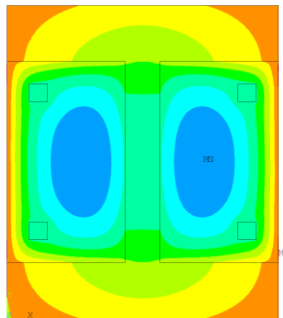
R30



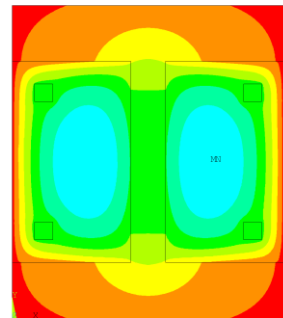
R60



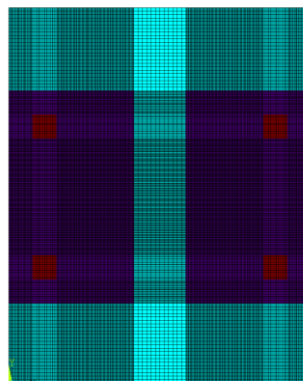
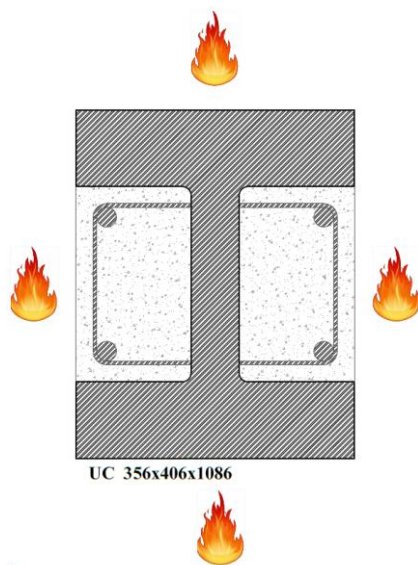
R90



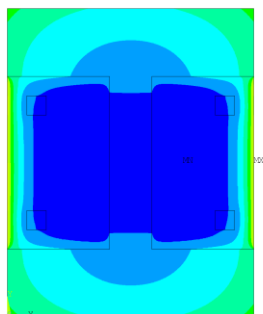
R120



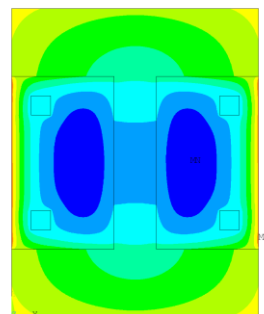
UC 356x406x1086 - Fogo 4 lados



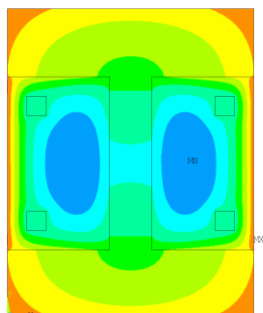
R30



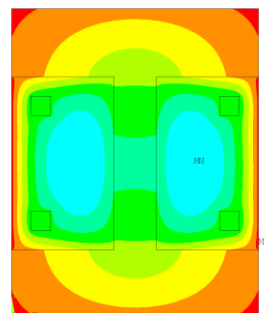
R60



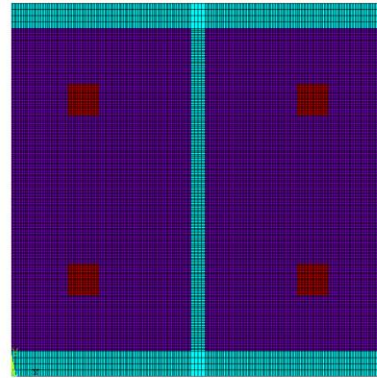
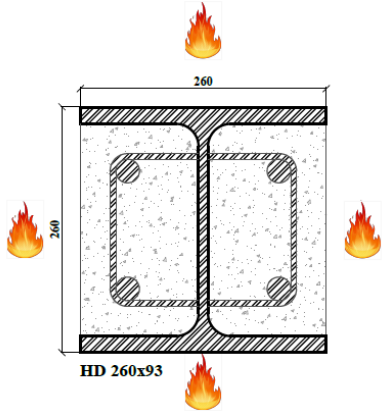
R90



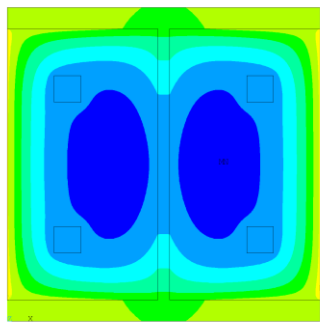
R120



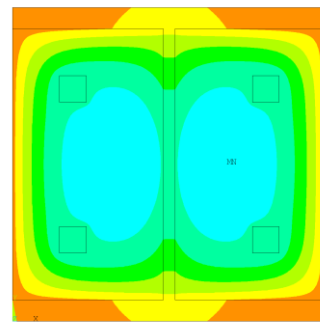
HD 260X93 - Fogo 4 lados



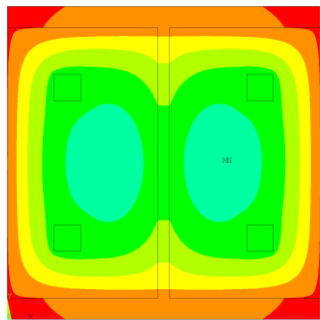
R30



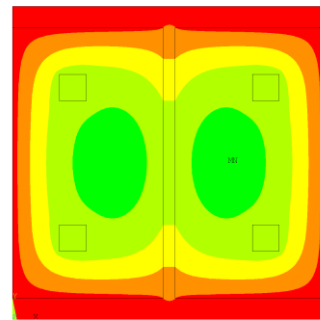
R60



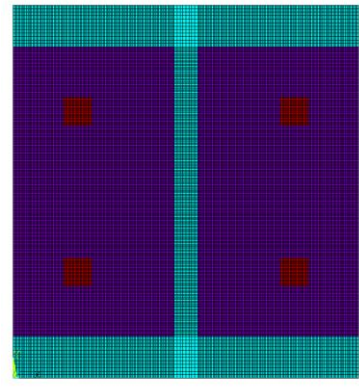
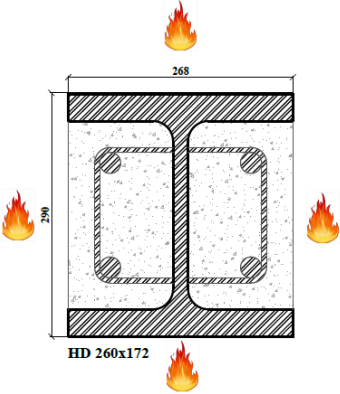
R90



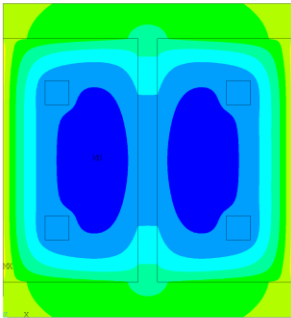
R120



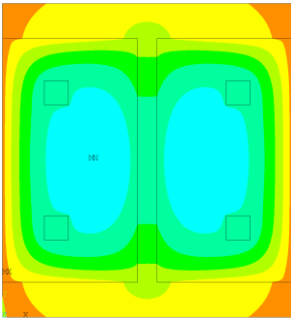
HD 260x172 - Fogo 4 lados



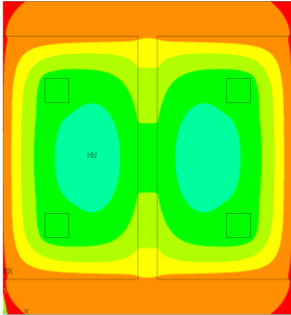
R30



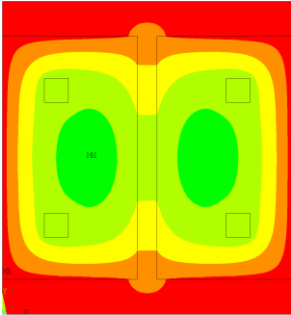
R60



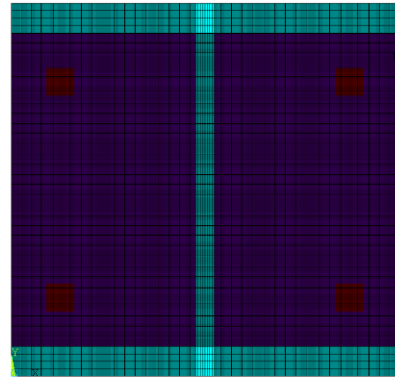
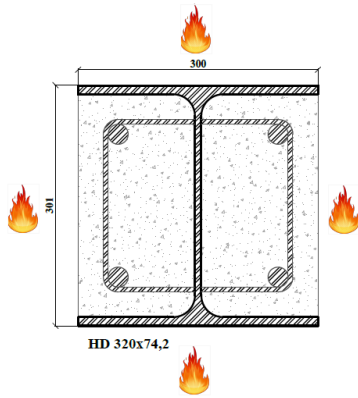
R90



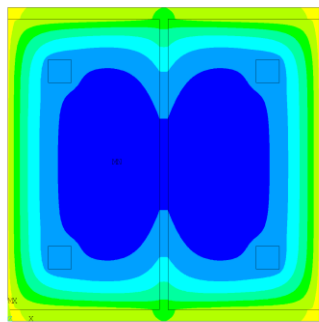
R120



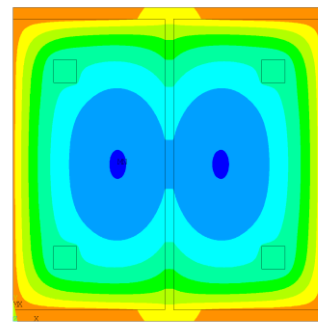
HD 320x74.2 - Fogo 4 lados



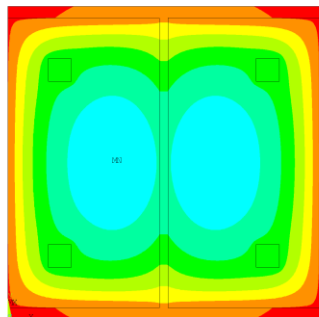
R30



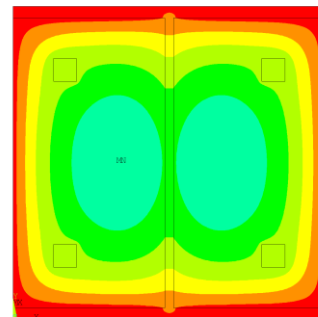
R60



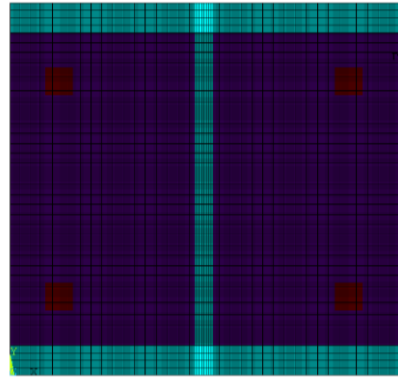
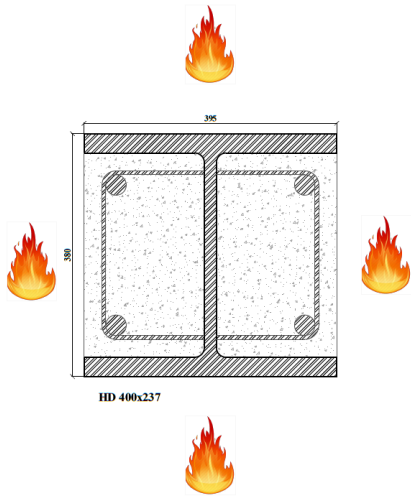
R90



