

COLAPSO POR FLEXO-TORÇÃO DE COLUNAS DE AÇO FORMADAS A FRIO
SOB TEMPERATURAS ELEVADAS: RESISTÊNCIA ÚLTIMA E
DIMENSIONAMENTO VIA MRD

Antonio Renato Albuquerque Bicelli

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadores: Alexandre Landesmann

Dinar Reis Zamith Camotim

Rio de Janeiro
Agosto de 2021

COLAPSO POR FLEXO-TORÇÃO DE COLUNAS DE AÇO FORMADAS A FRIO
SOB TEMPERATURAS ELEVADAS: RESISTÊNCIA ÚLTIMA E
DIMENSIONAMENTO VIA MRD

Antonio Renato Albuquerque Bicelli

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA CIVIL.

Orientadores: Alexandre Landesmann

Dinar Reis Zamith Camotim

Aprovada por: Prof. Alexandre Landesmann

Prof. André Rafael Dias Martins

Prof. Cilmar Donizeti Baságlio

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

AGOSTO DE 2021

Bicelli, Antonio Renato Albuquerque

Colapso por flexo-torção de colunas de aço formadas a frio sob temperaturas elevadas: resistência última e dimensionamento via MRD/ Antonio Renato Albuquerque Bicelli. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2021.

XVII, 113 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadores: Alexandre Landesmann

Dinar Reis Zamith Camotim

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil, 2021.

Referências Bibliográficas: p. 73-77.

1. Flambagem Global por Flexo-Torção. 2. Colunas de Perfis Formados a Frio Para Temperaturas Elevadas. 3. Método da Resistência Direta. I. Landesmann, Alexandre *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Civil. III. Título.

A minha família e amigos.

Agradecimentos

A minha família, por me ensinarem o valor e a importância do estudo. A Nicolý, minha namorada, por toda paciência, compreensão, carinho e companheirismo. A meus amigos, que sempre me proporcionaram momentos de alegria e descanso.

Aos meus orientadores, Prof. Alexandre Landesmann e Prof. Dinar Reis Zamith Camotim, pela paciência, dedicação, pelo artigo realizado e por todos os conhecimentos transmitidos. Agradeço ainda, todas as críticas construtivas, as discussões e as reflexões.

À banca examinadora composta por Prof. André Martins e Prof. Cilmar Baságlio.

Aos professores do Programa de Engenharia Civil (PEC) da COPPE/UFRJ, por todos os ensinamentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de auxílio financeiro.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

COLAPSO POR FLEXO-TORÇÃO DE COLUNAS DE AÇO FORMADAS A FRIO
SOB TEMPERATURAS ELEVADAS: RESISTÊNCIA ÚLTIMA E
DIMENSIONAMENTO VIA MRD

Antonio Renato Albuquerque Bicelli

Agosto/2021

Orientadores: Alexandre Landesmann

Dinar Reis Zamith Camotim

Programa: Engenharia Civil

Uma extensa investigação numérica é reportada com evidências de que a atual curva de resistência a flambagem global do Método da Resistência Direta (MRD) superestima a força última de colunas metálicas de Perfis Formados a Frio (PFF), quando submetidas a compressão uniforme em situações de incêndio. Este estudo fez uso dos valores de forças últimas para temperaturas elevadas obtidos para propor novas curvas de resistência a flambagem global por flexo-torção, baseadas no MRD, visivelmente diferentes quando exibe valor inferior a 1,5 no índice de esbeltez. Esta pesquisa, que pode ser entendida como uma continuação de estudos anteriores, investiga o comportamento de pós-flambagem e a curva normativa do MRD para colunas de aço bi engastadas que exibem modo de flambagem global por flexo-torção quando submetidas a compressão uniforme para temperaturas elevadas. Os resultados consistem na trajetória de equilíbrio da pós-flambagem elastoplástica e as forças últimas, que foram determinadas por meio de análises não-lineares em elementos finitos de casca. A fim de obter amplos valores de índice de esbeltez, várias tensões de escoamento para temperatura ambiente/moderada (20/100 °C) foram utilizadas, e também comprimentos distintos de colunas e variações de seções transversais foram considerados. O aço é modelado de acordo com o Eurocode 3 – *part* 1.2. Os dados de falha obtidos e os disponíveis na literatura internacional foram empregados para avaliar a eficiência da curva de resistência do MRD e propor modificações, visando torná-la capaz de lidar com flambagem por flexo-torção em situação de incêndio.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

FLEXURAL-TORSIONAL FAILURE OF COLD-FORMED STEEL COLUMNS AT
ELEVATED TEMPERATURES: ULTIMATE STRENGTH AND DSM DESIGN

Antonio Renato Albuquerque Bicelli

August/2021

Advisors: Alexandre Landesmann

Dinar Reis Zamith Camotim

Department: Civil Engineering

An extensive numerical investigation has been reported with evidence that the current Direct Strength Method (DSM) global strength curve overestimates the ultimate strength of Cold-Formed Steel (CFS) when submitted to uniform compression under fire situation. This study used ultimate strength of elevated temperatures gathered to propose a new set of flexural torsional curves in each temperature, based on DSM, which are clearly different when the slenderness is below than 1,5. This research, that can be read as a continuation of previously studies, investigate the flexural torsional post-buckling equilibrium paths and the DSM for steel columns that exhibit flexural torsional buckling when submitted to uniform compression under elevated temperatures. The results consist of post-buckling equilibrium paths and ultimate strength, obtained through nonlinear shell finite element analyses. To ensure covering wide slenderness ranges, several room/moderate temperatures (20/100 °C) yield stresses and different columns lengths and variety of transversal sections were considerate. The steel is simulated by models prescribed in Eurocode 3: part 1.2. The numerical failure loads obtained in this research and collected in the international literature were used to validated the efficiency of DSM and to propose a modification, making it capable of handling flexural torsional failures under elevated temperatures.

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Motivação	4
1.2	Objetivo	4
1.3	Metodologia.....	5
1.4	Estrutura da dissertação	5
2	Revisão bibliográfica	7
2.1	Conceitos e fundamentos.....	7
2.1.1	Instabilidade	7
2.1.2	Análise de estabilidade elástica	8
2.1.3	Flambagem de PFF sob compressão axial.....	9
2.2	Métodos numéricos	10
2.2.1	Método dos elementos finitos (MEF).....	10
2.2.2	Teoria Generalizada de vigas (GBT).....	12
2.3	Estado da arte via MRD para flambagem global por flexo-torção.....	12
2.4	Estado da arte de PFF sob incêndio.....	19
2.4.1	Flambagem global por flexo-torção	26
3	Análise de estabilidade	31
3.1	Seleção de colunas.....	31
4	Pós-flambagem global por flexo-torção.....	46
4.1	Modelo numérico de elementos finitos	46
4.1.1	Propriedades mecânicas do aço	47
4.1.2	Aferição do modelo numérico	48
4.2	Comportamento elastoplástico de pós-flambagem.....	51
4.3	Dados da força última.....	56
5	Dimensionamento via MRD.....	59
5.1	Ajustes na curva proposta por DINIS <i>et al.</i> [15] para temperaturas elevadas	68
6	Considerações Finais	71
6.1	Sugestões para trabalhos futuros	72
7	Referências bibliográficas.....	73
8	Apêndice A - Dados referentes às colunas selecionadas.....	78

Lista de Figuras

Figura 1.1: Ilustração do processo de fabricação de PFF. Fonte: https://vertexcad.com/bd/for-cold-formed-steel-framing .	1
Figura 1.2: Seção tipo U enrijecido com flambagem (a) local, (b) distorcional, (c) flexo-torção e (d) flexão.	2
Figura 1.3: (a) exemplo de <i>Light Steel Framing</i> e (b) porta palete. Fonte de (a) : https://manometcurrent.com/global-light-gauge-steel-framing-market-2021-offered-in-new-research-forecast-through-2026/ .	2
Figura 1.4: Estrutura sob incêndio. Fonte: https://www.engenheirodoaco.com.br/2018/10/02/estruturas-de-aco-em-situacao-de-incendio-0033/ .	4
Figura 2.1: Caminhos de equilíbrio da coluna de Euler. Fonte: REIS e CAMOTIM [20].	7
Figura 2.2: Trajetória de equilíbrio para barra (a) ideal, (b) com imperfeição e material elástico e (c) com imperfeição e material elastoplástico. Fonte: REIS e CAMOTIM [20].	8
Figura 2.3: Curva de estabilidade genérica de colunas em PFF sob compressão axial....	9
Figura 2.4: Modos de deformação gerados via GBTul [19].	10
Figura 2.5: Representação genérica de um problema via MEF. Fonte: REIS e CAMOTIM [20].	11
Figura 2.6: Ilustração da discretização de uma coluna bi engastada via MEF, com malha retangular.	11
Figura 2.7: Elemento <i>SHELL181</i> . Fonte ANSYS [17].	12
Figura 2.8: Seções transversais consideradas: (a) <i>U</i> , (b) <i>C</i> , (c) <i>H</i> , (d) <i>R</i> , (e) <i>RLC</i> , (f) <i>WSC</i> e (g) <i>WFSC</i> .	15
Figura 2.9: Comparação entre f_u / σ_y vs λ_G nomeados de (a) perfil <i>U</i> , (b) perfil <i>C</i> , (c) perfil <i>H</i> , (d) perfil <i>R</i> , (e) perfil <i>RLC</i> , (f) perfil <i>WSC</i> , e (g) perfil <i>WFSC</i> . Fonte: DINIS <i>et al.</i> [15].	15
Figura 2.10: Comparação entre $f_u / f_{n.G}$ vs λ_G nomeados de (a) perfil <i>U</i> , (b) perfil <i>C</i> , (c) perfil <i>H</i> , (d) perfil <i>R</i> , (e) perfil <i>RLC</i> , (f) perfil <i>WSC</i> , e (g) perfil <i>WFSC</i> . Fonte: DINIS <i>et al.</i> [15].	16
Figura 2.11: Comparação entre a curva modificada, representada pela Eq 2.6, com a curva atual ($f_{n.G}$). (a) perfil <i>C</i> e (b) perfil <i>R</i> . Fonte: DINIS <i>et al.</i> [15].	17

Figura 2.12: Comparação com a curva modificada, $f_u / f_{n,FT}$ vs λ_{FT} nomeados de (a) perfil U, (b) perfil C, (c) perfil H, (d) perfil R, (e) perfil RLC, (f) perfil WSC, e (g) perfil WFSC. Fonte: DINIS <i>et al.</i> [15].	18
Figura 2.13: Comparação dos resultados com a norma AS/NZS 4600 [3] e a curva proposta por [24] para seção C. Fonte: GUNALAN e MAHENDRAN [24].	19
Figura 2.14: Colunas com a localização dos <i>Strain Gauges</i> e Transdutores. Fonte: FENG <i>et al.</i> [29,30].	21
Figura 2.15: Modelo experimental empregado. Fonte: LEE <i>et al.</i> [31].	22
Figura 2.16: Dispositivo de ensaio. Fonte: CHEN e YOUNG [32].	23
Figura 2.17: Comparação dos resultados de MEF (a) com a curva de flambagem local do MRD e (b) com a curva de flambagem distorcional do MRD. Fonte: CHEN e YOUNG [33].	24
Figura 2.18: Forno utilizado, (a) visão geral e (b) teste a 650 °C. Fonte: RANAWAKA [35].	24
Figura 2.19: (a) Forno elétrico com dois segmentos e sistema de carregamento hidráulico e (b) Coluna C engastada submetida a compressão axial para temperatura ambiente. Fonte: GUNALAN <i>et al.</i> [49].	26
Figura 3.1: Curva de estabilidade ($P_{cr,T}$ vs L) para diferentes temperaturas (20, 400 e 600 °C) para (a) U_1 , (b) C_1 , (c) H_1 e (d) R_1 .	35
Figura 3.2: Curva de estabilidade ($P_{cr,T}$ vs L) para diferentes temperaturas (20, 400 e 600 °C) para (a) RLC_1 , (b) WSC_1 e (c) $WFSC_1$.	36
Figura 3.3: Modos de deformação via GBTul [19] para perfil C.	37
Figura 3.4: Modos de deformação via GBTul [19] para perfil R.	37
Figura 4.1: (a) Variação dos fatores de redução $k_{E,T}$, $k_{y,T}$, $k_{p,T}$ com a temperatura para $T < 800$ °C e (b) curva de tensão vs deformação (PFF) para temperatura ambiente, 400 e 600 °C. Fonte: EC3-1.2 [16].	48
Figura 4.2: Modelo experimental (a) forno de três segmentos e sistema de controle de temperatura e (b) configuração de aplicação de força. Fonte: HEVA [18].	49
Figura 4.3: Detalhamento das placas rígidas utilizadas para simular o engaste. Fonte: HEVA [18].	49
Figura 4.4: Trajetórias de equilíbrio para U_1-L_1 , LC_2-L_3 , H_4-L_1 , R_3-L_1 , RLC_2-L_1 , WSC_4-L_1 e $WFSC_1-L_1$, com $\lambda_{FT}=1,5$ para as oito temperaturas abordadas.	53

Figura 4.5: Deformada/tensão de <i>von Mises</i> no colapso para $T = 20/100, 300, 500$ e $700\text{ }^{\circ}\text{C}$, para as colunas $U_1-L_1, LC_2-L_3, R_3-L_1$ e H_4-L_1 , respectivamente.	54
Figura 4.6: Deformada/tensão de <i>von Mises</i> no colapso para $T = 20/100, 300, 500$ e $700\text{ }^{\circ}\text{C}$, para as colunas RLC_2-L_1, WSC_4-L_1 e $WFSC_1-L_1$, respectivamente.	55
Figura 4.7: Gráficos referentes a tensão última normalizada em função da tensão de escoamento ($f_{u,T}/\sigma_{y,T}$) vs $\lambda_{FT,T}$ para $T=20/100, 200, 300, 400, 500, 600, 700$ e $800\text{ }^{\circ}\text{C}$. ..	56
Figura 5.1: Comparação entre os valores $f_{u,T}/\sigma_{y,T}$ e as curvas de FT do MRD ($T=20/100, 200, 300, 400, 500, 600, 700$ e $800\text{ }^{\circ}\text{C}$).	61
Figura 5.2: Plotes $f_{u,T}/f_{n,G,T}$ para todas as forças últimas analisadas. ($T=20/100, 200, 300, 400, 500, 600, 700$ e $800\text{ }^{\circ}\text{C}$).	62
Figura 5.3: Plotes $f_{u,T}/f_{n,FT,T}$ para todas as tensões últimas analisadas ($T=20/100, 200, 300, 400, 500, 600, 700$ e $800\text{ }^{\circ}\text{C}$).	64
Figura 5.4: Comparação entre a curva $f_{FT,T}$ e os valores $f_{u,T}/\sigma_{y,T}$ de $C_2 - L_3$ para $\lambda_{FT,20} = 0,75-1,5-2,5$ com $T=20, 300, 500$ e $700\text{ }^{\circ}\text{C}$, obtidos com os modelos constitutivos EC3:1-2, G250, G450 e G550.	67
Figura 5.5: Curva modificada para colunas sob flexo-torção em condição de $T=20/100, 200, 300, 400, 500, 600, 700$ e $800\text{ }^{\circ}\text{C}$	69
Figura 5.6: Plotes $f_{u,T}/f_{n,FT,T^*}$ para todas as tensões últimas analisadas ($T=20/100, 200, 300, 400, 500, 600, 700$ e $800\text{ }^{\circ}\text{C}$).	70

Lista de Tabelas

Tabela 2.1: Fatores de redução térmico para a curva tensão vs deformação de aço sob temperaturas elevadas, segundo EC3-1.2 [16]	29
Tabela 3.1: Geometrias das colunas, com valores de b_w , b_f , b_s , b_l , t , A , I_I , I_{II} e I_w (mm , mm^2 , mm^4 e mm^6).....	33
Tabela 3.2: Comprimentos selecionados das colunas com valores em mm	34
Tabela 3.3: Comprimentos adotados, $P_{cr,FT}$ com suas relações e participação modal para a seção U	39
Tabela 3.4: Comprimentos adotados, $P_{cr,FT}$ com suas relações e participação modal para a seção C	40
Tabela 3.5: Comprimentos adotados, $P_{cr,FT}$ com suas relações e participação modal para a seção H	41
Tabela 3.6: Comprimentos adotados, $P_{cr,FT}$ com suas relações e participação modal para a seção R	42
Tabela 3.7: Comprimentos adotados, $P_{cr,FT}$ com suas relações e participação modal para a seção RLC	43
Tabela 3.8: Comprimentos adotados, $P_{cr,FT}$ com suas relações e participação modal para a seção WSC	44
Tabela 3.9: Comprimentos adotados, $P_{cr,FT}$ com suas relações e participação modal para seção $WSFC$	45
Tabela 4.1: Colunas consideradas na validação.	50
Tabela 4.2: Comparação entre os resultados reportados e obtidos.....	50
Tabela 5.1: Indicadores ($f_{u,T} / f_{n,G,T}$, $f_{u,T} / f_{n,FT,T}$ e $f_{u,T} / f_{n,FT,T*}$) estatísticos para as colunas analisadas numericamente nesta dissertação ($T=20/100$, 200 , 300 , 400 e 500 °C).	65
Tabela 5.2: Indicadores ($f_{u,T} / f_{n,G,T}$, $f_{u,T} / f_{n,FT,T}$ e $f_{u,T} / f_{n,FT,T*}$) estatísticos para as colunas analisadas numericamente nesta dissertação ($T= 500$, 600 , 700 e 800°C).	65
Tabela 5.3: Indicadores ($f_{u,T} / f_{n,G,T}$, $f_{u,T} / f_{n,FT,T}$ e $f_{u,T} / f_{n,FT,T*}$) estatísticos para as colunas testadas experimentalmente por HEVA [18] ($T=20/100$, 200 , 300 , 400 , 500 , 600 e 700 °C).....	66
Tabela 5.4: Indicadores ($f_{u,T} / f_{n,G,T}$, $f_{u,T} / f_{n,FT,T}$ e $f_{u,T} / f_{n,FT,T*}$) estatísticos para as colunas analisadas numericamente por HEVA [18] ($T=20/100$, 200 , 300 , 400 , 500 , 600 e 700 °C).	66