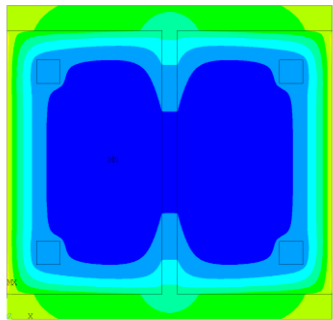
R120



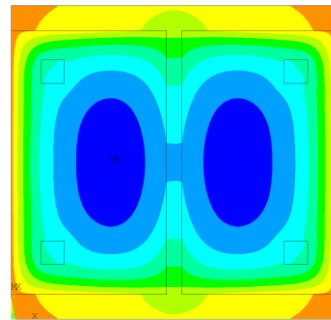
HD 400x237 - Fogo 4 lados



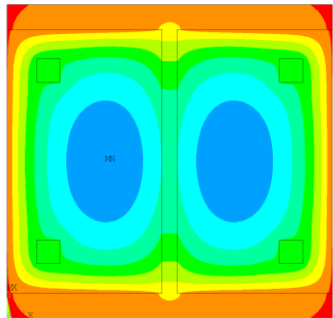
R30



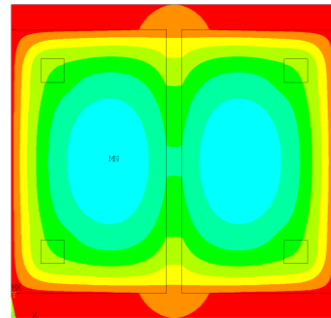
R60



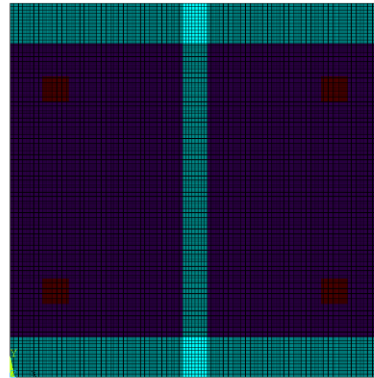
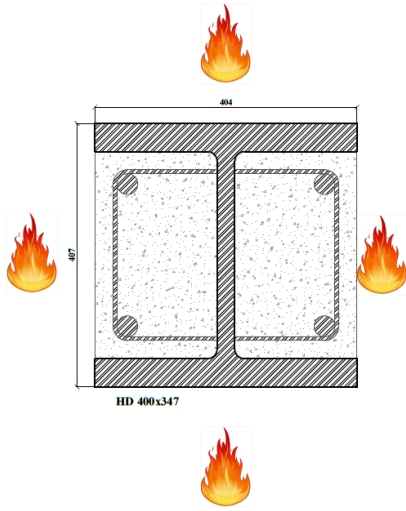
R90



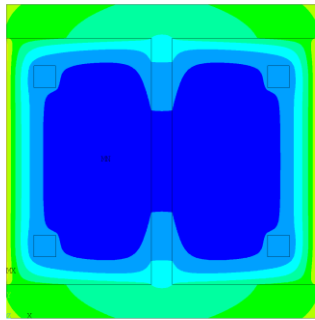
R120



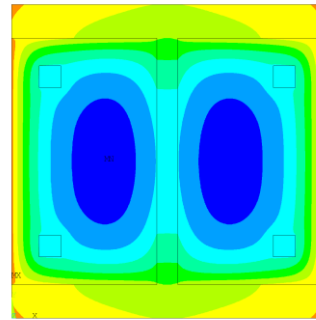
HD 400x347 - Fogo 4 lados



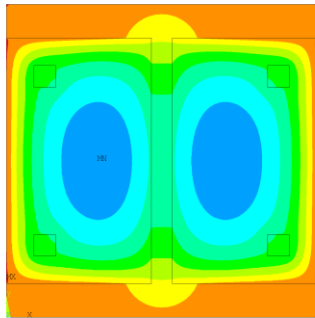
R30



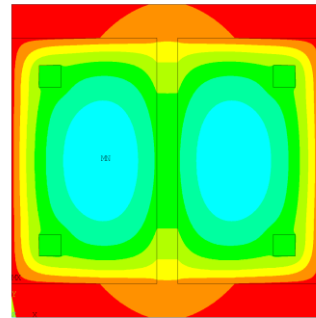
R60



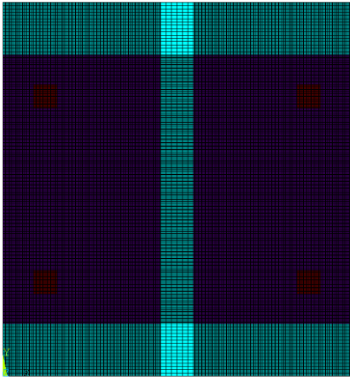
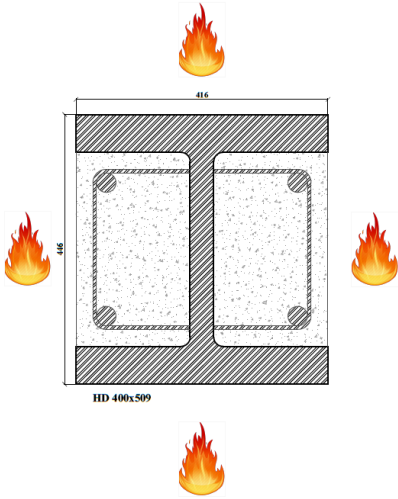
R90



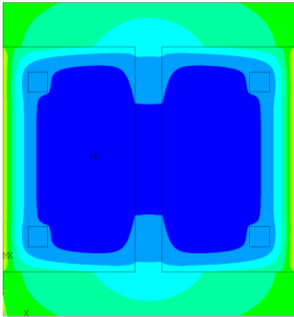
R120



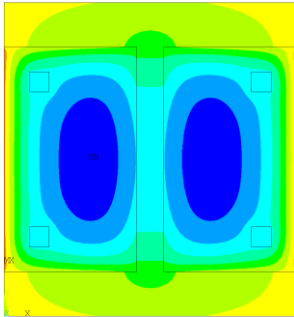
HD 400x509 - Fogo 4 lados



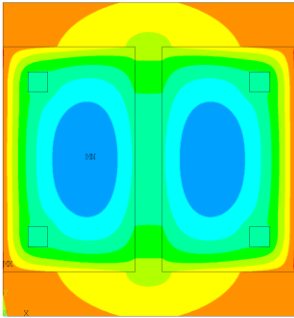
R30



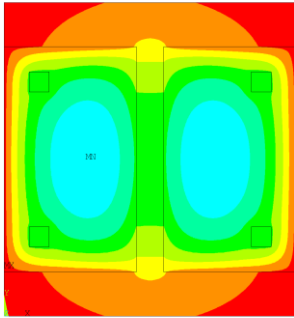
R60



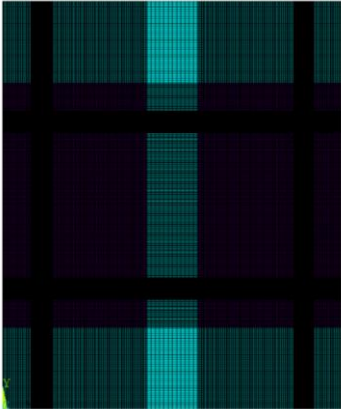
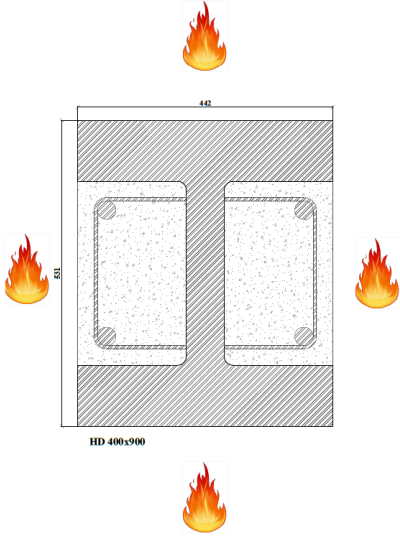
R90



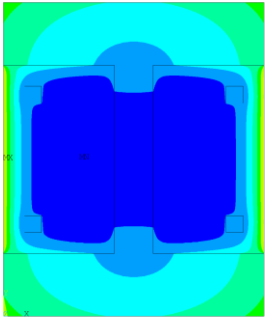
R120



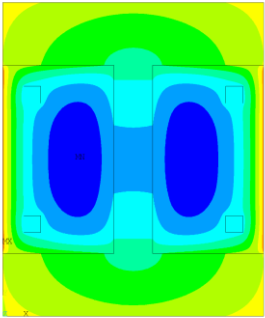
HD 400x900 - Fogo 4 lados



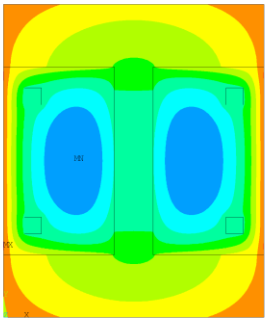
R30



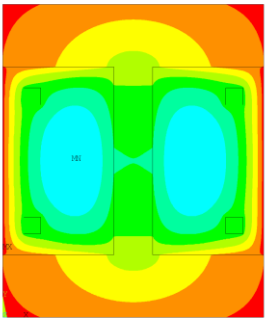
R60



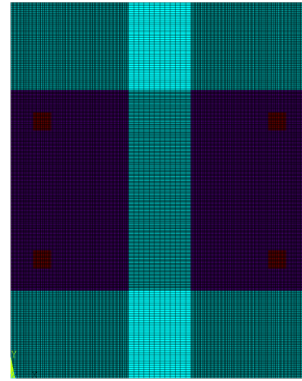
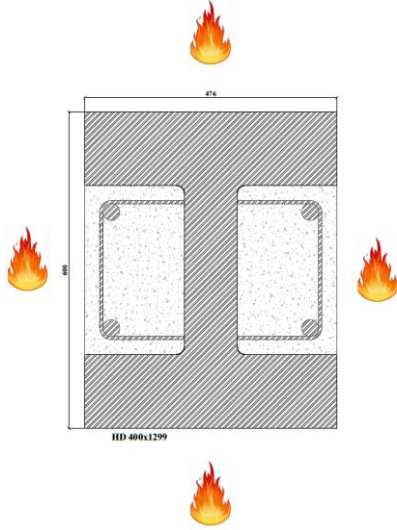
R90



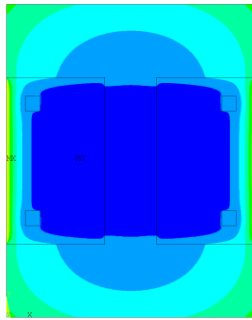
R120



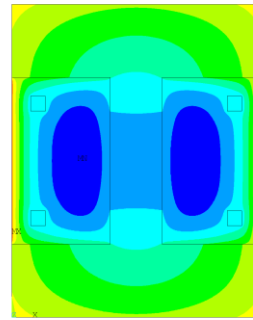
HD 400x1299 - Fogo 4 lados



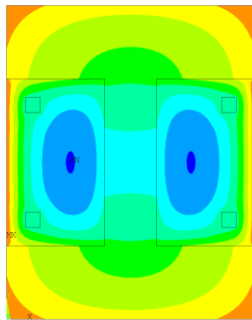
R30



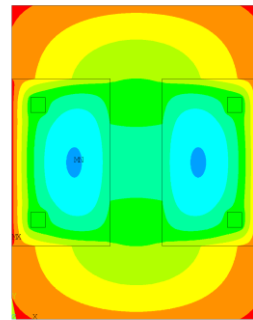
R60



R90

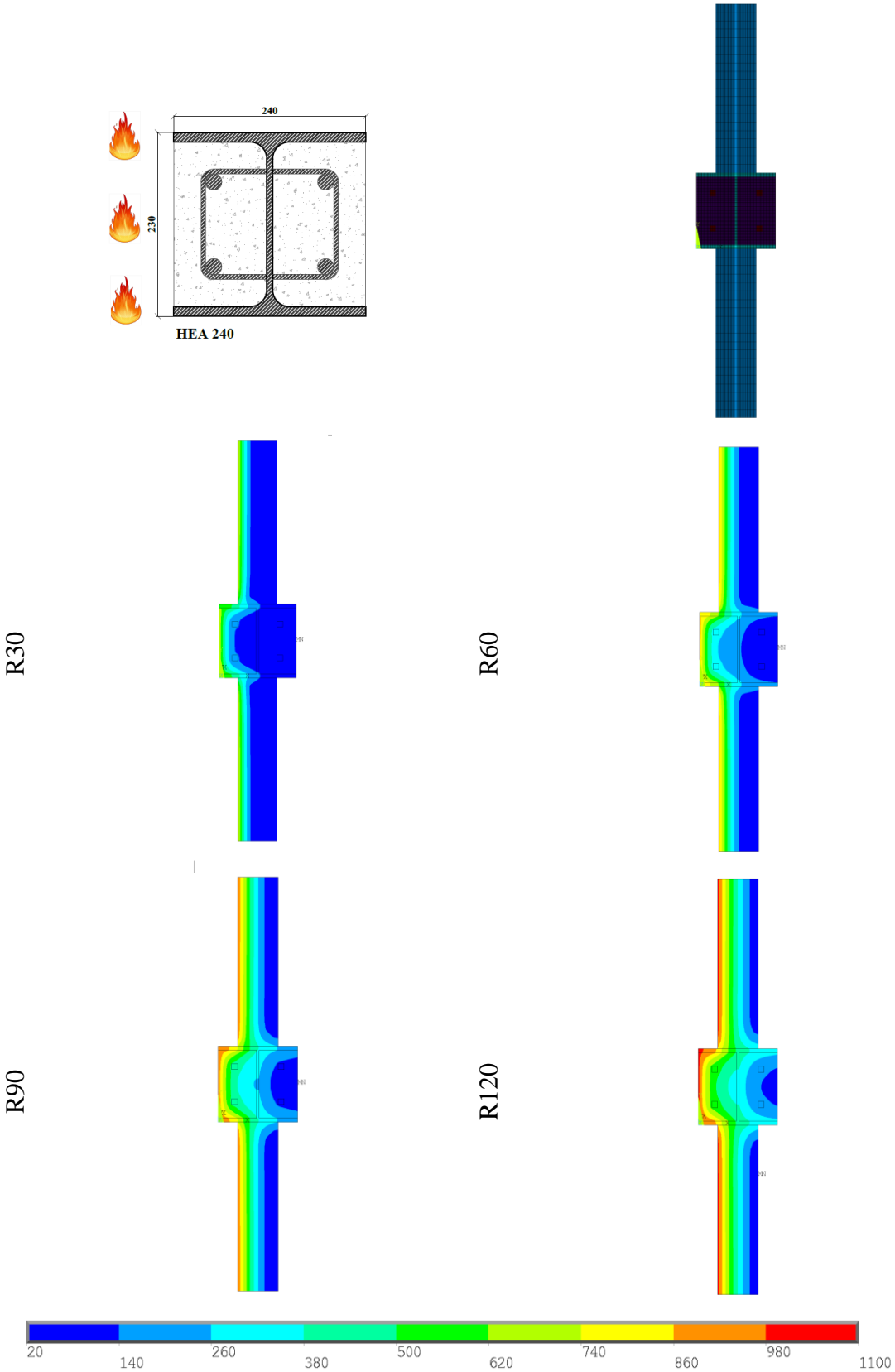


R120

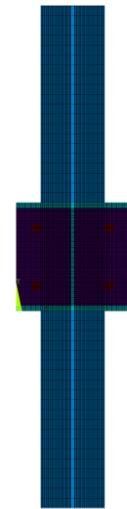
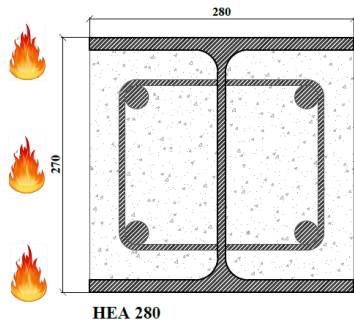


5.2 Cenário Fogo 1 Lado

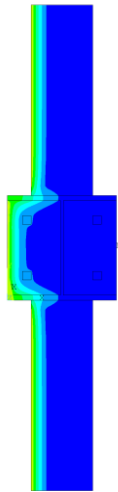
HEA 240 – Fogo de um lado



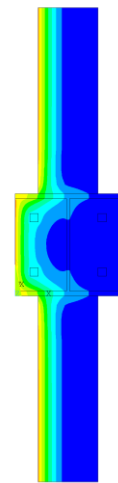
HEA 280 – Fogo de um lado



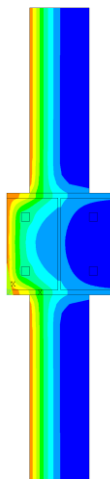
R30



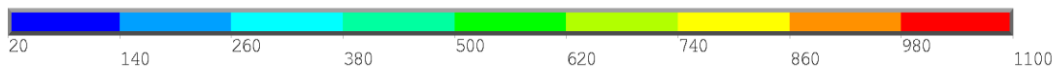
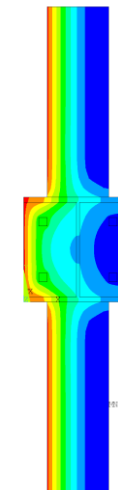
R60



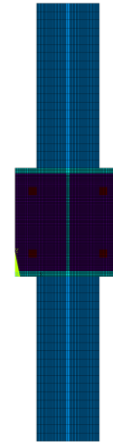
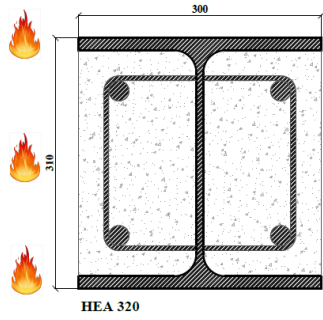
R90



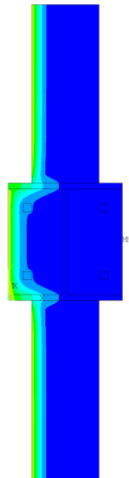
R120



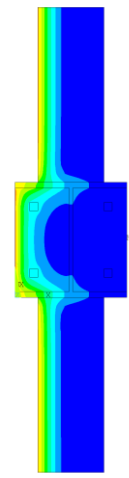
HEA 320 – Fogo de um lado



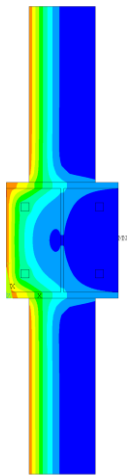
R30



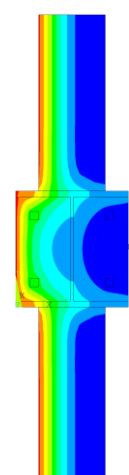
R60



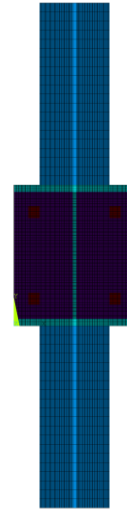
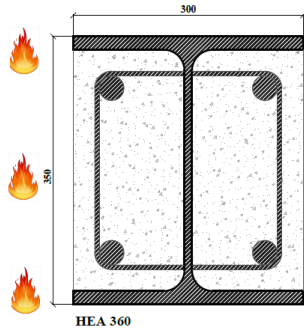
R90



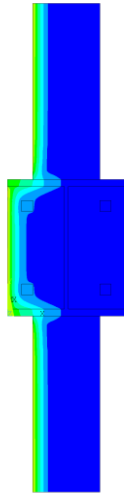
R120



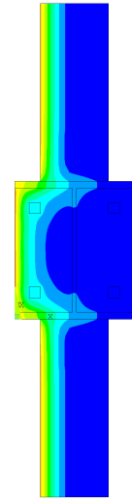
HEA 360 – Fogo de um lado



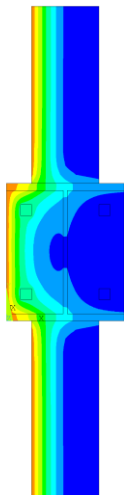
R30



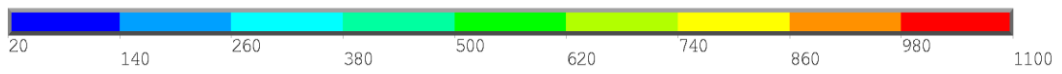
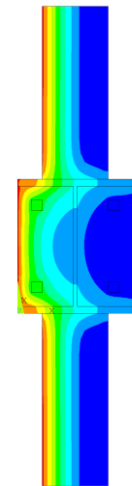
R60