Tabela 5.5: Influência do modelo constitutivo no valores $f_{u,T}/\sigma_{y,T}$ de $C_2 - L_3$ para $\lambda_{FT,20} = 0,75-1,5-2,5$ com $T=20, 300, 500$ e 700 °C.....	67
Tabela 8.1: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna U_1 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.	79
Tabela 8.2: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna U_2 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.	80
Tabela 8.3: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna U_3 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.	81
Tabela 8.4: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna U_4 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.	82
Tabela 8.5: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna U_5 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.	83
Tabela 8.6: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna C_1 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.	84
Tabela 8.7: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna C_2 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.	85
Tabela 8.8: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna C_3 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.	86
Tabela 8.9: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna C_4 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.	87
Tabela 8.10: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna C_5 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.	88
Tabela 8.11: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna H_1 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.	89
Tabela 8.12: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna H_2 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.	90
Tabela 8.13: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna H_3 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.	91
Tabela 8.14: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna H_4 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.	92
Tabela 8.15: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna H_5 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.	93

Tabela 8.16: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna R_1 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800\text{ }^{\circ}\text{C}$	94
Tabela 8.17: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna R_2 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800\text{ }^{\circ}\text{C}$	95
Tabela 8.18: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna R_3 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800\text{ }^{\circ}\text{C}$	96
Tabela 8.19: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna R_4 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800\text{ }^{\circ}\text{C}$	97
Tabela 8.20: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna R_5 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800\text{ }^{\circ}\text{C}$	98
Tabela 8.21: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna RLC_1 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800\text{ }^{\circ}\text{C}$	99
Tabela 8.22: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna RLC_2 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800\text{ }^{\circ}\text{C}$	100
Tabela 8.23: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna RLC_3 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800\text{ }^{\circ}\text{C}$	101
Tabela 8.24: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna RLC_4 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800\text{ }^{\circ}\text{C}$	102
Tabela 8.25: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna RLC_5 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800\text{ }^{\circ}\text{C}$	103
Tabela 8.26: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna WSC_1 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800\text{ }^{\circ}\text{C}$	104
Tabela 8.27: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna WSC_2 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800\text{ }^{\circ}\text{C}$	105
Tabela 8.28: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna WSC_3 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800\text{ }^{\circ}\text{C}$	106
Tabela 8.29: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna WSC_4 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800\text{ }^{\circ}\text{C}$	107
Tabela 8.30: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna WSC_5 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800\text{ }^{\circ}\text{C}$	108
Tabela 8.31: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna $WFSC_1$ com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800\text{ }^{\circ}\text{C}$	109

Tabela 8.32: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna WFSC₂ com σ_{y20} =75, 150, 300, 450 e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C..... 110

Tabela 8.33: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna WFSC₃ com σ_{y20} =75, 150, 300, 450 e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C..... 111

Tabela 8.34: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna WFSC₄ com σ_{y20} =75, 150, 300, 450 e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C..... 112

Tabela 8.35: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna WFSC₅ com σ_{y20} =75, 150, 300, 450 e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C..... 113

Lista de Símbolos e Abreviaturas

Letras romanas maiúsculas

A	Área bruta da seção transversal
E	Módulo de elasticidade longitudinal do aço
E_T	Módulo de elasticidade longitudinal do aço a uma dada temperatura T
U	Perfil U simples
C	Perfil U enrijecido
H	Perfil cartola
R	Perfil rack
RLC	Perfil rack invertido
WSC	Perfil U enrijecido com enrijecedor de mesa
$WSFC$	Perfil U enrijecido com enrijecedores de mesa e flange
T	Temperatura
$a ; b$	Parâmetro a e b para o cálculo do parâmetro geométrico da seção transversal
$d_1; d_2; d_3; d_4$	Comprimento dos enrijecedores nos perfis WSC e $WSFC$
$I_1; I_2$	Momentos de inércia da seção bruta em relação aos eixos principais 1 e 2, respectivamente
I_w	Constante de empenamento da seção transversal
P	Força aplicada
P_E	Força crítica de Euler
$P_u ; P_{u.T}$	Força última de compressão resistente nominal a uma dada temperatura T
$P_{n.G}$	Resistência última normativa global via método da resistência direta (MRD)
$P_{n.FT}$	Resistência última normativa por flexo-torção via MRD modificado proposta por [15]
$P_{n.FT*}$	Resistência última normativa por flexo-torção via MRD modificado proposta nesta dissertação.
P_y	Força relativa ao escoamento do aço
$P_{cr.L} ; P_{cr.D}$	Força crítica de flambagem local, distorcional, global e por flexo-torção, respectivamente.
$P_{cr.G} ; P_{cr.FT}$	

Letras romanas minúsculas

b_w	Comprimento da alma da seção transversal
b_f	Comprimento da mesa da seção transversal
b_s	Comprimento do enrijecedor de borda da seção transversal
b_l	Comprimento do segundo enrijecedor de borda da seção transversal
t	Espessura
$\sigma_y ; \sigma_{y.T}$	Tensão de escoamento a uma dada temperatura T
$f_{cr.G} ; f_{cr.FT}$	Tensão crítica de flambagem global e por flexo-torção, respectivamente
$f_u ; f_{u.T}$	Tensão última de compressão resistente nominal a uma dada temperatura T
f_p	Tensão limite de proporcionalidade segundo EC3:1-2 [16]
$f_{n.G}$	Curva normativa de resistência global do MRD
$f_{n.FT}$	Curva normativa de resistência por flexo-torção via MRD modificado proposta por [15]
$f_{n.FT*}$	Curva normativa de resistência por flexo-torção via MRD modificado proposta nesta dissertação
$f_{n.GM}$	Curva normativa de resistência por flexo-torção via MRD modificado proposta por [23]

Letras gregas

ν	Deslocamento vertical
μ	Deslocamento horizontal
θ	Deslocamento devido a rotação
ε_T	Deformação correspondente a tensão fornecida a uma dada temperatura T
$\varepsilon_{y,T}$	Deformação correspondente a tensão de escoamento a uma dada temperatura T segundo EC:1-2 [16]
$\varepsilon_{p,T}$	Deformação correspondente a tensão de proporcionalidade a uma dada temperatura T segundo EC:1-2 [16]
$\lambda_L; \lambda_D; \lambda_G;$ λ_{FT}	Índice de esbeltez associado à flambagem local, distorcional, global e por flexo-torção, respectivamente.
β_{FT}	Parâmetro geométrico da seção transversal associado a flambagem global por flexo-torção
η	Parâmetro proposta nesta dissertação para incorporar os efeitos da temperatura
$k_{y,T}$	Fator de redução mecânica do EC3:1-2 [16] associado a tensão de escoamento
$k_{p,T}$	Fator de redução mecânica do EC3:1-2 [16] associado ao limite de proporcionalidade
$k_{E,T}$	Fator de redução mecânica do EC3:1-2 [16] associado ao módulo de elasticidade

Abreviaturas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AISI	<i>American Iron and Steel Institute</i>
AS/NZA	<i>Australian Standard / New Zealand Standard</i>
CBCA	Centro Brasileiro da Construção em Aço
GBT	Teoria Generalizada de Vigas / <i>Generalized Beam Theory</i>
MEF	Método dos Elementos Finitos
MRD	Método da Resistência Direta
PFF	Perfil Formado a Frio

1 Introdução

A contínua evolução industrial da construção civil nas últimas décadas impulsionou o desenvolvimento de diversas inovações tecnológicas, que buscam avaliar o uso de materiais de baixo custo, versáteis e com alto controle de qualidade. Nesse cenário, os perfis de aço formados a frio (PFF) têm sido amplamente utilizados em residências, indústrias e prédios comerciais como componente principal da estrutura. Os PFF estão disponíveis em uma variedade de seções complexas devido a sua maleabilidade, tendo como principais vantagens: fácil fabricação, peso leve, flexibilidade, disponibilidade, facilidade no transporte e na instalação. Segundo o Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA) [1] as construções em aço apresentam diversas vantagens para o meio ambiente atendendo as expectativas em relação a qualidade de vida das futuras gerações. A busca pela sustentabilidade na construção civil está interligada com o ciclo de vida da edificação. O aço é um material 100% reciclável, o qual pode retornar aos fornos sob forma de sucata e se tornar um novo aço, sem perda de qualidade. Dessa forma, nos últimos anos, a busca por materiais com maior resistência e ampla variedade de seções transversais desencadearam no crescimento significativo de PFF em relação as estruturas normais de aço laminado. A Figura 1.1 ilustra todo o processo de fabricação do PFF, o qual tem início na concepção do projeto, seguido da dobra a frio da bobina de aço de acordo com o tipo de seção transversal requerida.

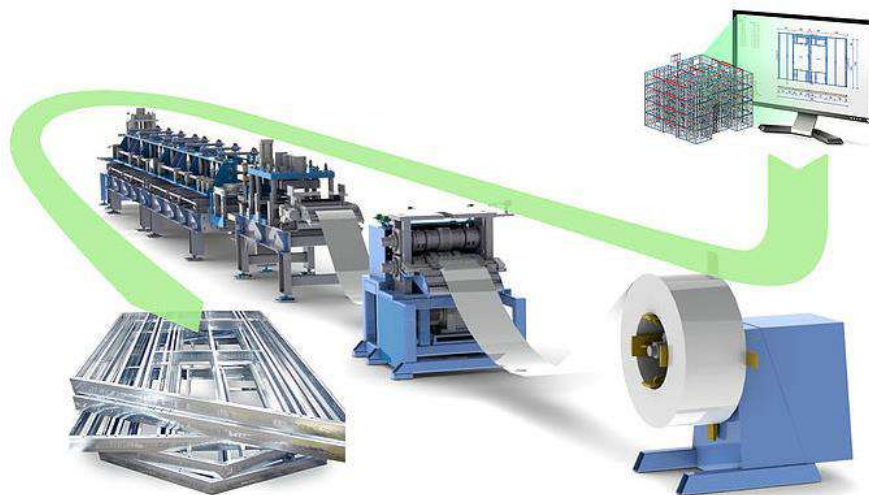


Figura 1.1: Ilustração do processo de fabricação de PFF. Fonte: <https://vertexcad.com/bd/for-cold-formed-steel-framing>.

Conforme abordado previamente, o uso de PFF tem como concepção a obtenção de estruturas leves. Porém, o uso de chapas com pequenas espessuras na fabricação, o torna suscetível a vários fenômenos de flambagem, chamados de local, distorcional e global (flexão, torção ou flexo-torção), conforme ilustrados na Figura 1.2. Usualmente, membros curtos sofrem colapso por flambagem local e/ou distorcional, enquanto que membros longos falham devido a flambagem global. A falha por flambagem local caracteriza-se pela flexão dos elementos constituintes da seção transversal sem que ocorra deslocamento dos nós da seção. Na falha distorcional ocorre a rotação e possível translação da mesa juntamente de seu enrijecedor de borda. Finalmente, a falha por flambagem global é caracterizada pela translação de toda a seção ao longo do eixo longitudinal.

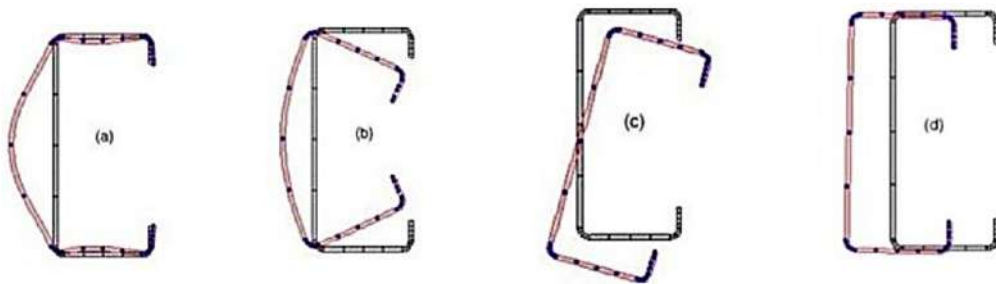


Figura 1.2: Seção tipo U enrijecida com flambagem (a) local, (b) distorcional, (c) flexo-torção e (d) flexão.

Alguns exemplos da utilização de PFF na construção civil (Figura 1.3) são: sistemas estruturais conhecidos como *Light Steel Framing*, estruturas de estoque como as existentes em grandes redes de varejo alimentício e em coberturas.



Figura 1.3: (a) exemplo de *Light Steel Framing* e (b) porta paletes. Fonte de (a) : <https://manometcurrent.com/global-light-gauge-steel-framing-market-2021-offered-in-new-research-forecast-through-2026/>.

Atualmente, existem várias normas de projetos que utilizam PFF, como a americana AISI S100 [2], a australiana AS/NZS 4600 [3] e a brasileira ABNT NBR 14762 [4]. Todas as normas citadas fazem uso do método da resistência direta (MRD) para o dimensionamento.

A curva do MRD (*e.g.*, SCHAFER [5], CAMOTIM *et al.* [6]), presente nas versões atuais das normas citadas no parágrafo anterior, contém recomendações específicas (curvas de resistência) para o dimensionamento de PFF, o qual requer apenas o conhecimento prévio da tensão de escoamento do aço juntamente com a tensão/momento crítico de flambagem ou do índice de esbeltez. A primeira proposta do MRD foi feita por SCHAFER e PEKÖZ [7], baseada na ideia original de HANCOCK *et al.* [8], sendo hoje considerado um dos melhores métodos para dimensionar estruturas constituídas de PFF. A curva normativa do MRD combina a parábola de Johnson (ZIEMIAN [9]) com a parte inferior da curva de Euler. Nesse contexto, artigos foram produzidos com o intuito de otimizar as curvas referentes a flambagem global do MRD, dentre os quais é possível citar DINIS *et al.* [10,11] (esses trabalhos tiveram como foco analisar o colapso devido a flambagem por flexo-torção e flexão, utilizando colunas bi engastadas para temperatura ambiente/moderada – 20/100 °C), MARTINS *et al.* [12,13] (levaram em consideração a interação entre os modos de flambagem global-distorcional) e os mais recentes desenvolvidos por DINIS *et al.* [14,15] (os autores analisaram exclusivamente o colapso devido a flexo-torção abordando diferentes condições de apoio para temperatura ambiente/moderada).

No entanto, tais curvas foram desenvolvidas para membros de aço de PFF submetidos a temperatura ambiente, ainda sendo desconhecido se elas poderiam ser adotadas (com ou sem modificações) para estimar a resistência final dos membros quando sujeitos a ação de temperaturas elevadas. Como por exemplo em casos de incêndio, o qual pode alterar consideravelmente a lei constitutiva do aço, ou seja, seu módulo de elasticidade/módulo de Young e sua resistência. Esse é um problema crucial nas edificações, ainda mais quando não são adequadamente projetadas para possíveis ocorrências de incêndio. Os sistemas estruturais devem possuir resistência suficiente para a evacuação e devem ser projetados adequadamente para prevenir a propagação do fogo. O uso de aços de alta resistência e seções transversais finas aumentam significativamente a vulnerabilidade quanto ao risco de incêndio. A Figura 1.4 ilustra uma situação de incêndio com PFF, na qual observa-se que os perfis são significativamente afetados

devido a ação do fogo. Todavia, a pesquisa acadêmica dedicada aos efeitos do incêndio em PFF ainda é relativamente escassa e nova.



Figura 1.4: Estrutura sob incêndio. Fonte: <https://www.engenheirodoaco.com.br/2018/10/02/estruturas-de-aco-em-situacao-de-incendio-0033/>.

1.1 Motivação

Recentemente, no contexto de investigações numéricas, foi relatado por DINIS *et al.* [15] que a atual curva do MRD referente a flambagem global subestima, geralmente por grandes quantidades, a resistência última das colunas que sofrem colapso por flexo-torção. Também se constatou que o MRD estima com precisão os modos de falha por flexão. Além disso, membros de PFF possuem baixa resistência ao fogo devido a sua alta condutividade térmica, devido a isso seu dimensionamento deve ser projetado adequadamente. Entretanto, há escassez de informação na literatura sobre o comportamento de PFF para temperaturas elevadas, tanto numérica quanto experimental. Dessa forma, notou-se a importância da análise de colunas sujeitas ao colapso por flexo-torção sob incêndio, que até então não estão contempladas pela curva normativa do MRD.

1.2 Objetivo

Esta dissertação tem como objetivo apresentar e discutir os resultados de uma extensa e profunda investigação numérica nas curvas de dimensionamento a flambagem global por flexo-torção via MRD para temperaturas elevadas. A pesquisa aborda a

performance do MRD em situação de incêndio, utilizando fatores de redução das propriedades mecânicas oriundas do EUROCODE 3 *part 1.2* [16]. Além disso, objetiva-se ainda, avaliar o comportamento de flambagem, pós-flambagem e se preciso realizar modificações que torne estas curvas seguras para a situação de incêndio.

1.3 Metodologia

A metodologia adotada para obtenção dos resultados seguiu as seguintes etapas: (i) validação do modelo numérico utilizado através da comparação com o resultado experimental de três colunas ensaiadas em laboratório por HEVA [18], (ii) seleção das colunas através de análise de flambagem elástica com previsão da participação modal para garantir que ocorra falha por flexo-torção por meio do código GBTul [19], (iii) análise de pós-flambagem elástica não-linear (com consideração das imperfeições geométricas, reduções das propriedades mecânicas) para todas as temperaturas estudadas, utilizando modelos de elementos finitos de casca do tipo *SHELL 181*, presente no programa ANSYS [17], também foram utilizados (iv) nas análises da pós-flambagem elastoplástica, com critério de falha de *von Mises* para todas as temperaturas e na (v) obtenção da resistência última (P_u) — necessária para verificação e comparação com (v_1) a resistência última normativa ($f_{n,G}$) obtida via curva global do MRD, para verificação da sua adequabilidade (precisão e segurança) e a (v_2) curva modificada do MRD proposta por DINIS *et al.* [15] ($f_{n,FT}$) — e (vi) apresentação de alguns ajustes/modificações sugeridos para a curva do MRD de modo a considerar a situação de incêndio.