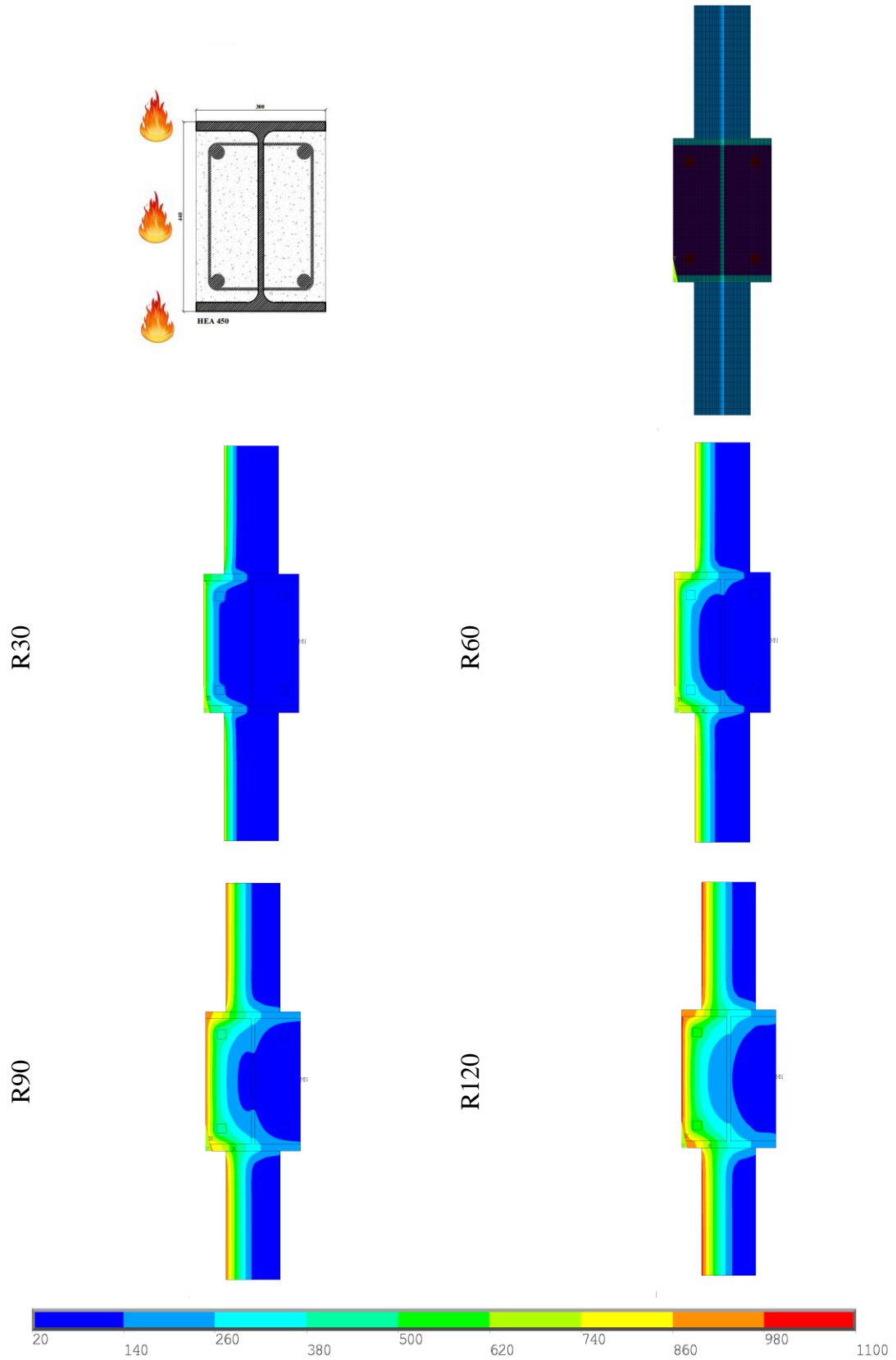
R90



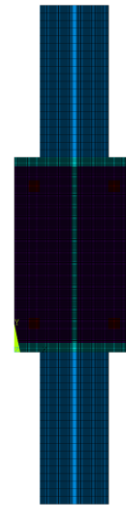
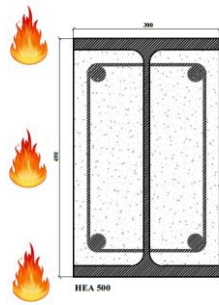
R120



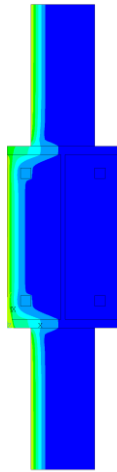
HEA 450 – Fogo de um lado



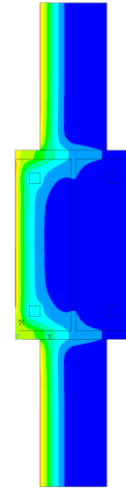
HEA 500 – Fogo de um lado



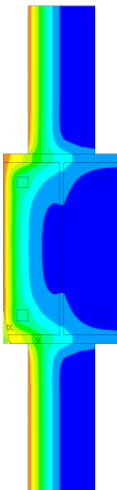
R30



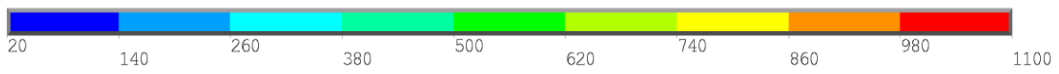
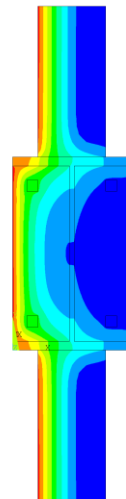
R60