1.4 Estrutura da dissertação

A pesquisa inicia-se com a revisão bibliográfica (Capítulo 2) dos conceitos e dos trabalhos numéricos e experimentais que tratam sobre colunas metálicas sob temperaturas elevadas, flambagem, pós-flambagem, resistência última e dimensionamento via curvas globais do MRD.

No Capítulo 3 tem-se a análise de flambagem – abordagem do procedimento adotado para a seleção das colunas com modo de flambagem “puramente” por flexo-torção (as colunas selecionadas devem exibir força crítica global mínima, significativamente menor que as forças críticas locais e distorcionais, participação modal

por flexo-torção preferencialmente maior que 90%) – e a apresentação das forças críticas obtidas.

O Capítulo 4, trata da análise de pós-flambagem, com uma breve descrição sobre o modelo numérico de elementos finitos utilizado no código ANSYS [17] (que também serviu como base para as análises subsequentes), seguida da aferição do modelo (realizada por reprodução e comparação com modelos de HEVA [18]). Ainda nesse Capítulo, tem-se os resultados numéricos obtidos, a discussão sobre o comportamento de pós-flambagem e de resistência última.

No Capítulo 5, os resultados obtidos nesta dissertação juntamente com os reportados por HEVA [18] são usados para avaliar a adequabilidade, para os casos de (i) curva de resistência normativa global do MRD ($P_{n,G}$) e (ii) curva modificada do MRD proposta por DINIS *et al.* [15] ($P_{n,FT}$). Por fim, ajustes são sugeridos na curva modificada para temperaturas elevadas quando o valor do índice de esbeltez é inferior ou igual a 1,5.

Por fim o Capítulo 6 trata das considerações finais, incluindo as sugestões para trabalhos futuros seguida das referências bibliográficas. O Apêndice A informa todos os dados obtidos nessa dissertação.

2 Revisão bibliográfica

Este capítulo apresenta os conceitos de equilíbrio e estabilidade elástica para flambagem e pós-flambagem de colunas de PFF. Assim como os principais trabalhos publicados nos últimos anos, no que se refere as curvas de resistência do MRD para flambagem global por flexo-torção e PFF em situação de temperaturas elevadas. Ainda, são apresentados os métodos utilizados para o dimensionamento, para as análises numéricas e também as reduções das propriedades mecânicas do aço para temperaturas elevadas.

2.1 Conceitos e fundamentos

2.1.1 Instabilidade

Nos sistemas estruturais com comportamento não-linear, a análise do equilíbrio e da estabilidade é geralmente feita a partir dos caminhos ou trajetórias de equilíbrio. A trajetória de equilíbrio é a representação gráfica, usualmente no plano, da variação da amplitude do carregamento em função de um determinado grau de liberdade (deslocamento ou rotação), definido de forma a caracterizar o comportamento estrutural. Um exemplo para análise do equilíbrio e estabilidade é o da coluna de Euler (coluna reta com apoios). Considera-se as trajetórias de equilíbrio traçadas em função da aplicação da força (P) e do deslocamento vertical do topo (v) ou horizontal do centro (u), conforme ilustrado na Figura 2.1. Ao atingir a força crítica de Euler (P_E) ocorre uma bifurcação de equilíbrio.

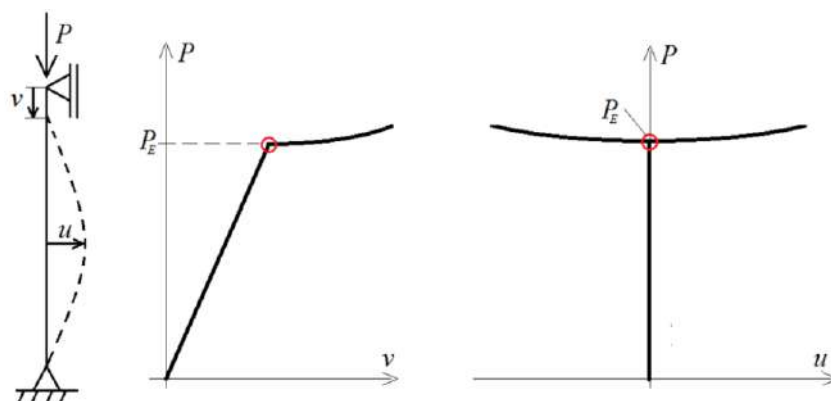


Figura 2.1: Caminhos de equilíbrio da coluna de Euler. Fonte: REIS e CAMOTIM [20].

REIS e CAMOTIM [20] mostram que a trajetória de equilíbrio estável pode ser linear ou não-linear e inicia-se na origem. Será não-linear quando houver imperfeições geométricas iniciais no elemento estrutural, nesses casos o estado limite último poderá ser alcançado para valores de tensão menores que os respectivos valores críticos. A Figura 2.2 apresenta a relação entre tensão vs deslocamento horizontal. Uma coluna ideal, sem imperfeições e submetida a uma tensão (f), tem sua tensão aumentada gradativamente até atingir a chamada tensão crítica (f_{cr}), a coluna pode então se manter na posição reta, de equilíbrio instável, ou, havendo uma perturbação mínima, procurar uma nova posição de equilíbrio estável (pós-flambagem elástica), como pode ser observado na Figura 2.2-(a). Já na Figura 2.2-(b) tem-se o exemplo de uma trajetória de equilíbrio estável não-linear de uma barra com imperfeição geométrica inicial. Ao adicionar as propriedades físicas do aço obtém-se a trajetória de equilíbrio estável de pós-flambagem elastoplástica e a tensão última/colapso (f_u), conforme a Figura 2.2-(c).

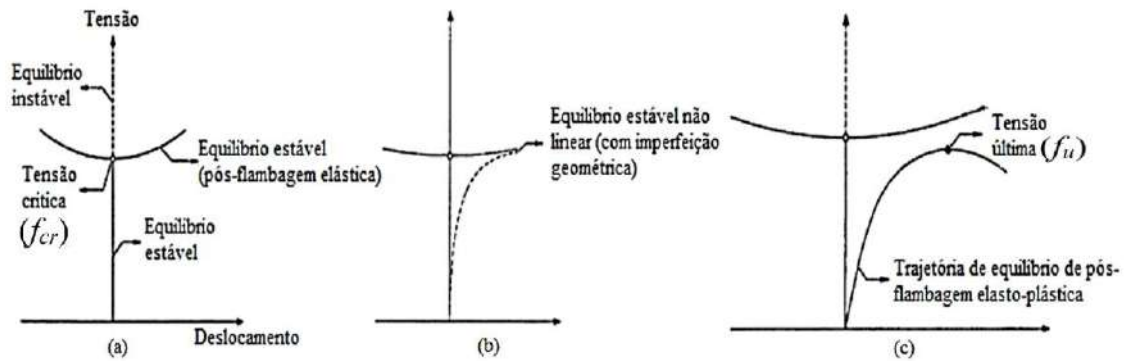


Figura 2.2: Trajetória de equilíbrio para barra (a) ideal, (b) com imperfeição e material elástico e (c) com imperfeição e material elastoplástico. Fonte: REIS e CAMOTIM [20].

2.1.2 Análise de estabilidade elástica

A partir da análise de estabilidade elástica é possível obter a curva de estabilidade da seção transversal. Essa curva é a representação gráfica das forças críticas de flambagem elástica de colunas e vigas que descrevem o PFF analisado em função do comprimento (L) da peça estrutural. Dessa forma, é possível adquirir a curva de estabilidade através de programas como: CUFSM [21], baseado no método das faixas finitas e o GBTul [19], baseado na teoria generalizada de vigas, sendo esse utilizado na presente dissertação. A representação gráfica do comportamento da força crítica dos

perfis é de grande utilidade para dimensionar estruturas prevendo o modo de flambagem pelo qual o perfil perderá estabilidade.

O primeiro ponto mínimo da curva de estabilidade corresponde a tensão crítica da flambagem local, a flambagem distorcional ocorrerá para “comprimentos intermediários”, ou seja, corresponderá ao segundo mínimo e os maiores comprimentos estão associados ao colapso devido a flambagem global, conforme mostra HANCOCK *et al.* [8]. A Figura 2.3 apresenta para fins ilustrativos uma curva genérica de estabilidade (em escala logarítmica).

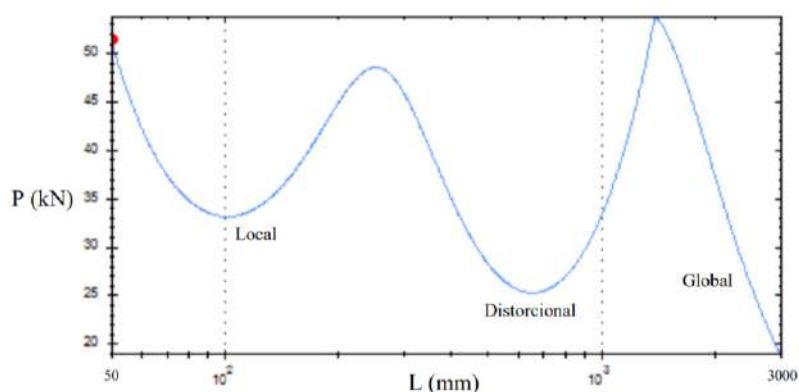


Figura 2.3: Curva de estabilidade genérica de colunas em PFF sob compressão axial.

2.1.3 Flambagem de PFF sob compressão axial

Devido as suas paredes finas e esbeltas, as colunas de PFF sob compressão axial ficam propensas a desenvolverem três fenômenos de instabilidade, nomeados de flambagem local, distorcional e global (flexão, torção e flexo-torção). A flambagem local é caracterizada por apresentar flexão das chapas constituintes do perfil, sem o deslocamento ou mudanças de ângulos das arestas de encontros das chapas que compõem o mesmo, o comprimento de semi-onda desse modo de flambagem é curto. A flambagem distorcional se diferencia da local pois não ocorre a conservação da posição original dos cantos dobrados, sendo caracterizada pela abertura e fechamento das mesas do perfil. O comprimento de semi-onda produzido é maior que o da flambagem local. A instabilidade global é gerada pelo fenômeno de flexão na maior ou menor inércia, torção ou uma combinação de flexão e torção (flexo-torção). No caso de flexão, ocorre o movimento da seção transversal com amplitudes diferentes ao longo do comprimento da peça estrutural

e no caso da flexo-torção, é ocasionada pela combinação da torção (modo 4) e a flexão na maior inércia (modo 2) (ver Figura 2.4).

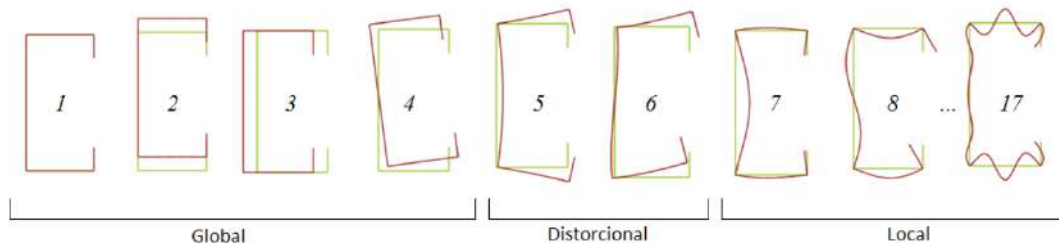


Figura 2.4: Modos de deformação gerados via GBTul [19].

2.2 Métodos numéricos

A análise numérica é o estudo de algoritmos de aproximação para a solução de problemas matemáticos. Neste item são apresentados e definidos os dois métodos numéricos empregados nesta dissertação. Está além do escopo desta pesquisa explicar o funcionamento técnico dos métodos.

2.2.1 Método dos elementos finitos (MEF)

O MEF é, seguramente, o método numérico mais utilizado na resolução de problemas em engenharia. Essa afirmação é corroborada pela existência e comercialização, em variadíssimos domínios científicos e tecnológicos, de um elevado número de programas de cálculo automático que o empregam. Em problemas conservativos, o MEF pode ser visto como a aplicação do método de análise Rayleigh-Ritz aos vários “elementos finitos” em que a estrutura se admite “discretizada”, ou seja, subestruturas com geometrias simples e convenientes, ligadas entre si por “nós” (REIS e CAMOTIM [20]).

No MEF, a geometria submetida aos carregamentos e as restrições é subdividida em pequenas partes, denominadas elementos, os quais passam a representar o domínio do problema. Essa divisão da geometria em pequenos elementos permite resolver problemas complexos, tornando-os em problemas simples. Os elementos são conectados por nós e a esse conjunto dá-se o nome de malha, como pode ser visto nas Figuras 2.5 e 2.6. Os

elementos finitos podem se apresentar em diferentes malhas, como por exemplo triangulares ou retangulares.

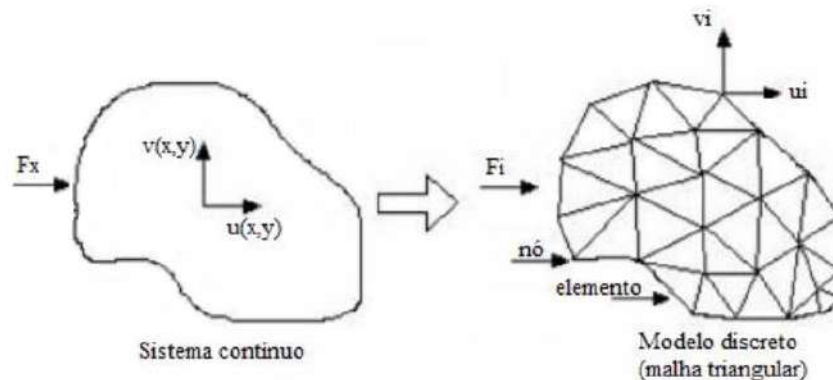


Figura 2.5: Representação genérica de um problema via MEF. Fonte: REIS e CAMOTIM [20].

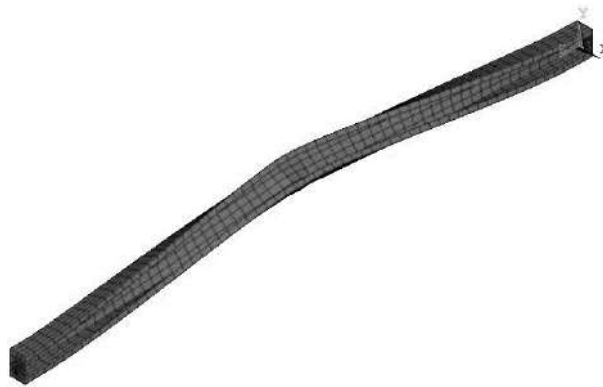


Figura 2.6: Ilustração da discretização de uma coluna bi engastada via MEF, com malha retangular.

Nesta pesquisa, a análise de estabilidade da flambagem e da pós-flambagem constituem os procedimentos envolvidos na utilização do programa ANSYS [17], sendo esse, indispensável para a modelagem das condições de apoio, de carregamento, do comportamento do material, da discretização do perfil e da implementação das imperfeições geométricas iniciais. Em todas as análises via MEF foi utilizado o elemento de casca tipo *SHELL181*, que é adequado para analisar estruturas de paredes finas. Ele possui quatro nós (Nós I, J, K e L) e seis graus de liberdade por nó, sendo três translações (x, y, z) e três rotações (x, y, z). A Figura 2.7 permite visualizar a geometria, localização dos nós e o sistema de coordenadas para esse elemento específico.

A escolha do tamanho da malha do elemento também é um fator importante na modelagem. Malhas refinadas geram resultados precisos, entretanto requerem mais memória do computador e tempo de processamento.

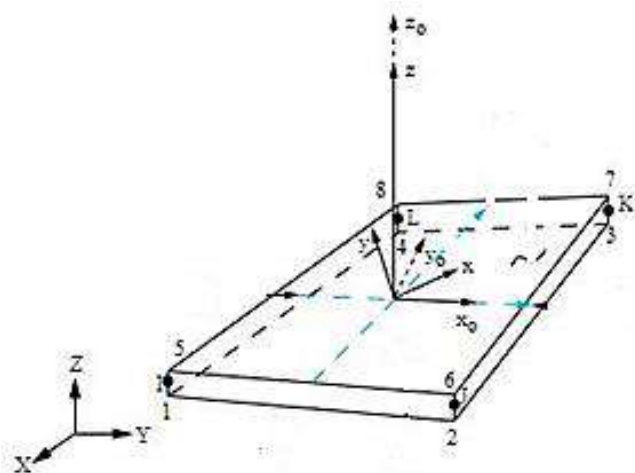


Figura 2.7: Elemento *SHELL181*. Fonte ANSYS [17].

2.2.2 Teoria Generalizada de vigas (GBT)

As estimativas dos modos de flambagem e da tensão crítica foram realizadas durante a análise de flambagem por meio do programa GBTul [19], este é baseado na Teoria Generalizada de Vigas (em inglês – *generalized beam theory* GBT) e desenvolvido por BEBIANO *et al.* [19]. Esse método é uma ferramenta eficiente e elegante para as análises de flambagem, tendo como diferencial a possibilidade de decomposição modal, característica indispensável para o desenvolvimento do estudo de flambagem realizado nesta dissertação. Tem-se ainda, da análise de flambagem realizada via GBTul [19], a curva de estabilidade da seção transversal, que relaciona a força crítica de flambagem (P_{cr}) com o comprimento do perfil (L), conforme pode ser observado na Figura 2.3.

2.3 Estado da arte via MRD para flambagem global por flexo-torção

O MRD proposto inicialmente por SCHAFER e PEKÖZ [7], baseado em uma ideia original de HANCOCK *et al.* [8], atualmente é considerado um dos melhores métodos para dimensionar estruturas constituídas de paredes finas. O MRD que combina a parábola de Johnson (ZIEMIAN [9]) com a parte inferior da curva de Euler, foi desenvolvido devido a pesquisa de PEKÖZ e SÜMER [22], pela qual mostraram que a curva, já utilizada no contexto de aço laminado a quente em edificações, forneceu previsões de melhor qualidade do que aquele adotado para PFF. Esses autores basearam suas afirmações em 214 resultados experimentais a respeito de compressão axial de colunas de PFF com seções transversais variadas apresentado índice de esbeltez global

baixo e moderado, caracterizados por $\lambda_G \leq 1,50$. Sua aplicação em relação a curva de resistência global de PFF ($f_{n.G}$) é apresentado na Eq. (2.1).

$$f_{n.G} = \begin{cases} \sigma_y \left(0,658 \lambda_G^2 \right) & \text{para } \lambda_G \leq 1,5 \\ \sigma_y \left(\frac{0,877}{\lambda_G^2} \right) & \text{para } \lambda_G > 1,5 \end{cases} \quad (2.1)$$

onde σ_y é a tensão de escoamento do aço e λ_G corresponde ao índice de esbeltez global (Eq. 2.4). Este índice é um importante parâmetro para lidar com a flambagem de PFF, pois leva em consideração as forças críticas e a força relativa ao escoamento do aço. O índice de esbeltez para os modos de flambagem local, distorcional e global é dado pelas Eqs. (2.2), (2.3) e (2.4), segundo a ABNT NBR 14762 [4].

$$\lambda_L = \sqrt{\frac{P_y}{P_{cr.L}}} \quad (2.2)$$

$$\lambda_D = \sqrt{\frac{P_y}{P_{cr.D}}} \quad (2.3)$$

$$\lambda_G = \sqrt{\frac{P_y}{P_{cr.G}}} \quad (2.4)$$

sendo P_y , $P_{cr.L}$, $P_{cr.D}$ e $P_{cr.G}$ a força de escoamento ($P_y = A \cdot \sigma_y$; onde A é a área da seção transversal), força crítica de flambagem local, distorcional e global (devido a flexão, torção ou flexo-torção), respectivamente. Vale a pena mencionar, que esta dissertação aborda colunas com falha global por flexo-torção exclusivamente, portanto foi adotada a nomenclatura de λ_{FT} , correspondendo ao índice de esbeltez para flexo-torção. Este índice é apresentado na Eq. (2.4), onde $P_{cr.FT}$ é a força crítica global por flexo-torção.

$$\lambda_{FT} = \sqrt{\frac{P_y}{P_{cr.FT}}} \quad (2.4)$$

No contexto de investigação numérica em relação a PFF submetidos a flambagem global, DINIS *et al.* [10,11] concluíram que a atual curva de resistência global do MRD

subestima, em grandes proporções, a capacidade de várias colunas com colapso por flexo-torção, portanto ocasiona dimensionamentos imprecisos. As estimativas da resistência de colunas afetadas pela interação entre os modos de flambagem, no qual tenha participação da flambagem global, estão crucialmente relacionadas com a qualidade e precisão da curva global do MRD. Além disso, os autores mencionaram que a estimativa da resistência global em colunas com colapso por modos flexionais (flexão na maior inércia e flexão na menor inércia), que correspondem a flambagem global, resultaram em valores precisos. Como a curva atual foi desenvolvida no contexto de aço laminado a quente, que normalmente apresenta seções transversais de dupla simetria, no qual os colapsos ocorrem por flexão, era esperado que sua previsão fosse precisa. Dessa forma, com o objetivo de otimizar a atual curva de resistência global referente a colunas sob colapso por flexo-torção, uma extensa investigação numérica foi realizada por DINIS *et al.* [14,15].

A mais recente investigação numérica (DINIS *et al.* [15]) foi realizada com seções transversais variadas e condições de apoio distintas, abrangendo baixos ($\leq 0,75$), moderados ($0,75 \leq 1,5$) e elevados ($\geq 1,5$) índices de esbeltez. As Figuras 2.9-(a) até 2.9-(g) comparam a atual curva de resistência global do MRD ($f_{n.G}$) com a razão entre a tensão última (f_u), obtida pela análise numérica com colunas sob colapso por flexo-torção, com a tensão de escoamento do aço (σ_y). Já as Figuras 2.10-(a) até 2.10-(g) comparam a razão entre a $f_u/f_{n.G}$ para sete seções transversais (Figura 2.8), onde suas nomenclaturas são baseadas em seus nomes em inglês: *U* (*plain channels*), *C* (*lipped channels*), *H* (*hat-sections*), *R* (*rack sections*), *RLC* (*return lipped channels*), *WSC* (*web stiffened lipped channels*) e *WFSC* (*web flange stiffened lipped channels*). A ABNT NBR 6355 [23] estabelece os requisitos exigíveis dos perfis estruturais de aço formados a frio, com seção transversal aberta e os nomeiam como: *U* (*U simples*), *C* (*U enrijecido*), *H* (*cartola*), as demais seções não são contempladas na norma, todavia podem ser classificadas como *R* (*rack*), *RLC* (*rack invertido*), *WSC* (*U enrijecido com enrijecedor de mesa*) e *WSFC* (*U enrijecido com enrijecedores de mesa e flange*).

Foi observado que os valores (i) são bem alinhados ao longo da curva analisada para índice de esbeltez baixo e moderado ($\lambda_G \leq 1,5$) e (ii) ficam acima da curva com uma grande dispersão (sendo a dispersão crescente) para esbeltez alta ($\lambda_G > 1,5$). Além disso, as disposições dos resultados apresentam comportamento similar para os conjuntos de colunas abordadas. Com essas observações, foi proposto otimizar a atual curva global

do MRD, com o objetivo de melhorar as previsões de falhas devido a flambagem global sob flexo-torção abrangendo $\lambda_G > 1,5$, dessa forma foi mantida a parábola de Johnson que corresponde ao índice de esbeltez $\lambda_G \leq 1,5$.

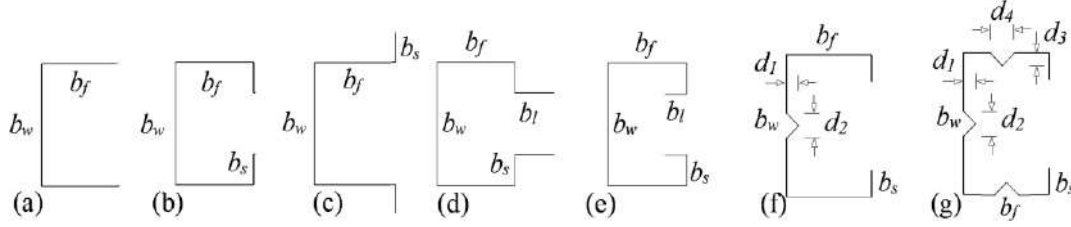


Figura 2.8: Seções transversais consideradas: (a) U, (b) C, (c) H, (d) R, (e) RLC, (f) WSC e (g) WFSC. Fonte: DINIS *et al.* [15].

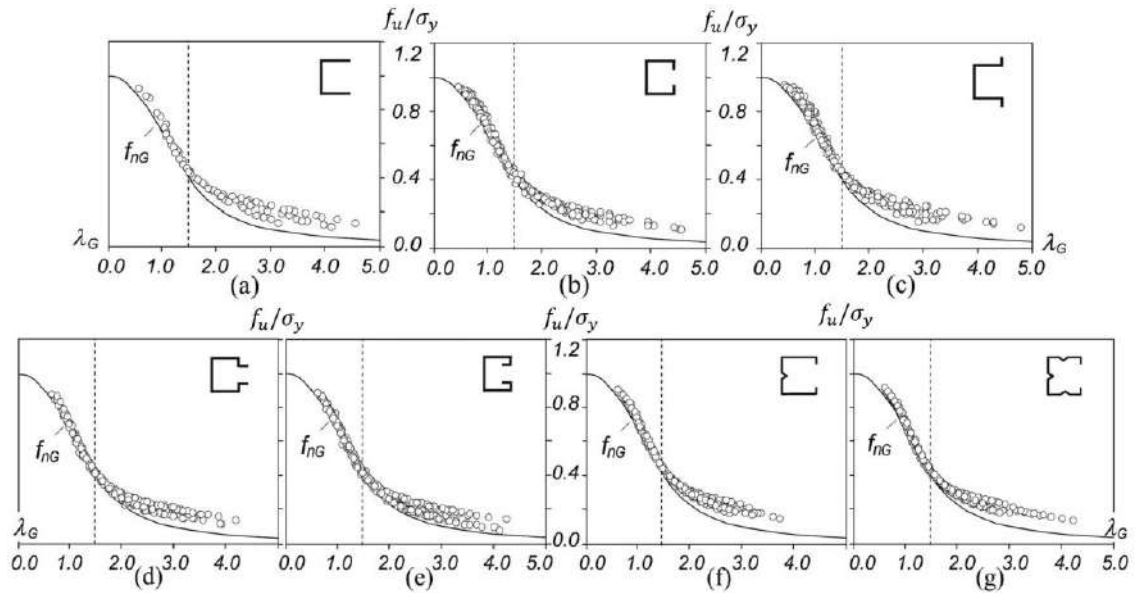


Figura 2.9: Comparação entre f_u / σ_y vs λ_G nomeados de (a) perfil U, (b) perfil C, (c) perfil H, (d) perfil R, (e) perfil RLC, (f) perfil WSC, e (g) perfil WFSC. Fonte: DINIS *et al.* [15].

A busca pela melhoria levou os autores a propor uma nova abordagem para a curva de dimensionamento da resistência global para flexo-torção, aqui nomeada de MRD modificado ($f_{n,FT}$) envolvendo um conjunto de curvas de forças dependentes de um parâmetro geométrico da seção transversal (β_{FT}), correlacionando área bruta da seção, constante de empenamento e os momentos de inércia principais (maior e menor). Vale a pena mencionar, que nos dias atuais, a constante de empenamento pode ser numericamente calculada com facilidade, por meio de códigos livremente disponíveis como CUFSM [21] ou GBTul [19]. A nova expressão proposta por [15] é apresentada nas Eqs. (2.6) a (2.9).

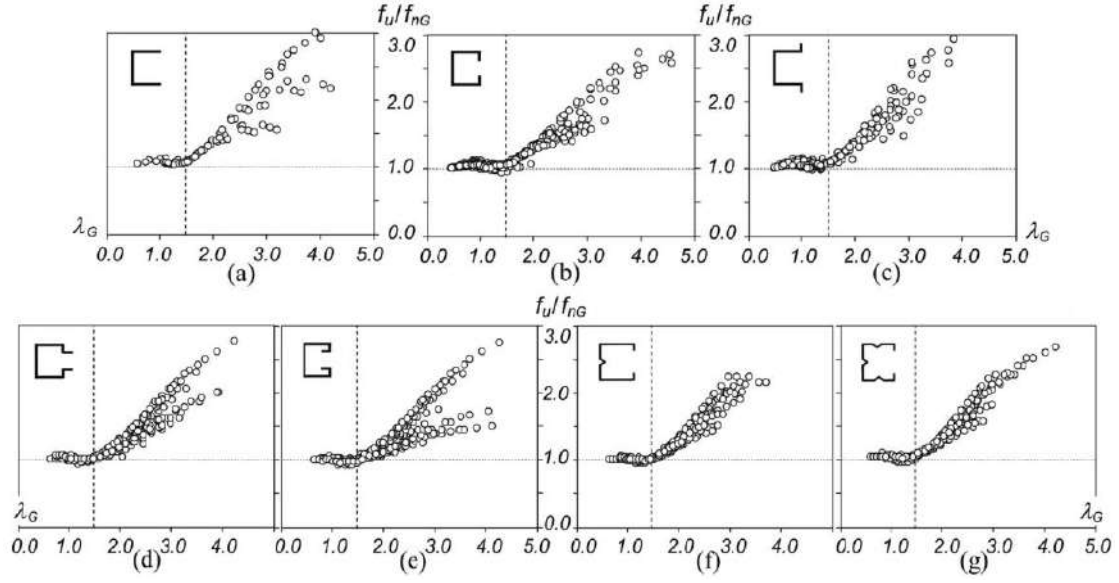


Figura 2.10: Comparação entre f_u / f_{nG} vs λ_G nomeados de (a) perfil U, (b) perfil C, (c) perfil H, (d) perfil R, (e) perfil RLC, (f) perfil WSC, e (g) perfil WFSC. Fonte: DINIS *et al.* [15].

$$f_{n,FT} = \begin{cases} \sigma_y \left(0,658 \lambda_{FT}^2 \right) & \text{para } \lambda_{FT} \leq 1,5 \\ \sigma_y \left(\frac{a}{\lambda_{FT}^b} \right) & \text{para } \lambda_{FT} > 1,5 \end{cases} \quad (2.6)$$

onde os parâmetros “a” e “b” são funções expressas por:

$$a = 0,39 \times 1,5^b \quad (2.7)$$

$$b = \begin{cases} 0,06\beta_{FT} + 0,71 & \text{para } \beta_{FT} < 21,5 \\ 2 & \text{para } \beta_{FT} \geq 21,5 \end{cases} \quad (2.8)$$

sendo a Eq. (2.8) aplicada para colunas bi engastadas sob colapso por flambagem global devido a flexo-torção, e o parâmetro β_{FT} é expresso na Eq. (2.9):

$$\beta_{FT} = \frac{I_1 + I_w/A}{I_2} \quad (2.9)$$

onde o maior momento de inércia é representado por I_1 , seguido do menor I_2 e a constante de empenamento com a área bruta da seção transversal são representadas, respectivamente, por I_w e A . Note que para essa versão modificada do MRD (i) as

expressões de “a” e “b” foram obtidas pelo procedimento de ajuste da curva pela estratégia da “tentativa e erro”, (ii) a expressão original do MRD é recuperada quando o parâmetro “ β_{FT} ” for maior/igual que 21,5 (i.e., $a=0,877$ e $b=2$).

Com o intuito de apresentar a qualidade das previsões fornecidas pela curva modificada do MRD ($f_{n,FT}$), é possível observar pela Figura 2.11 os resultados de (f_u/σ_y), referentes as colunas C e R que exibem diferentes valores para β_{FT} e a comparação com a curva modificada e a atual do MRD. A Figura 2.12 compara os resultados da tensão última com a curva modificada ($f_u/f_{n,FT}$). Essa comparação mostra claramente que a curva modificada segue a tendência de f_u/σ_y com maior precisão, fornecendo melhores resultados das tensões últimas de colunas com seções transversais exibindo enrijecedores de borda simples ou duplos (perfil C e R, respectivamente).

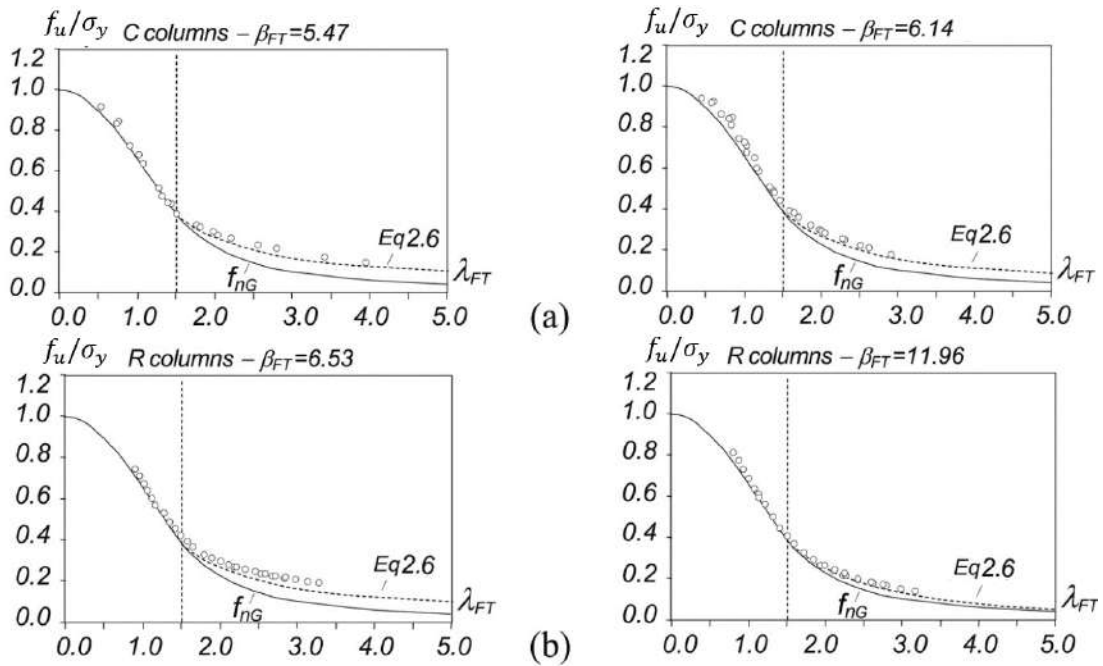


Figura 2.11: Comparação entre a curva modificada, representada pela Eq 2.6, com a curva atual ($f_{n,G}$). (a) perfil C e (b) perfil R. Fonte: DINIS *et al.* [15].

A observação dos resultados levou os pesquisadores a concluírem que esse novo conjunto de curvas de resistência leva a previsões numéricas extremamente precisas para o índice de esbeltez proposto ($\lambda_{FT} > 1,5$), para todas as seções transversais utilizadas. Tendo em vista que foram realizados poucos testes experimentais em PFF sob flambagem global por flexo-torção com $\lambda_{FT} > 1,5$, citando HEVA [18], novos estudos experimentais envolvendo diferentes seções transversais são necessários, a fim de fornecer validação experimental adequada para as curvas de resistências globais por flexo-torção propostas.