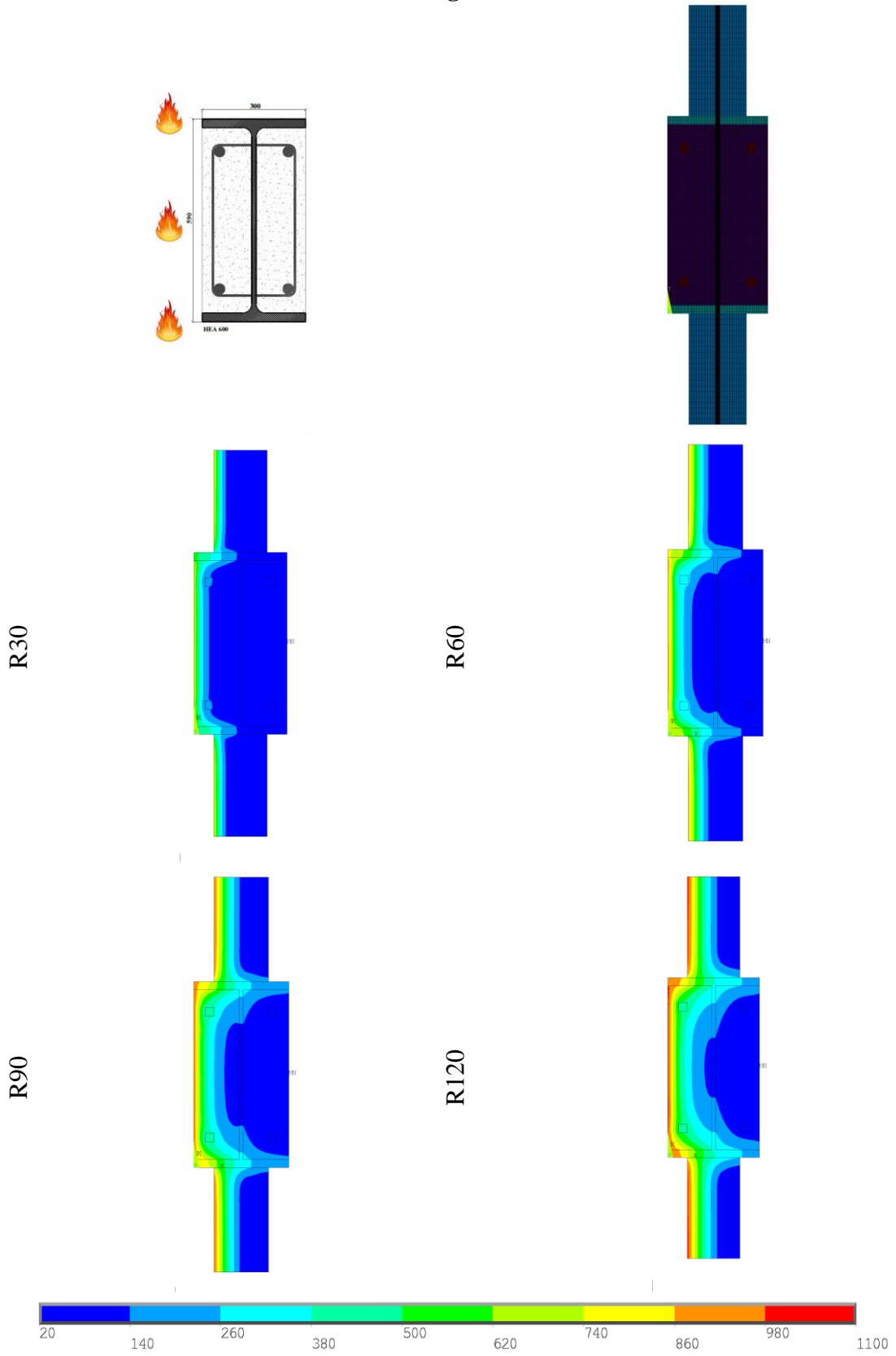
R90



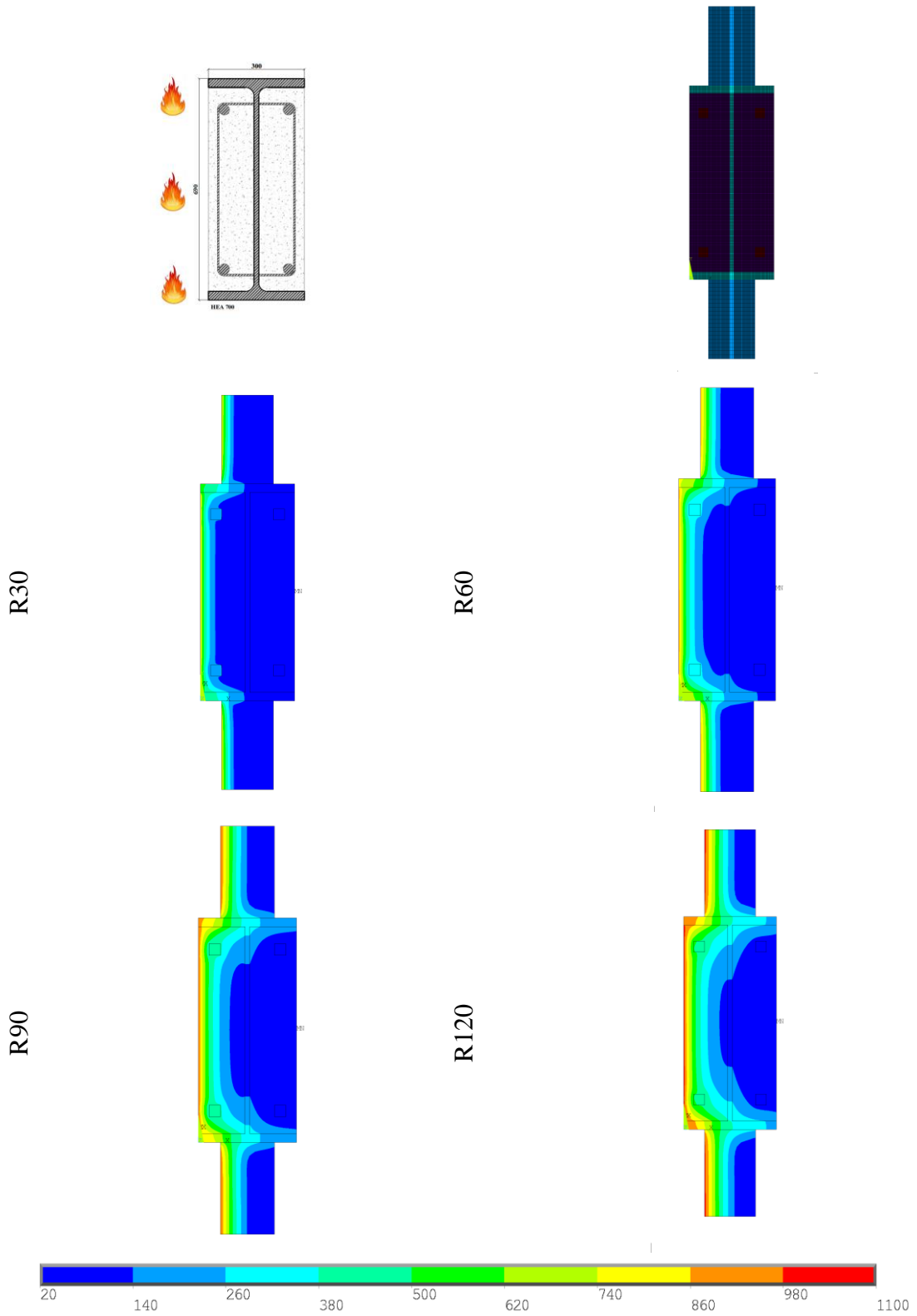
R120



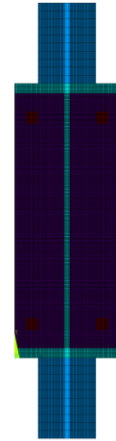
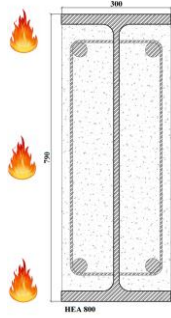
HEA 600 – Fogo de um lado



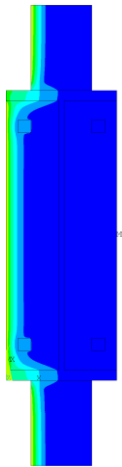
HEA 700 – Fogo de um lado



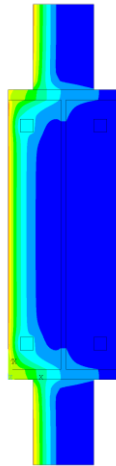
HEA 800 – Fogo de um lado



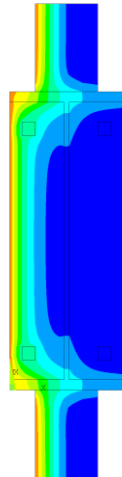
R30



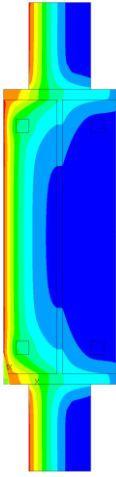
R60



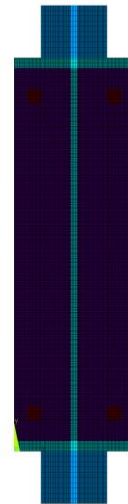
R90



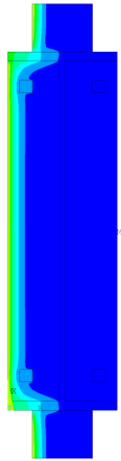
R120



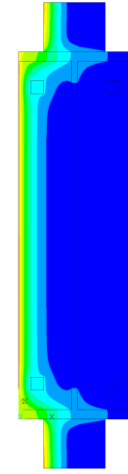
HEA 1000 – Fogo de um lado



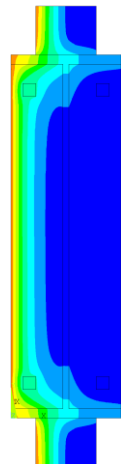
R30



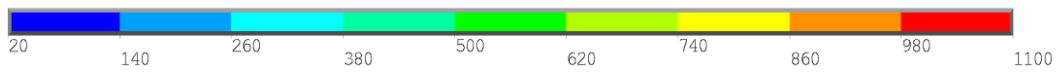
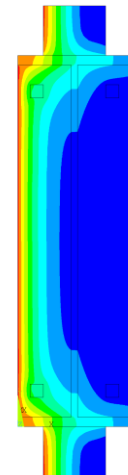
R60



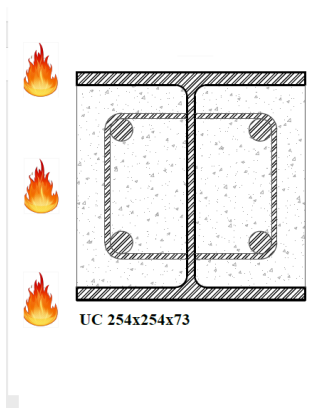
R90



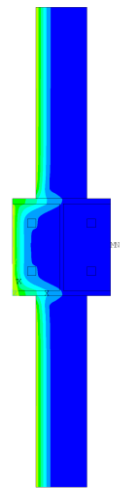
R120



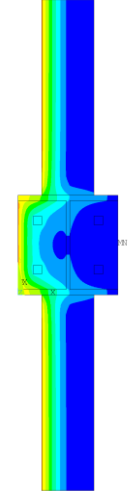
UC 254x254x73 – Fogo de um lado



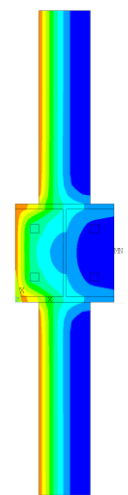
R30



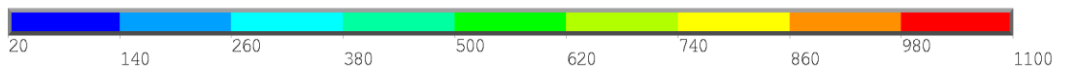
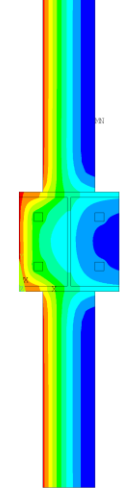
R60



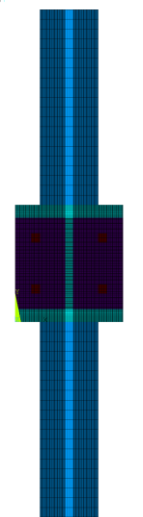
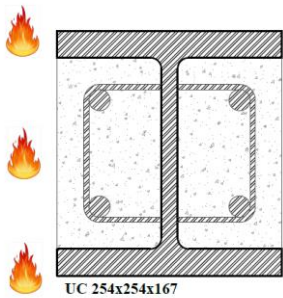
R90