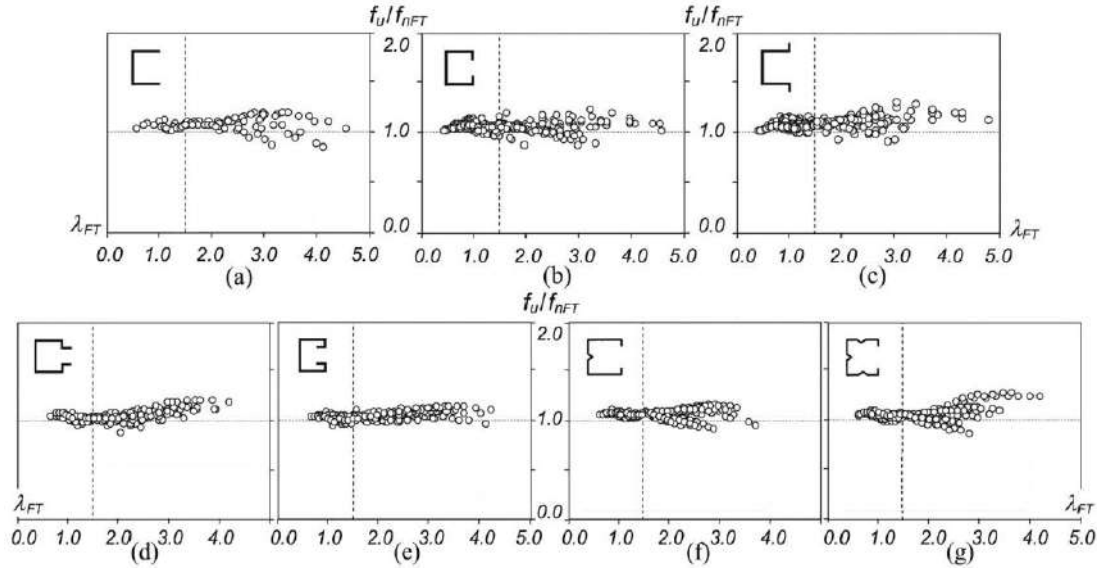


Figura 2.12: Comparação com a curva modificada, $f_u / f_{n,FT}$ vs λ_{FT} nomeados de (a) perfil U, (b) perfil C, (c) perfil H, (d) perfil R, (e) perfil RLC, (f) perfil WSC, e (g) perfil WFSC. Fonte: DINIS *et al.* [15].

GUNALAN e MAHENDRAN [24] também estudaram o comportamento de PFF, exclusivamente seções C com falha por flexo-torção, tendo como base os estudos experimentais de HEVA [18]. Os autores objetivaram a comparação com as atuais normas de dimensionamento ([2,3]), e concluíram que as normas são capazes de prever com satisfação colunas bi engastadas ou rotuladas quando submetidas a flexão e torção, entretanto não no caso da flexo-torção. Dessa forma, propuseram uma nova curva de dimensionamento para flexo-torção, apresentada na Eq. (2.11).

$$f_{n,GM} = \begin{cases} \sigma_y \left(0,7\lambda_G^2 \right) & \text{para } \lambda_G \leq 1,5 \\ \sigma_y \left(\frac{0,8}{\lambda_G^{1,45}} \right) & \text{para } \lambda_G > 1,5 \end{cases} \quad (2.11)$$

A Figura 2.13 apresenta a comparação dos resultados f_u/σ_y vs λ_{FT} entre a norma australiana e a curva $f_{n,GM}$ proposta.

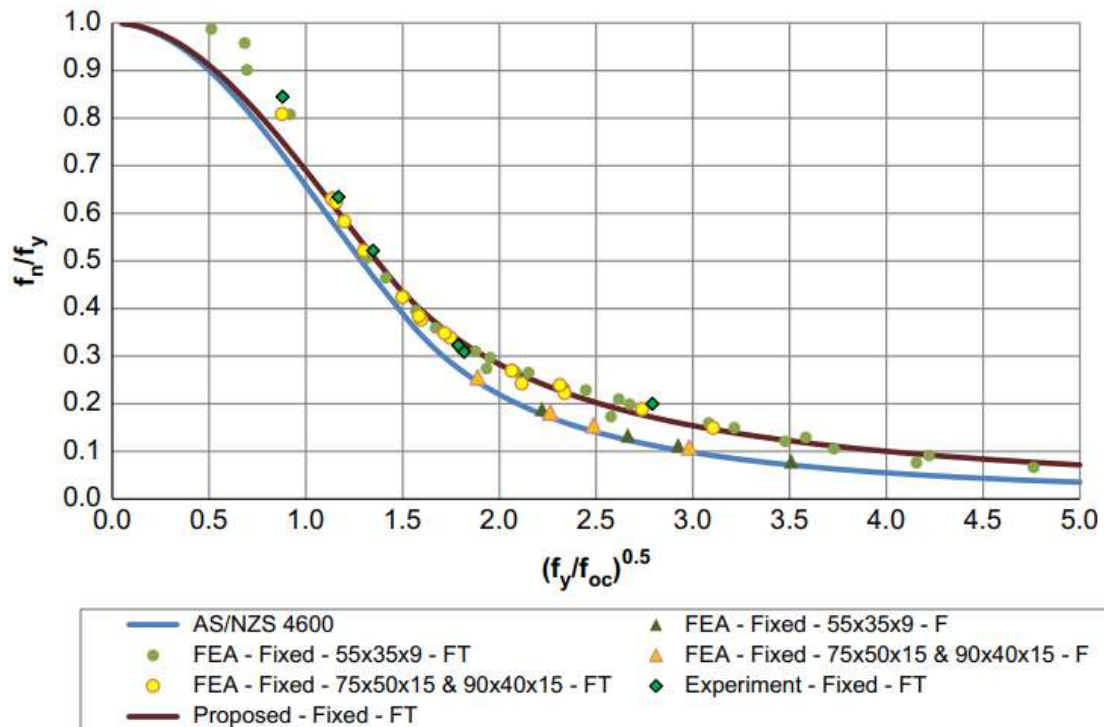


Figura 2.13: Comparação dos resultados com a norma AS/NZS 4600 [3] e a curva proposta por [24] para seção C. Fonte: GUNALAN e MAHENDRAN [24].

2.4 Estado da arte de PFF sob incêndio

A tensão de escoamento do aço (σ_y) e o módulo de elasticidade (E) são as propriedades mecânicas mais importantes no dimensionamento de estruturas de aço sujeitas as variações de temperaturas, como no caso do incêndio. Essas propriedades se deterioraram com o aumento da temperatura. Dessa forma, as propriedades mecânicas variam com a temperatura (T), sendo a “chave” para a segurança contra incêndios de componentes metálicos da edificação. Poucas pesquisas podem ser encontradas na literatura internacional sobre o comportamento global de flambagem de PFF para temperaturas elevadas. O dimensionamento de PFF fornece diretrizes adequadas para colunas sob flambagem para temperatura ambiente/moderada (20/100 °C). Recentemente, a performance de PFF em situação de incêndio tem recebido atenção devido ao aumento do número de casos em que as estruturas são expostas a elevação extrema da temperatura.

RANBY [25] objetivou descobrir os efeitos da temperatura em PFF e como tais efeitos impactam na resistência última das colunas, utilizando o EC3: 1-2 [16] para simular a curva de tensão vs deformação para temperaturas elevadas, criou modelos

computacionais via MEF, porém seus modelos eram limitados para colunas curtas. Os seus resultados mostram que a resistência de acordo com o EC3: 1-2 [16], com redução da tensão de escoamento e módulo de elasticidade é preciso o suficiente para temperaturas elevadas.

OUTINEN *et al.*[26] apresentaram resultados experimentais para desenvolver uma abordagem de dimensionamento de estruturas metálicas para situação de incêndio. O desenvolvimento do aumento da temperatura nas estruturas foi estudado. Os resultados apontaram para uma clara diferença de comportamento entre os aços analisados para temperaturas elevadas, onde dois aços (S355 e S460) apresentaram resultados compatíveis com o EC:3 1-2 [16] e para o aço S350GD+Z foi formulada uma nova abordagem de projeto visando a segurança.

KAITILA [27] analisou as imperfeições geométricas de perfis *C* formados a frio, usando as equações de dimensionamento propostas pelo EC3 :1-3 [28] e o MEF para avaliar a resistência de flambagem a flexão e a força última. As análises foram feitas para temperatura ambiente e elevadas, introduzindo os valores das propriedades mecânicas baseados em testes transientes para temperaturas elevadas. O objetivo desse estudo foi avaliar a utilização da norma de dimensionamento para temperatura ambiente em situação de incêndio e avaliar a escolha das imperfeições iniciais no comportamento estrutural. Os resultados do estudo paramétrico mostraram um padrão constante para a forma como o comportamento estrutural da peça comprimida muda quando as condições iniciais de imperfeição são alteradas. Também foi mostrado que o aumento das imperfeições locais leva a uma baixa redução da resistência, por outro lado, o aumento das imperfeições globais tem mais influência.

FENG *et al.* [29] publicaram um estudo experimental, e uma nova proposta de dimensionamento (FENG *et al.* [30]), para colunas curtas de PFF sob temperaturas elevadas. Os objetivos desses trabalhos são providenciar resultados experimentais sobre o comportamento estrutural, modos de falhas e forças últimas de PFF para temperaturas elevadas com o total de 52 testes em colunas curtas bi engastadas com seção *U* e *C* apresentando furos de serviço ou não (Figura 2.14). Pelos resultados experimentais os autores concluíram que dependendo das imperfeições iniciais, os modos de falha podem ser diferentes, esta observação se aplica tanto para temperatura ambiente quanto elevada; apesar da diferença nos modos de falha, a força última foi quase idêntica para as colunas

e as colunas com os furos de serviço mudam o modo de flambagem que tem efeito significativo na capacidade de carga.

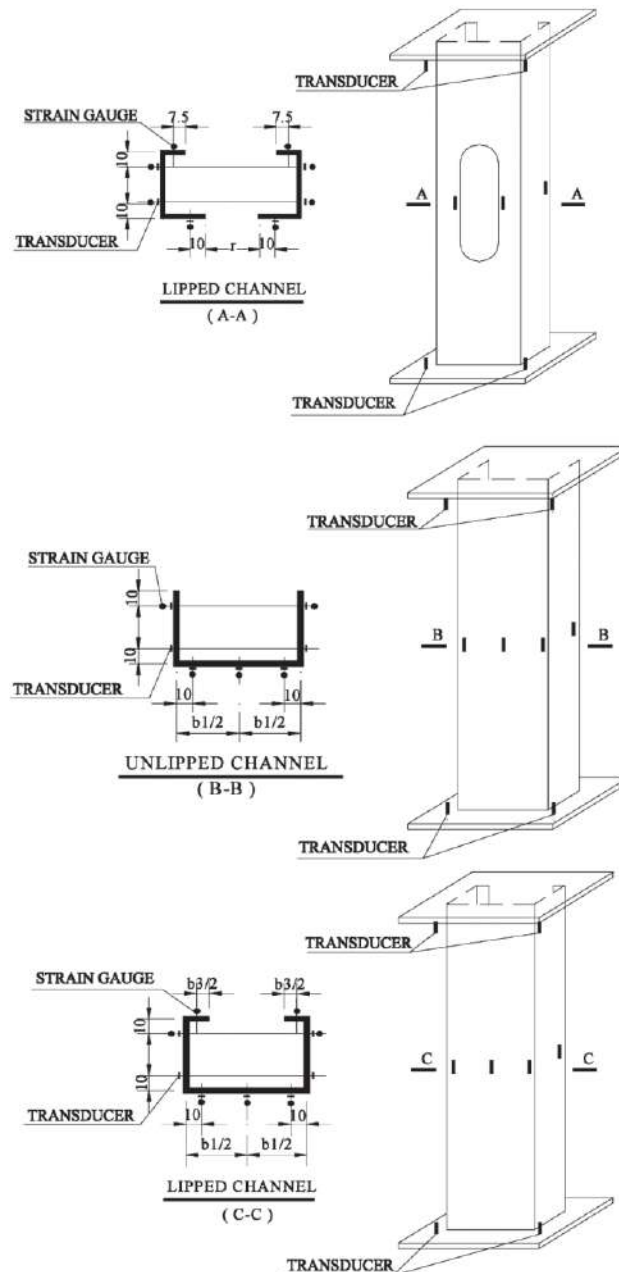


Figura 2.14: Colunas com a localização dos *Strain Gauges* e Transdutores. Fonte: FENG *et al.* [29,30].

LEE *et al.* [31] foram um dos primeiros a publicarem o impacto das temperaturas elevadas nas propriedades mecânicas de PFF com aços de baixa e alta resistência. Dessa forma, os autores realizaram um extenso estudo experimental sobre a deterioração do aço para temperaturas elevadas com o intuito de obter fatores de reduções das propriedades mecânicas precisos para o dimensionamento em situações de incêndio. O modelo do forno utilizado é apresentado na Figura 2.15. Os fatores de redução para a tensão de

escoamento e o módulo de elasticidade, que são os parâmetros mais importantes em uma situação de incêndio, foram apresentados. As equações fornecidas são aplicadas para temperaturas de 20 °C a 800 °C. A curva tensão vs deformação foi comparada com o modelo *Ramberg Osgood* e apresentou resultados satisfatórios.

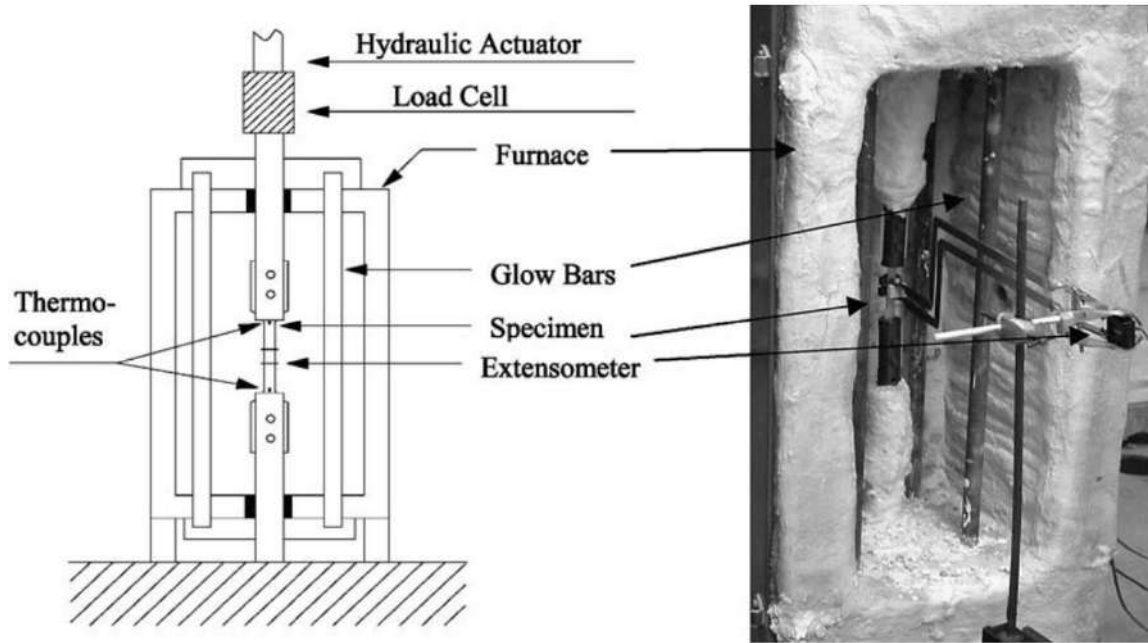


Figura 2.15: Modelo experimental empregado. Fonte: LEE *et al.* [31].

CHEN e YOUNG [32] apresentaram um estudo experimental de PFF para temperaturas elevadas (até 1000 °C), tendo como objetivo investigar as propriedades mecânicas do aço para diferentes temperaturas usando os métodos estacionário e transiente. As propriedades mecânicas para temperaturas elevadas foram determinadas a partir de resultados experimentais (Figura 2.16) de ambos métodos estacionário e transiente, com lâminas de aço com espessura de 1,0 até 1,9 mm, usando dois tipos de aço: G550 ($\sigma_y = 550$ MPa) e G450 ($\sigma_y = 450$ MPa). Os autores compararam a tensão de escoamento do aço (σ_y), módulo de elasticidade (E) e alongamento térmico com as previsões australianas, britânicas e europeias. Portanto, as normas fornecem previsões da tensão de escoamento não seguras para temperaturas elevadas e, também, a previsão do módulo de elasticidade das normas australianas e europeias são conservadoras para os testes no método estacionário, mas normalmente não são conservadoras para o método transiente. Além disso, as equações para força última (P_u) e deformação final do aço são propostas pelos autores, e as previsões são comparadas com os resultados dos testes experimentais, apresentando valores satisfatórios.

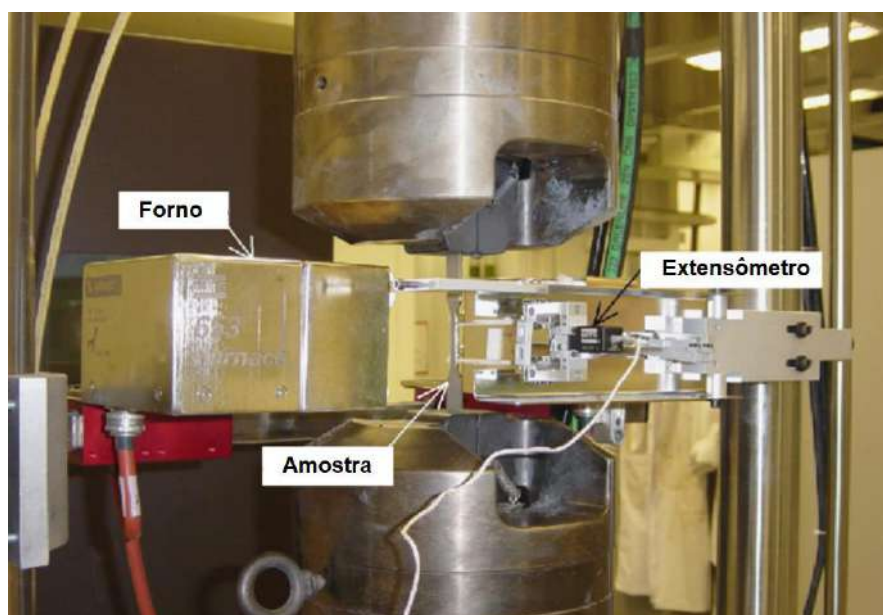


Figura 2.16: Dispositivo de ensaio. Fonte: CHEN e YOUNG [32].

CHEN e YOUNG [33] também estudaram o comportamento estrutural e o dimensionamento de colunas metálicas de PFF submetidas as temperaturas elevadas usando o MEF. Analisaram as forças últimas (P_u) e o encurtamento axial (deslocamento vertical - ν) de perfis C com extremidades bi engastadas. As resistências das colunas obtidas nas análises numéricas foram comparadas com os valores de projeto obtidos pelo Método da Largura Efetiva (MLE) e o MRD, adaptando as propriedades mecânicas para temperaturas elevadas [32]. Os autores concluíram que as resistências das colunas usando o MLE geralmente estão de acordo com os resultados para temperatura ambiente/moderada (20/100 °C) e elevadas, e que o MLE e MRD utilizando as devidas reduções nas propriedades mecânicas, previram de forma conservadora as forças últimas, conforme a Figura 2.17.