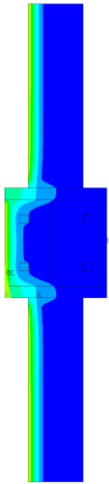
R120



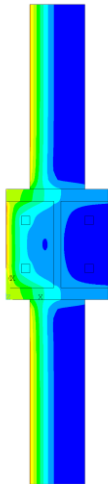
UC 254x254x167 – Fogo de um lado



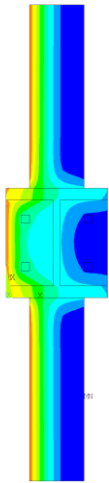
R30



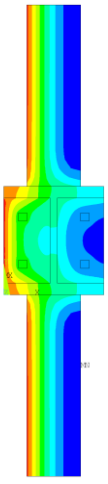
R60



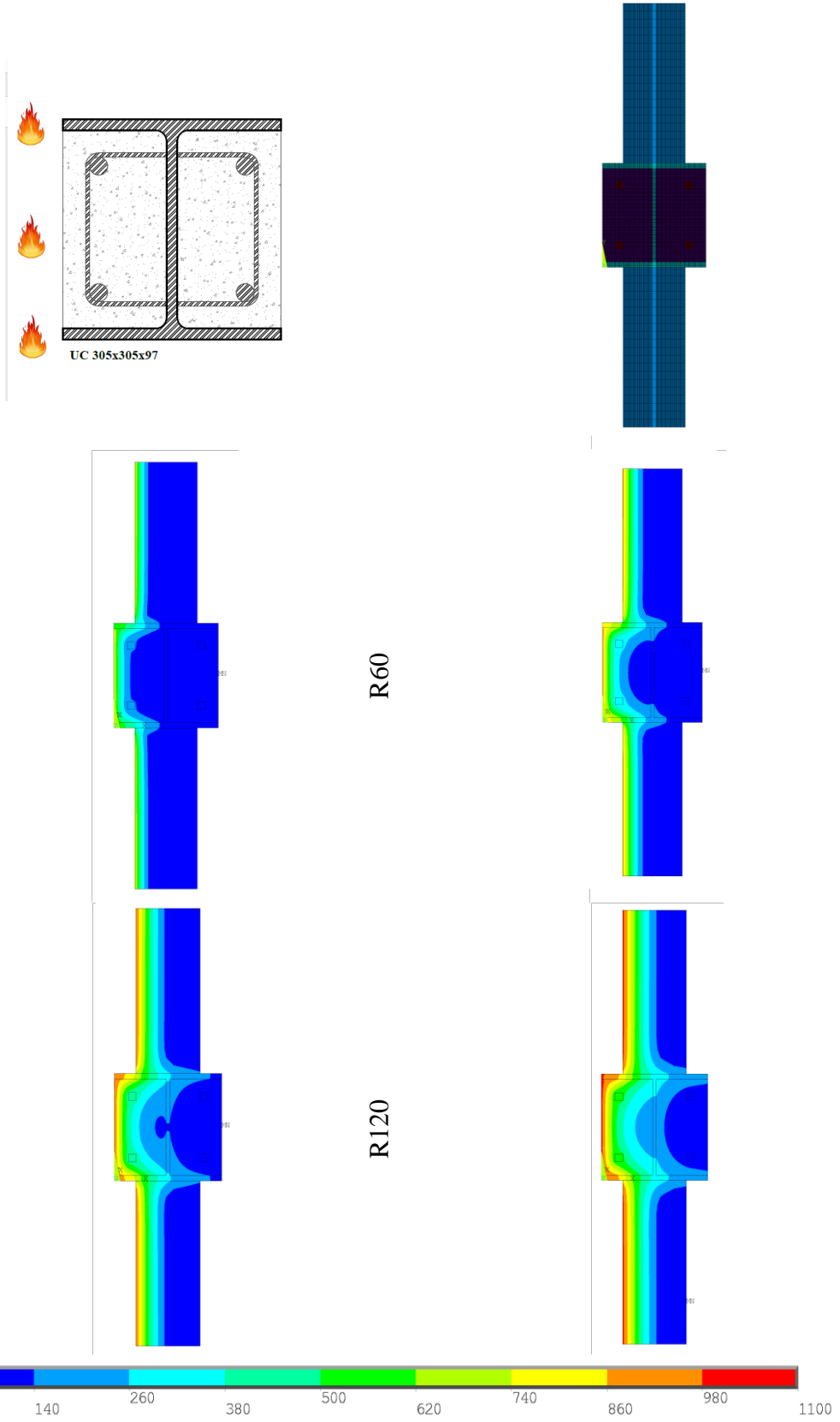
R90



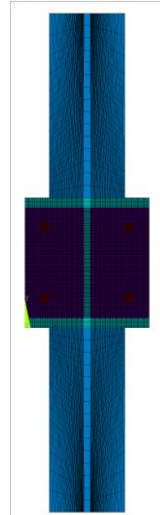
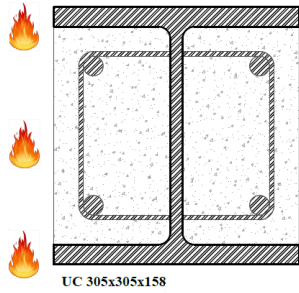
R120



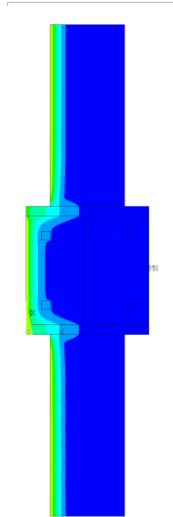
UC 305x305x97– Fogo de um lado



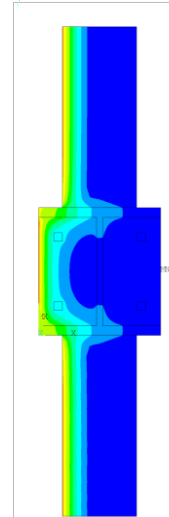
UC 305x305x158 – Fogo de um lado



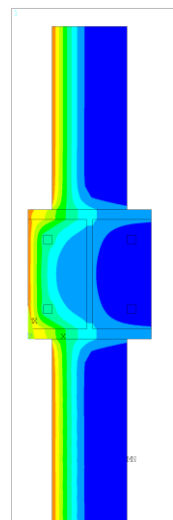
R30



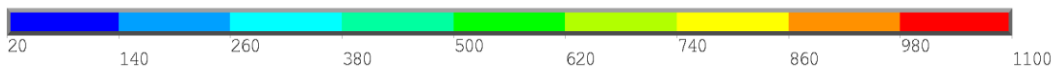
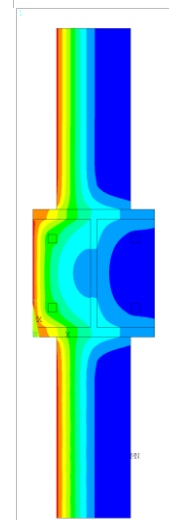
R60



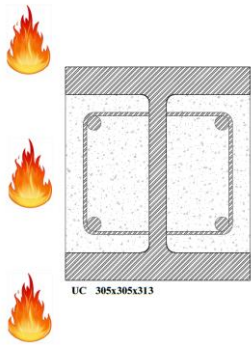
R90



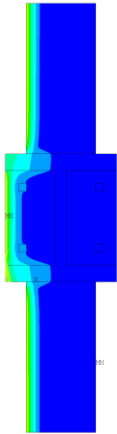
R120



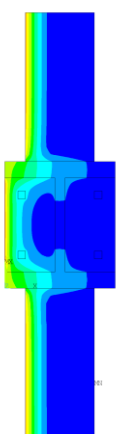
UC 305x305x313 – Fogo de um lado



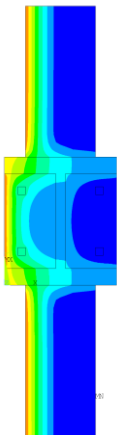
R30



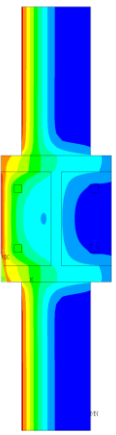
R60



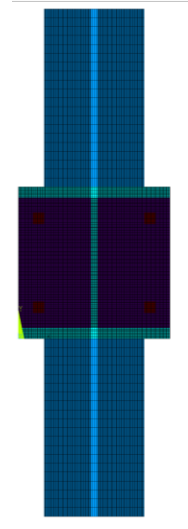
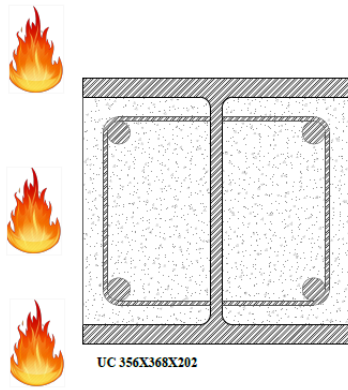
R90



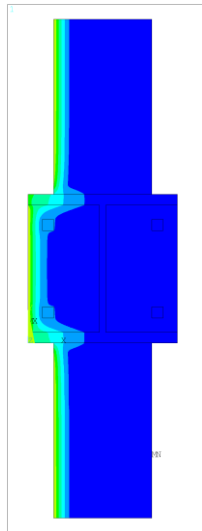
R120



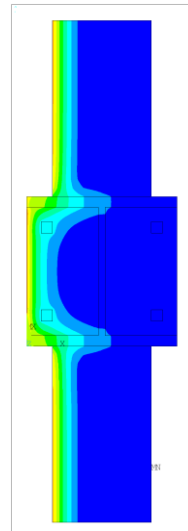
UC 356x368x202 – Fogo de um lado



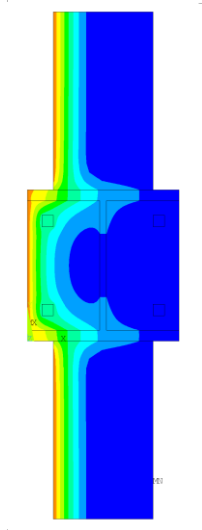
R30



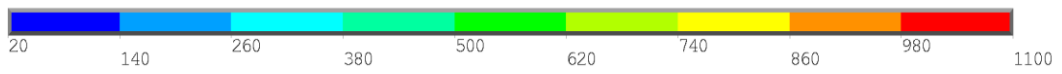
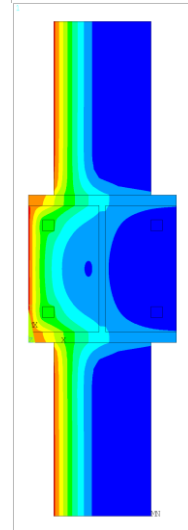
R60



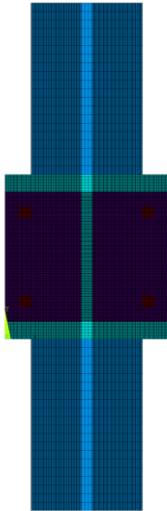
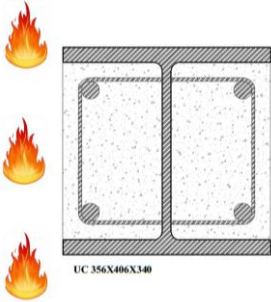
R90



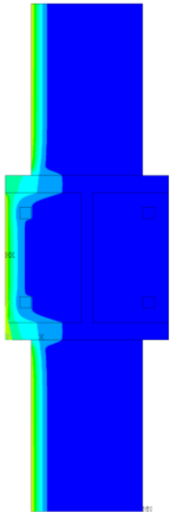
R120



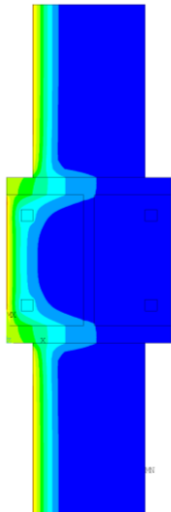
UC 356x406x340 – Fogo de um lado



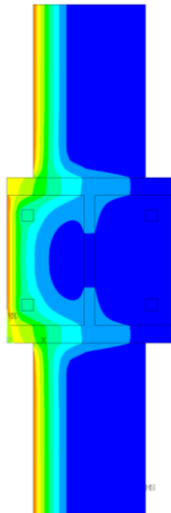
R30



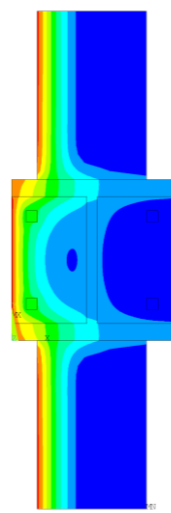
R60



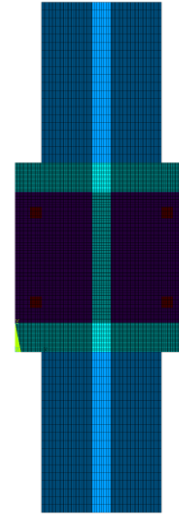
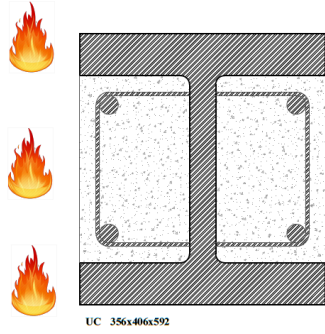
R90