RANAWAKA e MAHENDRAN [34] investigaram o comportamento de flambagem distorcional de PFF para temperaturas elevadas. Os autores realizaram mais de 150 testes de compressão axial em temperatura ambiente e elevada, utilizando dois tipos de aço (G250 e G550) que correspondem a baixa e alta tensão de escoamento, respectivamente. Os testes foram conduzidos em seis temperaturas diferentes na faixa de 20 °C a 800 °C, a Figura 2.18 ilustra o forno utilizado. Mais detalhes do estudo experimental e os resultados são apresentados em RANAWAKA [35]. Os resultados de força última foram comparados com as normas [2,3] e apresentaram valores satisfatórios para temperatura ambiente e razoavelmente bem para as temperaturas elevadas quando as reduções das propriedades mecânicas são utilizadas, entretanto alguns casos foram

muito conservadores e outros inseguros, dessa forma, os autores afirmam que melhorias são necessárias.

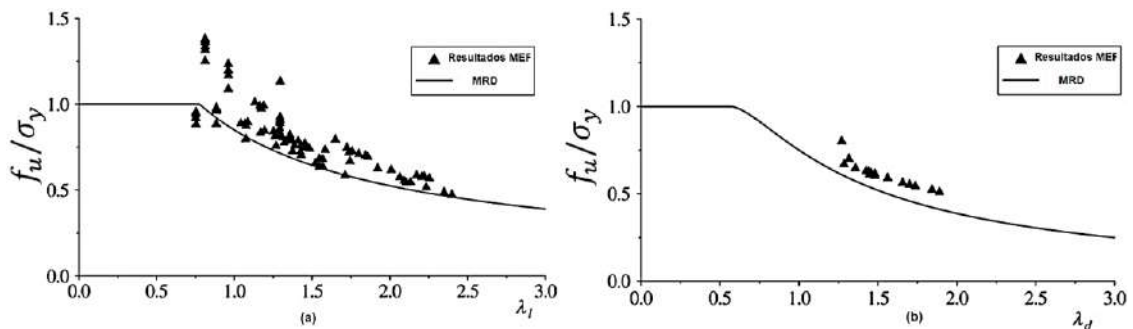


Figura 2.17: Comparação dos resultados de MEF (a) com a curva de flambagem local do MRD e (b) com a curva de flambagem distorcional do MRD. Fonte: CHEN e YOUNG [33].

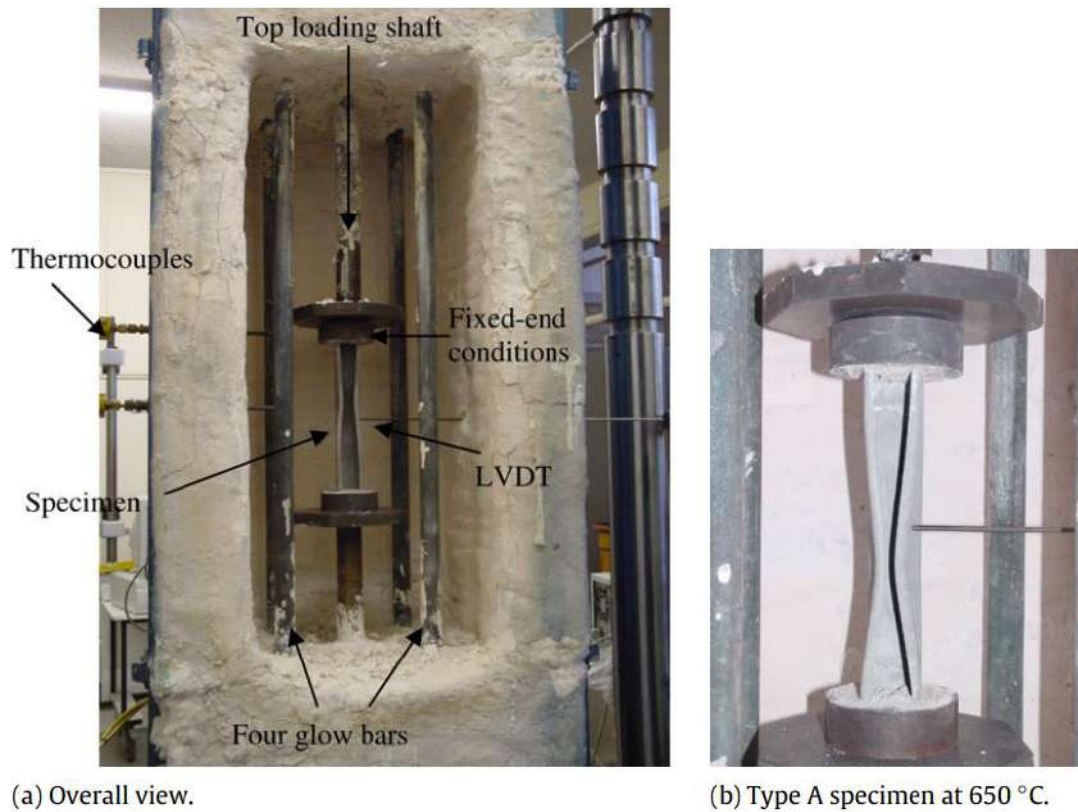


Figura 2.18: Forno utilizado, (a) visão geral e (b) teste a 650 °C. Fonte: RANAWAKA [35].

GUNALAN e MAHENDRAN [36] investigaram a capacidade de flambagem distorcional de colunas de PFF para temperaturas elevadas. A investigação experimental foi realizada com vinte e sete colunas C e também, um modelo em elementos finitos foi desenvolvido e validado com os resultados dos ensaios. Foi observado pelos autores que os PFF foram capazes de readquirir 90% de suas resistências originais quando submetidos

a temperaturas superiores a 500 °C. Os autores também concluíram que as atuais normas de dimensionamentos ([2,3]) e o MRD podem prever razoavelmente bem a força última das colunas, quando os fatores de redução de temperatura são devidamente empregados.

Ainda no campo da flambagem distorcional, LANDESMANN e CAMOTIM [37,38,39,40] reportaram investigações com o MEF sobre o comportamento de pós-flambagem, força última, efeitos do modelo constitucional da dependência da temperatura e dimensionamento de PFF com seções *C* e *R* para temperaturas elevadas. O modelo computacional foi validado através dos resultados experimentais de YU e SCHAFER [41]. Os resultados mais recentes apresentados no estudo de [40] indicaram que a curva de resistência do MRD não é apropriada para prever momentos fletores para temperaturas elevadas, devido a não considerar a não linearidade do material, que ocorre com o aumento da temperatura. As colunas de esbeltez intermediária e baixa foram as mais afetadas.

SHAHBAZIAN e WANG [42] estudaram a flambagem global de PFF para compressão axial sob temperaturas elevadas não uniforme, expondo apenas um lado do perfil ao fogo, via MEF. O modelo foi validado utilizando série de teste em painéis feitos por duas seções distintas de perfis *C* em temperatura ambiente e elevada, testando a força última com diferentes níveis de carga. Os autores concluíram que as análises via MEF puderam simular o comportamento estrutural para temperatura ambiente e elevada, e o MRD pode ser empregado para temperaturas uniformes, entretanto para não uniformes ajustes são necessários e os autores fornecem modificações na equação do MRD. Similarmente a [42], mas voltado ao estudo da flambagem local (SHAHBAZIAN e WANG [43]) e distorcional (SHAHBAZIAN e WANG [44]), os autores propuseram novas equação de dimensionamento, baseado no MRD, para temperaturas não uniformes. Informações sobre o estudo da distribuição da temperatura quando exposto ao fogo por apenas um lado pode ser encontrado em SHAHBAZIAN e WANG [45,46].

KANKANAMGE e MAHENDRAN [47] avaliaram o comportamento estrutural de colunas metálicas com seção transversal em *C* sujeitas a flambagem lateral com torção para temperaturas elevadas via MEF. Foi mostrado que a resistência a flambagem lateral com torção é fortemente influenciada pelo nível de não linearidade das curvas tensão vs deformação para temperaturas elevadas e o nível de não linearidade pode ser representado pela razão entre o limite de proporcionalidade e a tensão de escoamento do aço. Uma nova abordagem de dimensionamento foi proposta pelos autores. Mais informações sobre

o estudo do momento último em PFF para temperaturas elevadas são relatadas em KANKANAMGE [48].

2.4.1 Flambagem global por flexo-torção

GUNALAN *et al.* [49] com base na pesquisa de HEVA [18] examinaram experimentalmente e numericamente, através do *software* ABAQUS via MEF, colunas metálicas de seção *C* bi engastadas e rotuladas para temperaturas elevadas com modo de falha por flexo-torção, entretanto o estudo paramétrico teve pouca amostragem. O objetivo geral da pesquisa foi o de investigar a precisão das atuais normas de dimensionamento de PFF, as quais preveem a resistência de colunas sob compressão. A Figura 2.20 permite visualizar a comparação entre os modos de falhas experimentais e numéricos para diferentes temperaturas, enquanto que a Figura 2.19 apresenta o forno experimental empregado. O modelo numérico utilizado pelos autores foi validado com a comparação dos resultados experimentais de HEVA [18]. Eles concluíram que as principais normas vigentes [2], [3], e MRD (presente em [4]) preveem resistências conservadoras para colunas bi engastadas e que as colunas com esbelteza intermediária e baixa são afetadas consideravelmente pelo aumento da temperatura.

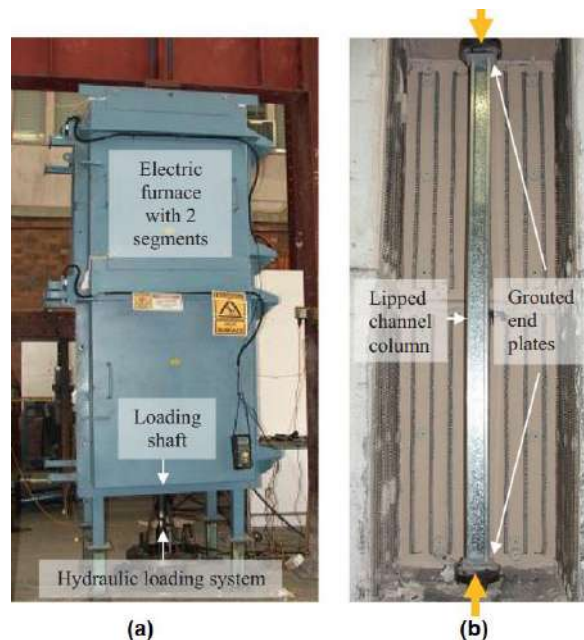


Figura 2.19: (a) Forno elétrico com dois segmentos e sistema de carregamento hidráulico e (b) Coluna C engastada submetida a compressão axial para temperatura ambiente. Fonte: GUNALAN *et al.* [49].



Figura 2.20: Comparação dos modos de falha do experimento com o MEF para (a) temperatura ambiente, (b) 600 °C, (c) 20 °C e (d) 700 °C. Fonte: GUNALAN *et al.* [49].

A norma europeia EC3: 1-2 [16] fornece diretrizes de projeto para a compressão de elementos de perfis de aço. Entretanto, não há diretrizes de projeto específicas para compressão de membros de PFF para temperaturas elevadas. Tal norma apresenta diretrizes iguais para perfis laminados e perfis formados a frio, que originalmente foram desenvolvidos para as Classes 1, 2 e 3 de aço que representam os perfis laminados. A classe 4, PFF, apresenta uma alta condutividade térmica que resulta em baixa resistência ao fogo. Portanto, o comportamento estrutural de PFF sob situação de incêndio tem emergido como uma importante área de pesquisa para melhorar a segurança.

Recentemente, grande progresso no campo de análise térmica-estrutural de PFF foi feito. RANAWAKA e MAHENDRAN [50] mostraram que as diretrizes de dimensionamento para temperatura ambiente podem ser usadas para prever a resistência de PFF para temperaturas elevadas com as devidas reduções nas propriedades mecânicas. A pesquisa apresentou evidências fortes para a área de segurança contra incêndio, porém não foram realizados estudos experimentais de PFF para temperaturas elevadas. As normas de projetos internacionais [2,3] e o MRD fornecem equações para o dimensionamento de colunas de PFF para temperatura ambiente. Como os métodos de cálculos utilizado entre as normas não são idênticos é importante estudar a sua aplicação para projetos que levam em consideração a força última das colunas para temperaturas elevadas.

HEVA [18] apresenta dados experimentais do comportamento estrutural de PFF para temperatura ambiente e elevada, sendo consideradas condições uniformes de temperatura. Em sua pesquisa, os métodos de projeto para temperatura ambiente foram modificados para incluir a redução das propriedades mecânicas para temperaturas elevadas. As reduções foram baseadas nas pesquisas de RANAWAKA e MAHENDRAN [50] e KANKANAMGE e MAHENDRAN [51]. HEVA [18], também apresentou resultados de análises numéricas por elementos finitos, os quais serão utilizados nesta dissertação por motivos de validação do modelo computacional proposto no Capítulo 4. RANAWAKA e MAHENDRAN [50] analisaram experimentalmente aços de baixa espessura com alta resistência ($\sigma_y > 550$ MPa) e desenvolveram fórmulas para temperaturas distintas, adequando os fatores de reduções do módulo de elasticidade (E_T) e tensão de escoamento ($\sigma_{y,T}$) a uma dada temperatura T , sendo apresentadas nas Eqs. (2.12) e (2.13).

$$\sigma_{y,T} = \begin{cases} \sigma_{y,20}(-0,00016T + 1,00032) & \text{para } 20^\circ\text{C} \leq T \leq 200^\circ\text{C} \\ \sigma_{y,20} \left(0,97 - \left(\frac{(T - 200)^{1,81}}{58500} \right) \right) & \text{para } 200^\circ\text{C} \leq T \leq 600^\circ\text{C} \\ \sigma_{y,20}(-0,00037T + 0,3363) & \text{para } 600^\circ\text{C} \leq T \leq 800^\circ\text{C} \end{cases} \quad (2.12)$$

$$E_T = \begin{cases} E_{20} & \text{para } 20^\circ\text{C} \leq T \leq 100^\circ\text{C} \\ E_{20}(-0,0013T + 1,1297) & \text{para } 100^\circ\text{C} < T \leq 800^\circ\text{C} \end{cases} \quad (2.13)$$

onde, $\sigma_{y,20}$ corresponde a tensão de escoamento do aço para temperatura ambiente/moderada (20/100 °C), E_{20} ao módulo de elasticidade para temperatura ambiente/moderada e T é a temperatura em graus Celsius.

As equações de reduções das propriedades mecânicas propostas por KANKANAMGE e MAHENDRAN [51] foram desenvolvidas em testes experimentais realizados em aços de baixa resistência ($\sigma_y < 550$ MPa). As Eqs. (2.14) e (2.15) apresentam os fatores de redução da tensão de escoamento para diferentes aços, enquanto que as reduções para o módulo de elasticidade são as mesmas para ambos os aços (Eq. (2.16)). A Eq. (2.14) é empregada para $\sigma_{y,20} \leq 550$ MPa e $\sigma_{y,20} > 270$ MPa, enquanto que a utilização da Eq. (2.15) abrange $\sigma_{y,20} \leq 270$ MPa.

$$\sigma_{y,T} = \begin{cases} \sigma_{y,20} \left[1 - \frac{(T-20)^{4,56}}{(10^{10} \times T)} \right] & \text{para } 20^\circ\text{C} \leq T < 300^\circ\text{C} \\ \sigma_{y,20} \left(0,95 - \left(\frac{(T-300)^{1,45}}{7,76 \times T} \right) \right) & \text{para } 300^\circ\text{C} \leq T < 600^\circ\text{C} \\ \sigma_{y,20} (-0,0004T + 0,35) & \text{para } 600^\circ\text{C} \leq T \leq 800^\circ\text{C} \end{cases} \quad (2.14)$$

$$\sigma_{y,T} = \begin{cases} \sigma_{y,20} (-0,0005T + 1,01) & \text{para } 20^\circ\text{C} \leq T \leq 200^\circ\text{C} \\ \sigma_{y,20} [25 (1,16 - T^{0,022})] & \text{para } 200^\circ\text{C} < T \leq 800^\circ\text{C} \end{cases} \quad (2.15)$$

$$E_T = \begin{cases} E_{20} (-0,000833T + 1,0167) & \text{para } 20^\circ\text{C} \leq T \leq 200^\circ\text{C} \\ E_{20} (-0,00135T + 1,1201) & \text{para } 200^\circ\text{C} < T \leq 800^\circ\text{C} \end{cases} \quad (2.16)$$

Tabela 2.1: Fatores de redução térmico para a curva tensão vs deformação de aço sob temperaturas elevadas, segundo EC3-1.2 [16]

T(°C)	$k_{y,T}$	$k_{p,T}$	$k_{E,T}$
20	1	1	1
200	0,89	0,807	0,9
300	0,78	0,613	0,8
400	0,65	0,42	0,7
500	0,53	0,36	0,6
600	0,3	0,18	0,31
700	0,13	0,075	0,13
800	0,07	0,05	0,09

O EC3-1.2 [16] fornece diretrizes para o dimensionamento de membros de aço submetidos a compressão axial. Essas diretrizes são referentes as Classes 1, 2 e 3 que correspondem a perfis de aço laminados. Entretanto, no caso da Classe 4, PFF, as mesmas diretrizes são recomendadas com algumas limitações. Essa norma também fornece fator de redução térmica distinto para a Classe 4, referente a tensão de escoamento ($k_{y.T}$), os demais fatores ($k_{p.T}$ e $k_{E.T}$), são referentes, respectivamente, ao limite de proporção e ao módulo de elasticidade, sendo os mesmos utilizados por todas as classes de aço. Os fatores são fornecidos pela Tabela 2.1.