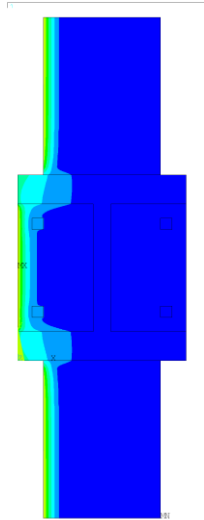
R120



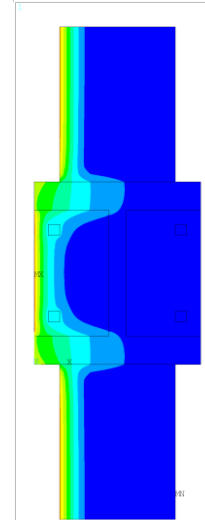
HEA 500 – Fogo de um lado



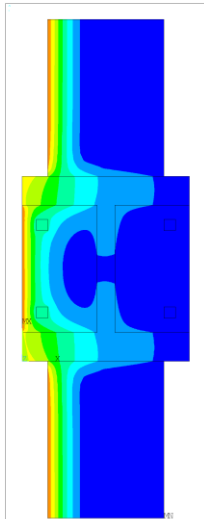
R30



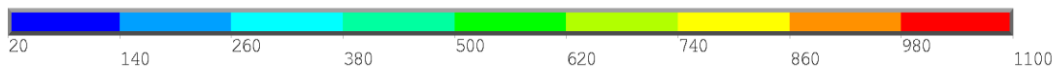
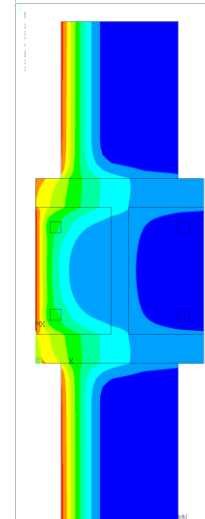
R60



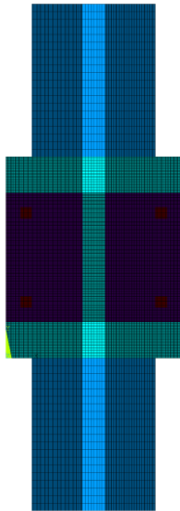
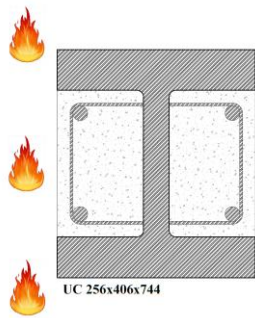
R90



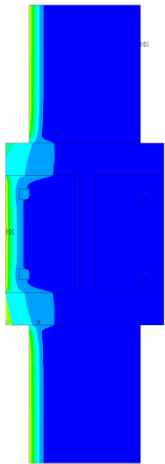
R120



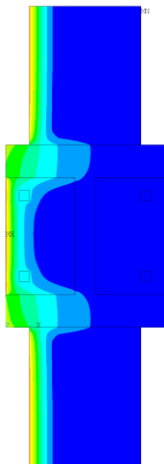
UC 256x406x744 – Fogo de um lado



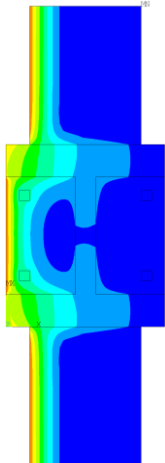
R30



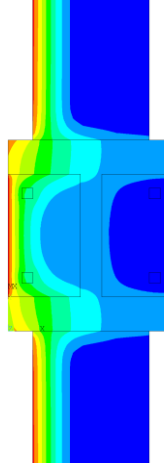
R60



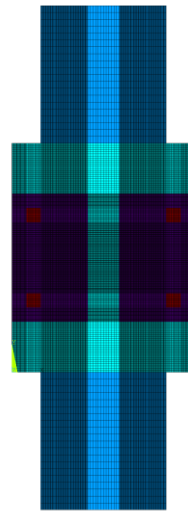
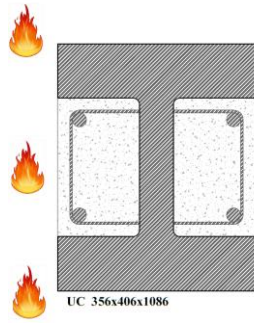
R90



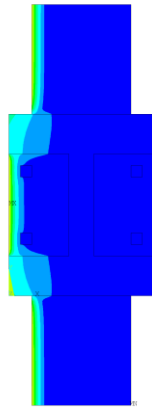
R120



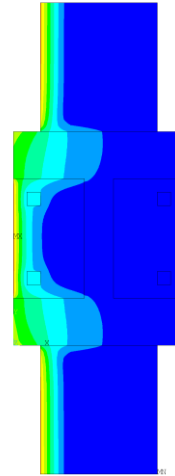
UC356x406x4086 – Fogo de um lado



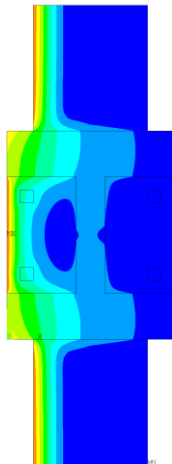
R30



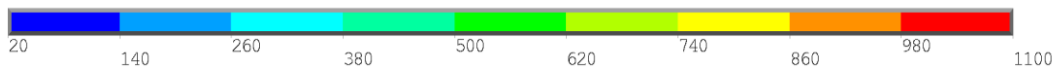
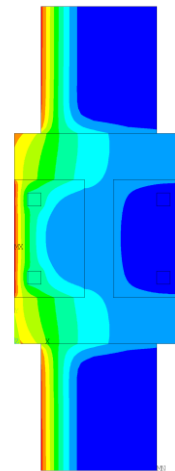
R60



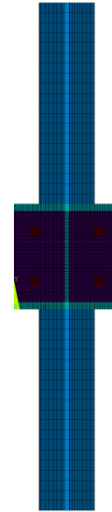
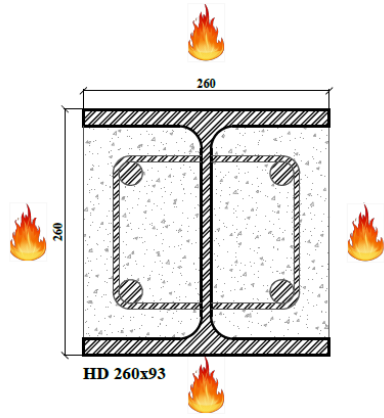
R90



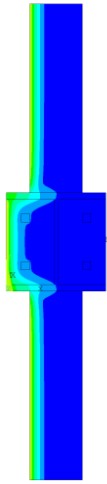
R120



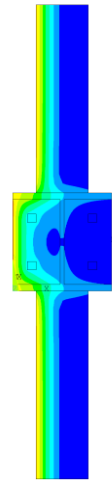
HD 260x93 – Fogo de um lado



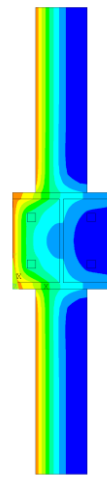
R30



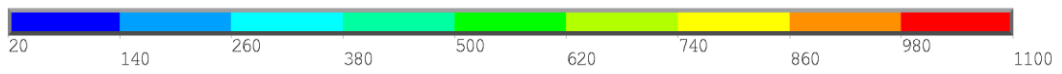
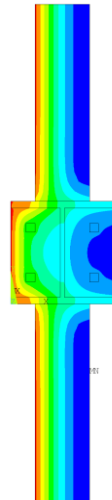
R60



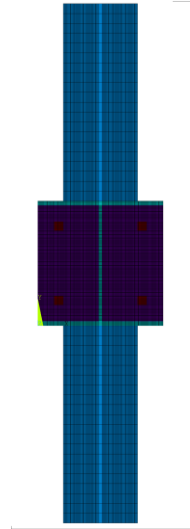
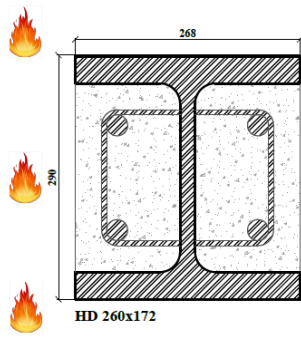
R90



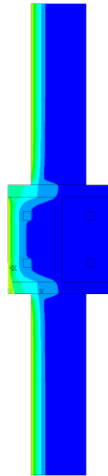
R120



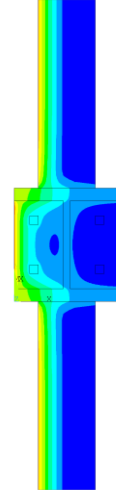
HD 260x172 – Fogo de um lado



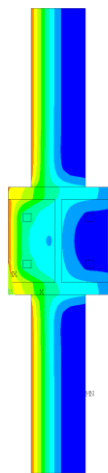
R30



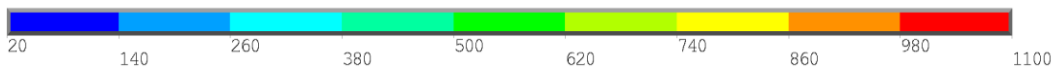
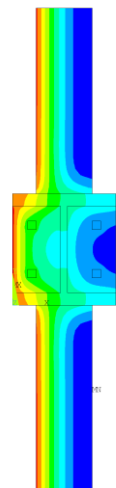
R60



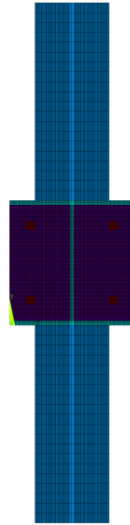
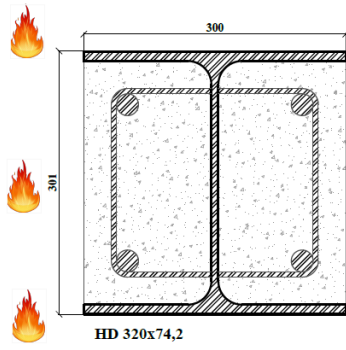
R90



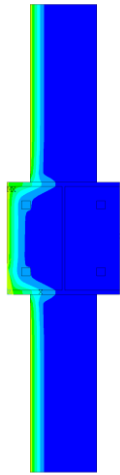
R120



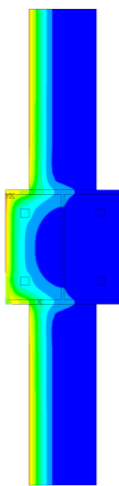
HD 320x74.2 – Fogo de um lado



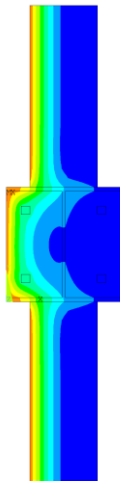
R30



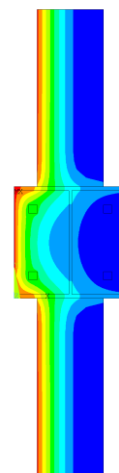
R60



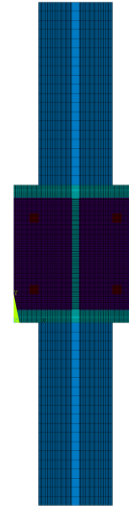
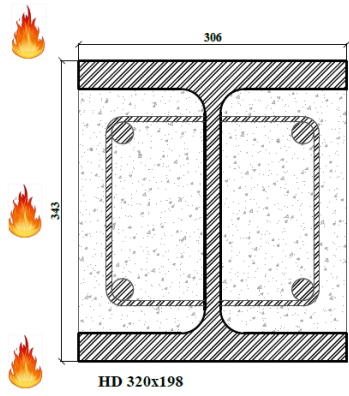
R90



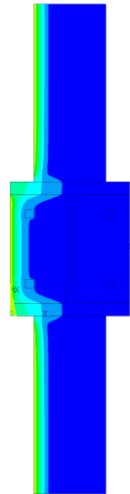
R120



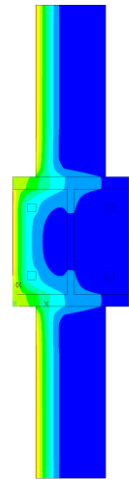
HD 320x198 – Fogo de um lado



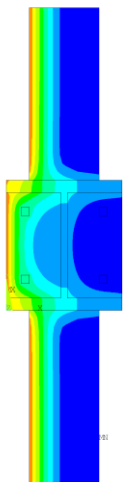
R30



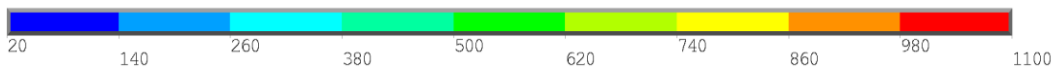
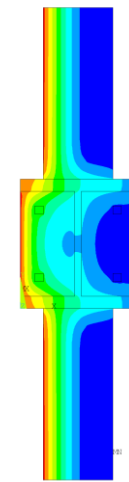
R60



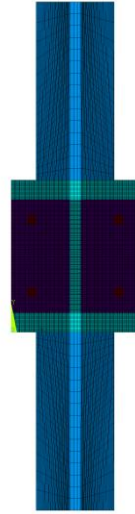
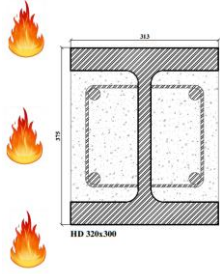
R90



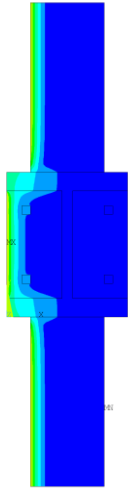
R120



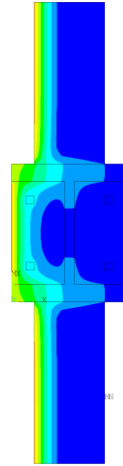
HD 320x300 – Fogo de um lado



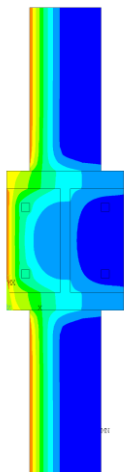
R30



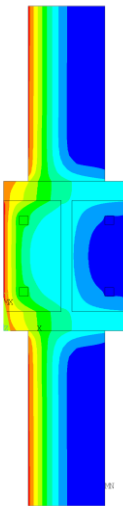
R60



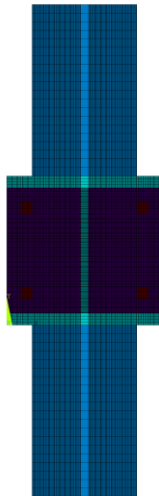
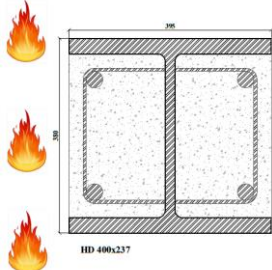
R90



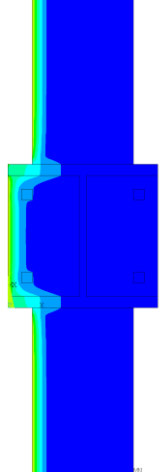
R120



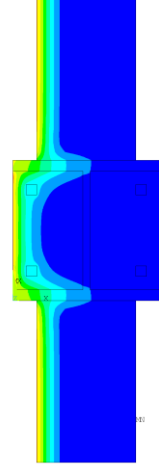
HD 400x237 – Fogo de um lado



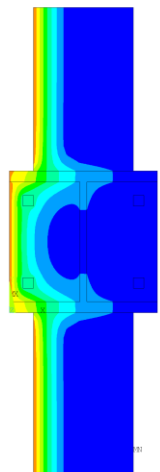
R30



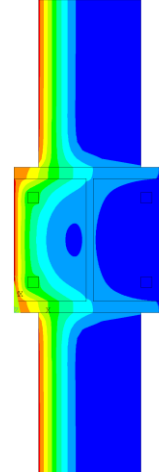
R60



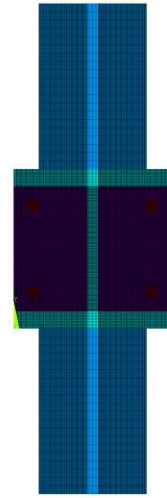
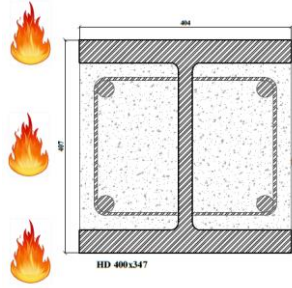
R90



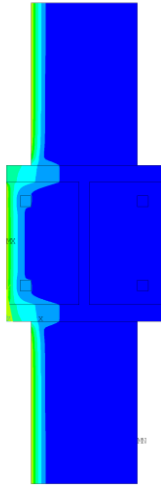
R120



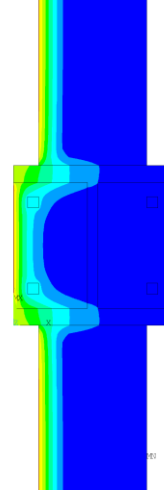
HD 400x347 – Fogo de um lado



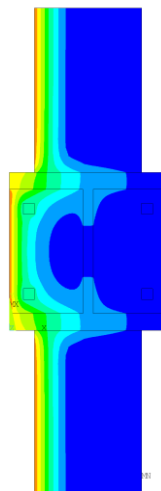
R30



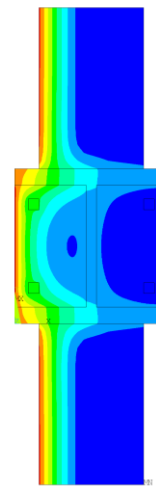
R60



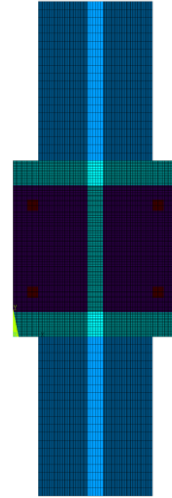
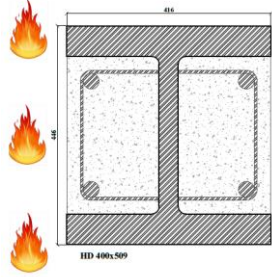
R90



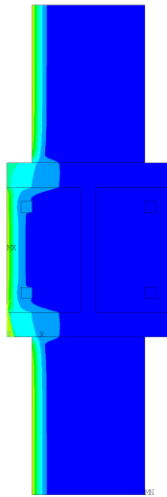
R120



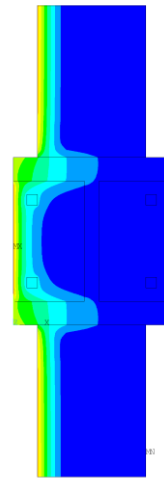
HD 400x509 – Fogo de um lado



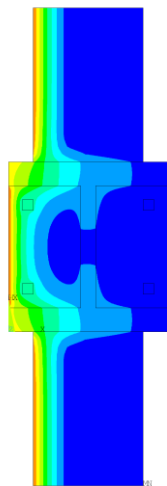
R30



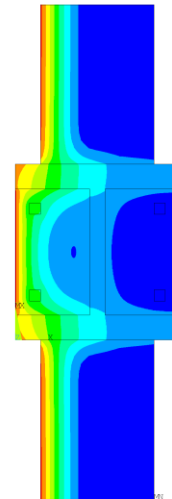
R60



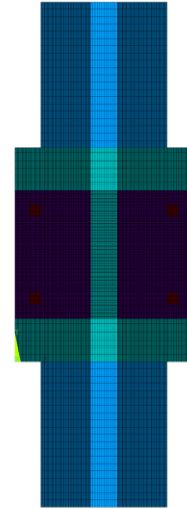
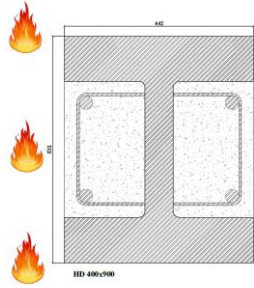
R90



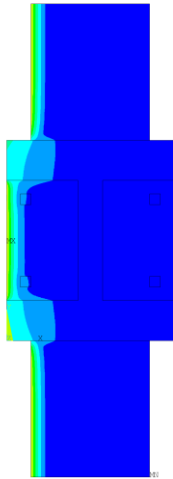
R120



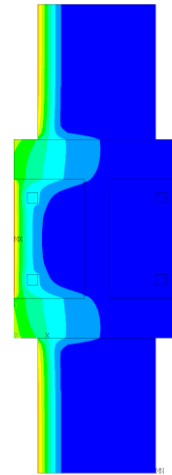
HD 400x900 – Fogo de um lado



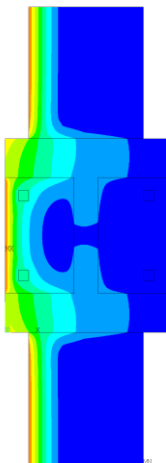
R30



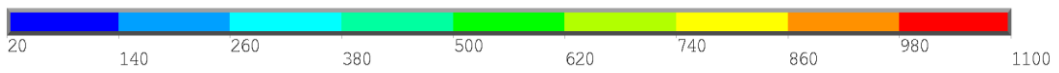
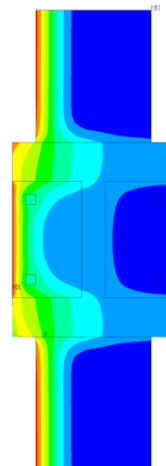
R60



R90



R120



HD 400x1299 – Fogo de um lado