A curva de tensão vs deformação, utilizada por HEVA [18] na modelagem por elementos finitos, é baseada no modelo de *Ramberg Osgood Stress Strain*, onde ε_T é a deformação correspondente a tensão fornecida f_T a uma dada temperatura (T). Os índices E_T e $\sigma_{y.T}$ são o módulo de elasticidade e tensão de escoamento do aço, respectivamente, e η_T e β são dois parâmetros criados para incorporar os efeitos térmicos e o grau de resistência do aço, respectivamente. O parâmetro β possui valor de 0,86 para baixa resistência, enquanto que utiliza 1,5 para alta resistência. O modelo de *Ramberg Osgood* calcula a deformação a partir das tensões solicitadas, tendo seu modelo apresentado nas Eqs. (2.17) e (2.18).

$$\varepsilon_T = \left(\frac{f_T}{E_T} \right) + \beta \left(\frac{\sigma_{y.T}}{E_T} \right) \left(\frac{f_T}{\sigma_{y.T}} \right)^{\eta_T} \quad (2.17)$$

$$\eta_T = (-3,05 \times 10^{-7} \times T^3) + (0,0005 \times T^2) - (0,2615 \times T) + 62,653 \quad (2.18)$$

O EC3-1.2 [16] apresenta sua própria versão das curvas de tensão vs deformação, sendo abordado no Capítulo 4. O presente trabalho adotou o modelo *Ramberg Osgood* para as curvas de tensões vs deformações, juntamente com os fatores de reduções propostos por [50] e [51] para a validação do modelo numérico. O EC3-1.2 [16] foi utilizado para o estudo paramétrico abordado no Capítulo 4.

3 Análise de estabilidade

Este capítulo apresenta os critérios adotados para a seleção das colunas e os resultados das análises de flambagem. As propriedades geométricas das seções e as participações modais são apresentadas em forma de tabelas, também, as curvas de estabilidades para as geometrias selecionadas são ilustradas.

3.1 Seleção de colunas

A primeira etapa da pesquisa consistiu na seleção cuidadosa das seções transversais com seus comprimentos para serem analisadas sob diferentes temperaturas. As colunas metálicas em PFF estão sujeitas a (i) sete seções transversais distintas com cinco geometrias por seção, apresentadas na Figura 2.8(a)-(g), onde suas nomenclaturas são baseadas em seus nomes em inglês: *U* (*plain channels*), *C* (*lipped channels*), *H* (*hat-sections*), *R* (*rack-sections*), *RLC* (*return lipped channels*), *WSC* (*web-stiffened lipped channels*) e *WFSC* (*web-flange-stiffened lipped channels*); (ii) compressão axial centrada, (iii) oito temperaturas uniformes ($T=20/100, 200, 300, 400, 500, 600, 700$ e $800\text{ }^{\circ}\text{C}$), (iv) modelo constitutivo do aço referente ao EC3-1.2 [16] (as imperfeições geométricas iniciais são igualmente levadas em conta nas análises), (v) cinco tensões de escoamento ($\sigma_y = 75, 150, 300, 450$ e 600 MPa) selecionadas para cobrir grandes faixas de esbeltez e (vi) seis comprimentos. As dimensões dos enrijecedores intermediários nas seções *WSC* e *WFSC* são $d_1 = d_2 = 10\text{ mm}$ e $d_3 = d_4 = 20\text{ mm}$.

O procedimento de seleção das colunas envolveu sequências de análises de flambagem elástica pela estratégia da “tentativa e erro” utilizando o código GBTul [19]. Devido as suas características exclusivas de análise, essa ferramenta permite a decomposição dos modos de deformação, permitindo obter geometrias com modo crítico de flambagem global sob flexo-torção, com o intuito de satisfazer os seguintes requisitos:

- (i) Geometrias e comprimentos de perfis comumente utilizadas na prática com modo de flambagem e colapso “puramente” global devido a flexo-torção.
- (ii) Força crítica de flambagem global por flexo-torção ($P_{cr,FT}$) e consideravelmente distante que os valores das forças críticas distorcionais ($P_{cr,D}$) e locais ($P_{cr,L}$).

As geometrias selecionadas (b_w , b_f , b_s , b_l , t – ver representação esquemática na Figura 3.1) e os comprimentos são informados nas Tabela 3.1 e 3.2, respectivamente, que também apresenta a área (A), maior (I_I) e menor (I_{II}) momentos de inércia, constante de empenamento da seção transversal (I_w) e o valor do parâmetro adimensional β_{FT} – valores considerando a linha média da seção transversal.

Para fins ilustrativos, as curvas de estabilidade são exibidas nas Figuras 3.2 e 3.3, mostrando a variação $P_{cr,T}$ (força crítica de flambagem elástica para diferentes temperaturas) em relação ao comprimento (em escala logarítmica). Nota-se que: três temperaturas são apresentadas (ambiente/moderada, referente a 20/100 °C, e elevadas, referentes a 400 e 600 °C), os seis comprimentos (L_1 - L_6) são indicados e todas as forças de flambagem foram calculadas para $E_{20}=210$ GPa (módulo de elasticidade a temperatura ambiente) e $\nu=0.3$ (coeficiente de Poisson, assumido independente da temperatura). Vale a pena destacar que todas as curvas para temperaturas elevadas são obtidas pela translação vertical da curva mais alta (ambiente), de forma proporcional, sendo dependente exclusivamente da degradação do módulo de elasticidade produzida pela elevação da temperatura, segundo o EC3:1-2 [16]. Também é exibido o modo crítico de flambagem global por flexo-torção para L_1 .

As Figuras 3.4 e 3.5 exibem todos os modos de deformação, para fins ilustrativos, das seções C e R via aplicação do código GBTul [19]. Reitera-se que a flambagem global por flexo-torção corresponde a interação entre os modos 2 (flexão na maior inércia) e 4 (torção), onde a flambagem global é caracterizada pelos modos de 2 a 4, a distorcional de 5 a 6 e a local de 7 a 13 para a seção C , enquanto que para a R , a flambagem global corresponde aos modos de 2 a 4, a distorcional de 5 a 8 e a local de 9 a 17.

Tabela 3.1: Geometrias das colunas, com valores de b_w , b_f , b_s , b_l , t , A , I_I , I_{II} e I_w (mm, mm², mm⁴ e mm⁶).

Coluna	b_w	b_f	b_s	b_l	t	A	I_I ($\times 10^4$)	I_{II} ($\times 10^4$)	I_w ($\times 10^6$)	β_{FT}
U_1	100	60	-	-	2,0	428	71,4	15,4	259,4	8,5
U_2	100	80	-	-	2,0	508	90,6	34,2	577,7	5,9
U_3	100	100	-	-	2,0	588	109,8	62,7	1077,5	4,7
U_4	100	110	-	-	3,0	933	173,8	118,5	2014,1	3,3
U_5	100	120	-	-	3,0	993	188	150,5	2577,6	2,9
C_1	60	55	11	-	1,2	224,6	14,7	9,35	79,5	5,4
C_2	100	60	10	-	2	464	78,5	21,4	405,1	7,7
C_3	140	70	10	-	3	864	274,1	50,1	1751,7	9,5
C_4	150	100	10	-	4	1416	543,6	164,4	6431,4	6,1
C_5	80	45	11	-	1,6	296,9	31,6	8,3	110,6	8,4
H_1	170	80	20	-	2,0	724	365,8	64,3	2639,3	11,4
H_2	100	60	10	-	2,0	464	81,72	21,4	320,3	7,1
H_3	120	80	15	-	3,0	864	218,3	67,1	1495,5	5,8
H_4	140	70	10	-	3,0	864	279,9	50,1	1533,7	9,2
H_5	150	100	10	-	4,0	1416	551,1	164,4	5873,4	5,8
R_1	80	50	15	20	1	245	24,9	13,2	299,7	11,2
R_2	150	110	23	20	2,4	1065,6	411,8	213,4	13489	7,8
R_3	67	35	10	20	0,8	154,4	10,9	4,8	66,1	11,1
R_4	120	60	20	30	1,5	498,7	110,8	42,6	1962	11,8
R_5	110	100	20	15	2	740	157,5	117,3	4395,2	6,4
RLC_1	67	35	10	20	0,8	154,4	10,9	2,7	40,4	13,8
RLC_2	80	50	15	20	1	245	24,9	9,3	231,3	12,9
RLC_3	110	100	20	15	2	740	157,5	108,7	4113,4	6,6
RLC_4	150	110	23	20	2,4	1065,6	411,8	192,4	12251, 1	8,2
RLC_5	200	105	12	15	2,3	1040,7	702,7	156,3	12102, 2	11,9
WSC_1	110	90	15	-	4	1249,2	255,8	124,6	2991,6	3,9
WSC_2	100	70	20	-	3	828,8	134,9	55,4	1366,9	5,4
WSC_3	130	70	20	-	2,5	770,7	208,4	51,8	1958,2	8,9
WSC_4	140	128	12	-	3	1248,8	441,6	245,6	8837,9	4,7
WSC_5	180	90	10	-	2,5	945,7	492,4	87,9	5110,2	11,7
$WFSC_1$	170	130	13	-	3,5	1633	820,4	321,2	16054, 9	5,6
$WFSC_2$	150	110	13	-	2,4	987,1	383,9	142,8	5685,3	6,7
$WFSC_3$	120	90	13	-	1,2	415,3	103,6	41,9	1116,5	8,9
$WFSC_4$	160	100	13	-	3	1196,6	509,9	140,5	6249,2	7,4
$WFSC_5$	180	90	10	-	2,5	987,2	512,9	89,5	4919,1	11,3

Tabela 3.2: Comprimentos selecionados das colunas com valores em *mm*.

Coluna	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6
U_1	3200	3500	4000	4500	5000	5500
U_2	4400	5000	5500	5800	6000	6200
U_3	5500	5800	6200	6500	6800	7000
U_4	5000	5200	5400	6000	6200	6400
U_5	5700	6000	6250	6500	6750	7100
C_1	1700	2380	3060	3500	4400	5100
C_2	2380	2700	3060	3500	4400	5100
C_3	3000	3500	4000	4500	5000	5500
C_4	4000	4500	5000	5500	6000	6500
C_5	2000	2500	3000	3500	4000	4500
H_1	6500	6750	7000	7250	7500	7750
H_2	3500	4000	4500	5000	5500	6000
H_3	3750	4000	4250	4500	4750	5000
H_4	3500	3750	4000	4250	4500	4750
H_5	4000	4250	4500	4750	5000	5250
R_1	3500	4200	4900	5600	6300	7000
R_2	5500	6300	7000	7800	8600	9500
R_3	3000	3500	4000	4500	5000	5500
R_4	5500	6000	6500	7000	7500	8000
R_5	6000	6500	7000	7500	8000	8500
RLC_1	3500	4000	4500	5000	5500	6000
RLC_2	4000	4500	5000	5500	6000	6500
RLC_3	6000	6500	7000	7500	8000	8500
RLC_4	7500	8000	8500	9000	9500	10000
RLC_5	3500	7000	7500	8000	8500	9000
WSC_1	5500	6000	6500	7000	7500	8000
WSC_2	3500	4000	4500	5000	5500	6000
WSC_3	4500	5000	5500	6000	6500	7000
WSC_4	6000	6500	7000	7500	8000	8500
WSC_5	6500	7000	8000	8500	9000	9500
$WFSC_1$	6000	6500	7000	7500	8500	9000
$WFSC_2$	6500	7000	7500	8000	8500	9000
$WFSC_3$	7000	7500	8000	8500	9000	9500
$WFSC_4$	6500	7000	7500	8000	8500	9000
$WFSC_5$	5000	5500	6000	6500	7000	7500

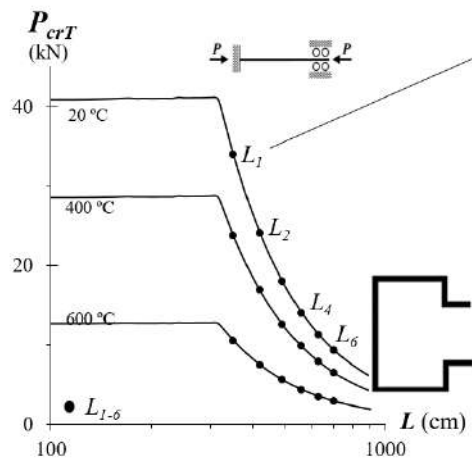
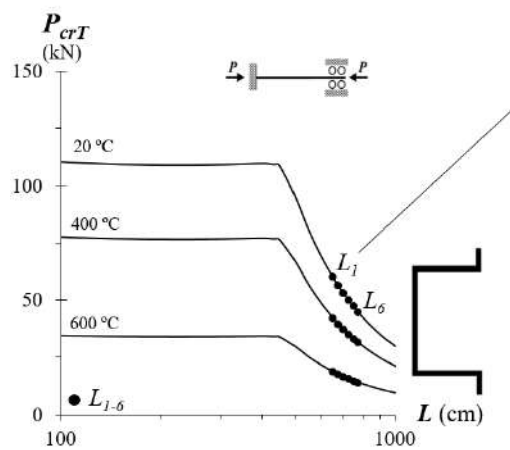
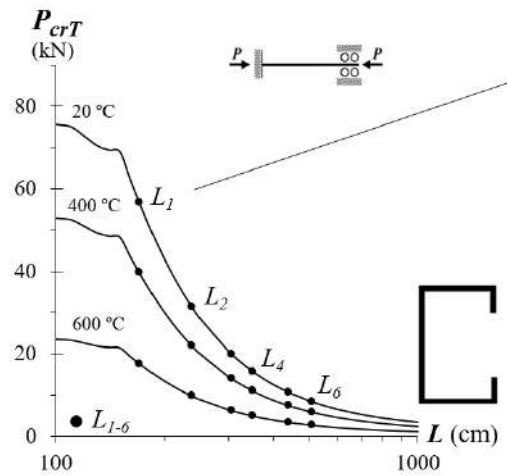
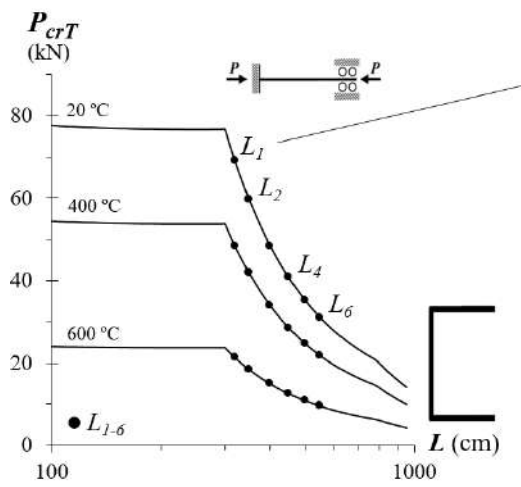


Figura 3.1: Curva de estabilidade ($P_{cr,T}$ vs L) para diferentes temperaturas (20, 400 e 600 °C) para (a) U_1 , (b) C_1 , (c) H_1 e (d) R_1 .

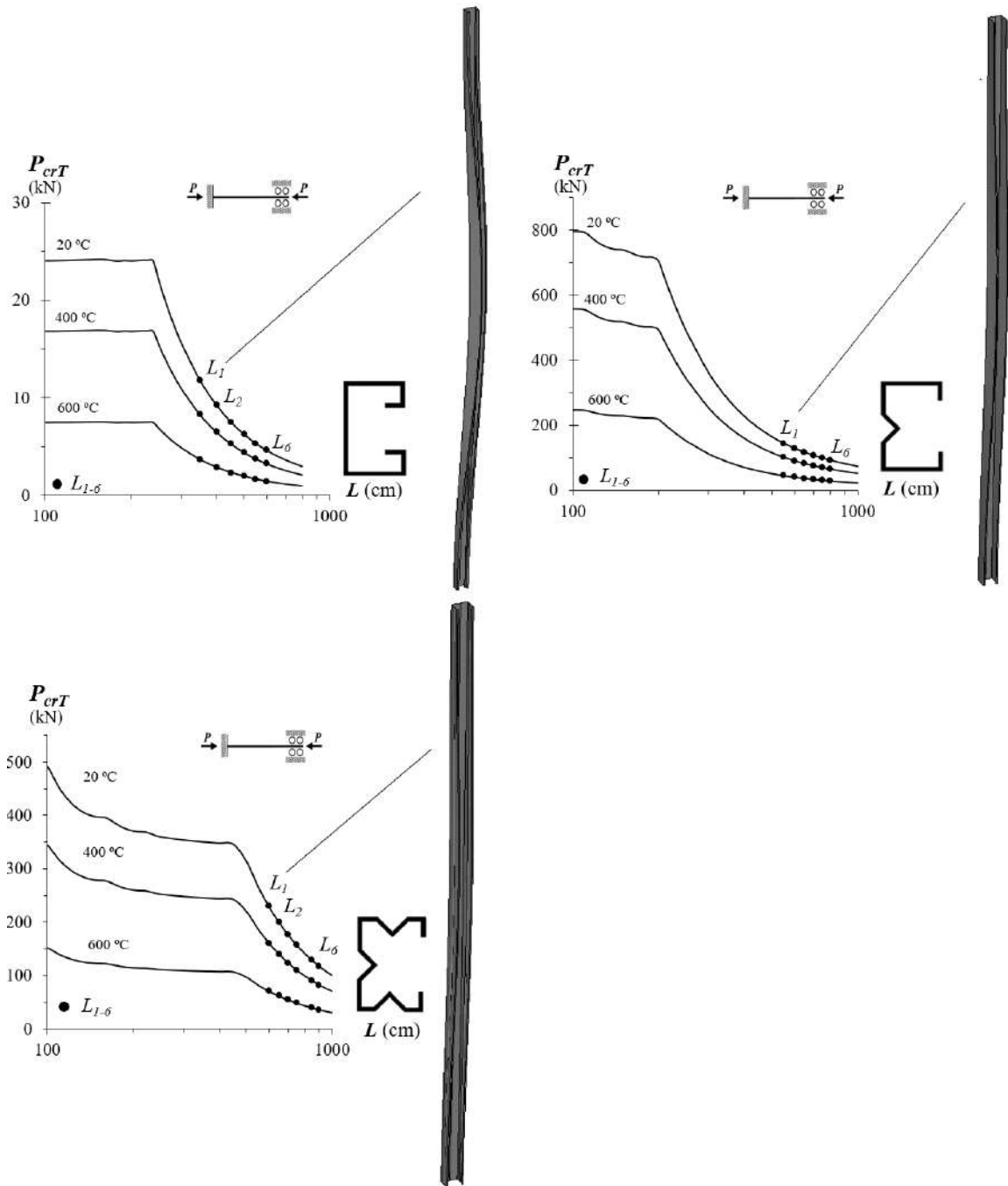


Figura 3.2: Curva de estabilidade ($P_{cr,T}$ vs L) para diferentes temperaturas (20, 400 e 600 °C) para (a) RLC_1 , (b) WSC_1 e (c) $WFSC_1$.

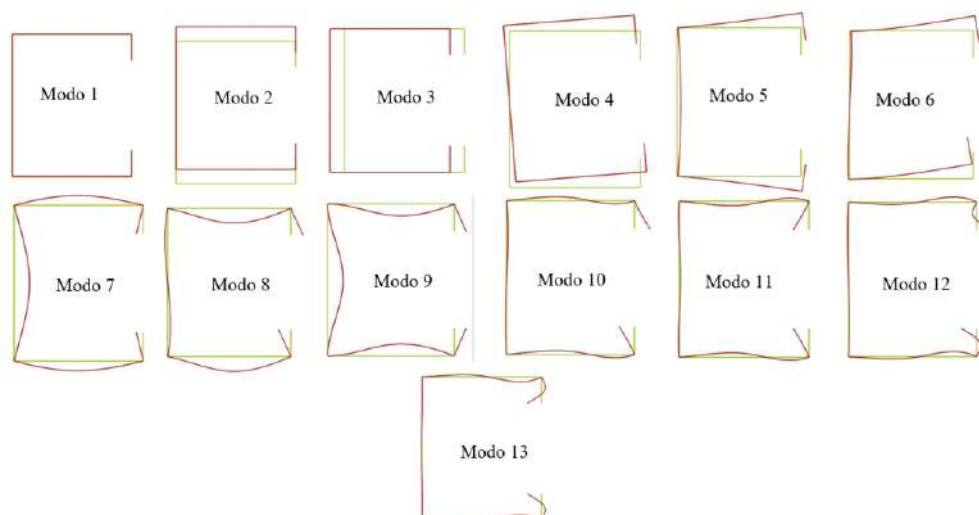


Figura 3.3: Modos de deformação via GBTul [19] para perfil C.

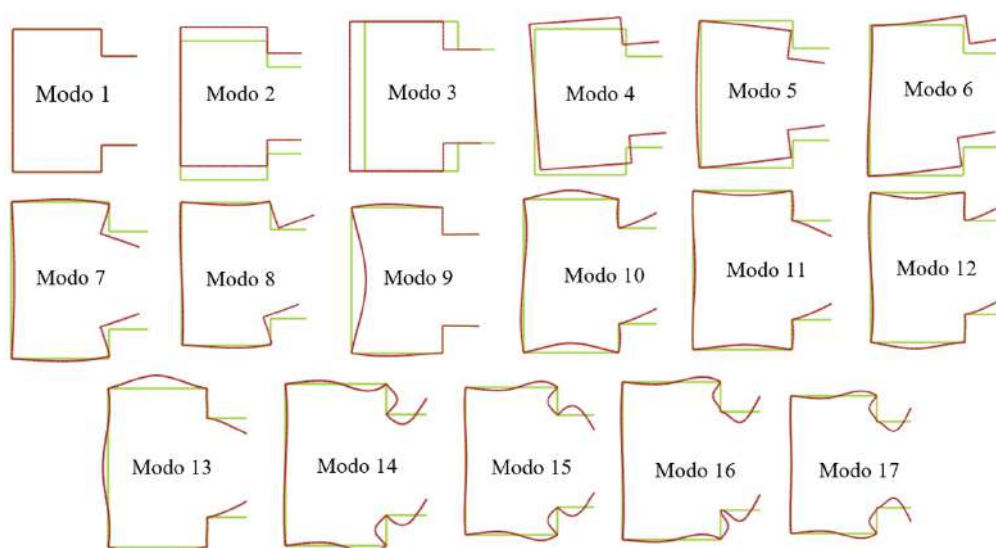


Figura 3.4: Modos de deformação via GBTul [19] para perfil R.

As Tabelas 3.3 a 3.8 resumam para temperatura ambiente/moderada, (i) o valor da força crítica de flambagem elástica global por flexo-torção em kN ($P_{cr,FT}$), (ii) as relações entre $P_{cr,FT}$ e a força crítica de flambagem correspondente a participação modal distorcional ($P_{cr,D}$) e local ($P_{cr,L}$), (iii) a participação modal da flexo-torção (modos 2+4, representados por P_{FT}), (iv) distorcional (P_{Dist}) e (v) local (P_{Local}).

Os resultados apresentados nas Tabelas 3.3 a 3.8 permitem observar que em todas as colunas analisadas há predominância “puramente” da flexo-torção, uma vez que a porcentagem de contribuição é quase sempre superior a 90% (em poucos casos há participação considerável de flambagem distorcional/local). A avaliação das Tabelas 3.3 a 3.8 permitem as seguintes conclusões:

- (i) A predominância da participação modal referente aos modos 2 + 4 é identificada para todas as colunas, os menores valores encontrados correspondem a 70,45%, 80,47% e 85,96% referentes a C_1-L_1 , R_2-L_1 e $WSFC_1-L_1$ onde a participação de flambagem distorcional é elevada.
- (ii) As participações referentes ao modo distorcional variam de 0,19% a 27,95%, sendo que em média sua predominância é inferior a 5%.
- (iii) Como a participação modal local em média é inferior a 3,5%, para todas as seções transversais, considerou-se irrelevante sua influência no comportamento estrutural da coluna.
- (iv) A força crítica de flambagem global por flexo-torção ($P_{cr,FT}$) sempre está distante das forças distorcionais ($P_{cr,D}$) e locais ($P_{cr,L}$), ou seja, suas relações são maiores que um. Essa conclusão também pode ser observada nas curvas de estabilidade das Figuras 3.2 e 3.3, onde é visível a distância da bifurcação entre os tipos de flambagem e os comprimentos selecionados remetem a flambagem global.

Tabela 3.3: Comprimentos adotados, $P_{cr,FT}$ com suas relações e participação modal para a seção U .

Coluna	L (mm)	$P_{cr,FT}$ (kN)	$\frac{P_{cr,D}}{P_{cr,FT}}$	$\frac{P_{cr,L}}{P_{cr,FT}}$	P_{FT} (%)	P_{Dist} (%)	P_{Local} (%)
U_1	3200	69,04	1,20	5,5	95,7	0	4,3
	3500	59,69	1,39	7,2	97,1	0	2,88
	4000	48,47	1,78	10,9	98,4	0	1,56
	4500	40,74	2,23	15,7	99,1	0	0,88
	5000	35,17	2,77	21,8	99,5	0	0,51
	5500	31,03	3,39	29,2	99,7	0	0,03
U_2	4400	49,54	1,21	11,8	94,5	0	5,47
	5000	40,29	1,54	17,9	96,9	0	3,09
	5500	34,74	1,87	24,3	98,0	0	2,00
	5800	32,06	2,09	28,9	98,4	0	1,56
	6000	30,50	2,25	32,2	98,7	0	1,33
	6200	29,07	2,42	35,8	98,9	0	1,13
U_3	5500	38,30	1,21	20,1	93,9	0	6,10
	5800	35,09	1,34	23,9	95,2	0	4,82
	6200	31,51	1,54	29,8	96,4	0	3,58
	6500	29,23	1,70	34,8	97,1	0	0,29
	6800	27,24	1,87	40,3	97,6	0	0,24
	7000	26,05	2,00	44,4	97,9	0	0,20
U_4	5000	355,01	1,33	4,38	91,25	0	8,48
	5200	292,17	1,65	6,00	94,61	0	5,22
	5400	246,72	1,98	8,06	96,58	0	3,30
	6000	212,84	2,32	10,61	97,78	0	2,15
	6200	186,93	2,67	13,69	98,53	0	1,42
	6400	166,65	3,02	17,34	99,01	0	0,96
U_5	5700	66,87	1,87	34,2	96,0	0	4,02
	6000	61,94	2,03	39,9	96,8	0	3,17
	6250	58,35	2,18	45,2	97,4	0	2,62
	6500	55,15	2,33	50,9	97,8	0	2,17
	6750	52,30	2,49	57,1	98,2	0	1,81
	7100	48,77	2,73	66,5	98,6	0	1,41

Tabela 3.4: Comprimentos adotados, $P_{cr,FT}$ com suas relações e participação modal para a seção C.

Coluna	L (mm)	$P_{cr,FT}$ (kN)	$\frac{P_{cr,D}}{P_{cr,FT}}$	$\frac{P_{cr,L}}{P_{cr,FT}}$	P_{FT} (%)	P_{Dist} (%)	P_{Local} (%)
C_1	1700	56,66	1,22	1,80	70,45	27,95	1,60
	2380	31,27	2,14	4,50	90,73	8,76	0,51
	3060	19,88	3,33	9,80	96,61	3,21	0,18
	3500	15,68	4,18	15,2	98,05	1,84	0,11
	4400	10,64	6,20	32,8	99,26	0,69	0,04
	5100	8,40	8,19	53,8	99,62	0,36	0,02
C_2	2380	138,67	1,15	1,80	85,76	13,69	0,56
	2700	110,87	1,44	2,50	91,40	8,25	0,35
	3060	88,94	1,77	3,50	94,79	5,00	0,23
	3500	70,55	2,25	5,30	97,00	2,87	0,13
	4400	48,41	3,46	10,8	98,89	1,06	0,05
	5100	38,57	4,45	17,1	99,45	0,53	0,02
C_3	3000	283,22	1,15	1,93	91,21	8,50	0,28
	3500	217,07	1,54	2,82	95,35	4,50	0,16
	4000	173,69	1,97	4,04	97,40	2,51	0,09
	4500	143,78	2,42	5,63	98,49	1,45	0,05
	5000	122,31	2,89	7,65	99,10	0,86	0,03
	5500	106,36	3,37	10,14	99,45	0,52	0,02
C_4	4000	355,01	1,33	4,38	91,25	8,48	0,27
	4500	292,17	1,65	6,00	94,61	5,22	0,17
	5000	246,72	1,98	8,06	96,58	3,30	0,11
	5500	212,84	2,32	10,61	97,78	2,15	0,07
	6000	186,93	2,67	13,69	98,53	1,42	0,05
	6500	166,65	3,02	17,34	99,01	0,96	0,04
C_5	2000	86,44	1,63	1,94	92,08	7,51	0,40
	2500	58,03	2,41	3,63	96,87	2,94	0,18
	3000	42,37	3,24	6,32	98,56	1,35	0,09
	3500	32,87	4,26	10,27	99,27	0,67	0,05
	4000	26,67	5,44	15,73	99,62	0,35	0,03
	4500	22,40	6,64	22,89	99,78	0,19	0,02

Tabela 3.5: Comprimentos adotados, $P_{cr,FT}$ com suas relações e participação modal para a seção H .

Coluna	L (mm)	$P_{cr,FT}$ (kN)	$\frac{P_{cr,D}}{P_{cr,FT}}$	$\frac{P_{cr,L}}{P_{cr,FT}}$	P_{FT} (%)	P_{Dist} (%)	P_{Local} (%)
H_1	6500	60,38	3,60	3,99	91,1	8,83	0,02
	6750	56,58	3,83	4,51	92,3	7,61	0,02
	7000	53,17	4,07	5,07	93,4	6,58	0,02
	7250	50,10	4,33	5,69	94,2	0,57	0,02
	7500	47,33	4,60	6,36	95,0	0,49	0,01
	7750	44,82	4,89	7,08	95,6	0,43	0,01
H_2	3500	59,40	2,77	6,25	96,2	3,70	0,09
	4000	48,02	3,54	9,32	97,9	2,09	0,05
	4500	40,16	4,34	13,35	98,7	1,23	0,03
	5000	34,50	5,14	18,44	99,2	0,75	0,01
	5500	30,30	5,95	24,67	99,5	0,46	0,01
	6000	27,08	6,75	32,11	99,7	0,29	0,01
H_3	3750	149,53	2,04	6,22	94,2	5,64	0,02
	4000	134,86	2,30	7,45	95,6	4,30	0,02
	4250	122,63	2,56	8,86	96,6	3,31	0,01
	4500	112,33	2,81	10,45	97,3	2,58	0,01
	4750	103,59	3,08	12,23	97,9	2,02	0,01
	5000	96,09	3,34	14,21	98,4	1,59	0,01
H_4	3500	195,10	1,77	3,10	94,4	5,52	0,02
	3750	174,20	2,01	3,71	95,8	4,12	0,02
	4000	157,01	2,26	4,41	96,8	3,11	0,01
	4250	142,73	2,51	5,21	97,6	2,36	0,01
	4500	130,72	2,77	6,12	98,1	1,81	0,01
	4750	120,54	3,02	7,13	98,6	1,40	0,01
H_5	4000	331,99	1,44	4,64	90,3%	9,42	0,02
	4250	300,65	1,60	5,43	92,4%	7,38	0,02
	4500	274,19	1,77	6,33	94,0%	5,82	0,02
	4750	251,66	1,94	7,34	95,3%	4,62	0,02
	5000	232,33	2,12	8,48	96,2%	3,69	0,01
	5250	215,63	2,30	9,73	96,9%	2,97	0,01

Tabela 3.6: Comprimentos adotados, $P_{cr,FT}$ com suas relações e participação modal para a seção R.

Coluna	L (mm)	$P_{cr,FT}$ (kN)	$\frac{P_{cr,D}}{P_{cr,FT}}$	$\frac{P_{cr,L}}{P_{cr,FT}}$	P_{FT} (%)	P_{Dist} (%)	P_{Local} (%)
R_1	3500	34,04	1,44	3,19	92,03	7,71	0,25
	4200	24,12	2,01	6,10	96,23	3,65	0,12
	4900	18,03	2,68	10,71	98,01	1,92	0,06
	5600	14,04	3,40	17,54	98,85	1,11	0,04
	6300	11,29	4,18	27,17	99,30	0,68	0,02
	7000	9,32	5,15	40,17	99,50	0,44	0,01
R_2	5500	185,76	1,60	2,96	80,47	19,22	0,30
	6300	144,40	2,04	4,36	87,99	11,82	0,18
	7000	118,74	2,46	5,90	91,99	7,89	0,13
	7800	97,23	3,00	8,02	94,81	5,10	0,07
	8600	81,34	3,58	10,57	96,49	3,46	0,05
	9500	67,97	4,22	13,98	97,67	2,30	0,03
R_3	3000	18,24	1,38	3,85	95,57	4,04	0,39
	3500	13,67	1,84	6,67	97,68	2,11	0,21
	4000	10,65	2,31	10,85	98,66	1,23	0,12
	4500	8,57	2,89	16,72	99,17	0,75	0,06
	5000	7,07	3,60	24,66	99,46	0,48	0,04
	5500	5,96	4,39	35,02	99,64	0,32	0,03
R_4	5500	58,39	1,79	4,49	94,78	5,00	0,22
	6000	49,59	2,10	6,14	96,35	3,50	0,15
	6500	42,71	2,43	8,19	97,37	2,52	0,11
	7000	37,22	2,75	10,73	98,07	1,85	0,08
	7500	32,78	3,12	13,81	98,56	1,38	0,05
	8000	29,15	3,53	17,49	98,91	1,04	0,04
R_5	6000	66,03	3,10	11,96	94,46	5,42	0,11
	6500	56,97	3,59	15,89	95,99	3,92	0,08
	7000	49,74	4,10	20,71	97,05	2,88	0,06
	7500	43,89	4,64	26,53	97,77	2,17	0,05
	8000	39,09	5,18	33,48	98,29	1,67	0,03
	8500	35,10	5,71	41,65	98,68	1,29	0,03

Tabela 3.7: Comprimentos adotados, $P_{cr,FT}$ com suas relações e participação modal para a seção RLC .

Coluna	L (mm)	$P_{cr,FT}$ (kN)	$\frac{P_{cr,D}}{P_{cr,FT}}$	$\frac{P_{cr,L}}{P_{cr,FT}}$	P_{FT} (%)	P_{Dist} (%)	P_{Local} (%)
RLC_1	3500	11,83	5,74	7,72	99,5	0,002	0,005
	4000	9,28	7,92	12,49	99,6	0,002	0,004
	4500	7,53	9,96	19,09	99,7	0,002	0,003
	5000	6,27	11,91	27,88	99,8	0,002	0,002
	5500	5,34	13,82	39,19	99,8	0,001	0,002
	6000	4,63	15,87	53,35	99,8	0,001	0,002
RLC_2	4000	24,71	4,31	5,49	97,9	2,0	2,2
	4500	19,76	5,32	8,42	98,7	1,2	1,3
	5000	16,22	6,45	12,37	99,2	0,7	0,8
	5500	13,60	7,64	17,56	99,5	0,5	0,5
	6000	11,60	8,95	24,18	99,6	0,3	0,4
	6500	10,05	10,30	32,46	99,8	0,2	0,2
RLC_3	6000	64,56	3,97	12,58	93,8	6,0	0,1
	6500	55,71	4,56	16,71	95,5	4,4	0,1
	7000	48,66	5,22	21,78	96,7	3,2	0,1
	7500	42,96	5,90	27,90	97,5	2,4	0,1
	8000	38,29	6,61	35,19	98,1	1,8	0,0
	8500	34,40	7,32	43,76	98,6	1,4	0,0
RLC_4	7500	100,83	3,83	9,25	93,2	6,7	0,1
	8000	89,58	4,30	11,62	94,8	5,1	0,1
	8500	80,24	4,79	14,41	95,9	4,0	0,1
	9000	72,40	5,30	17,66	96,8	3,1	0,1
	9500	65,75	5,83	21,43	97,5	2,5	0,1
	10000	60,06	6,34	25,74	98,0	2,0	0,0
RLC_5	7000	135,35	1,42	9,93	89,4	10,5	0,1
	7500	119,23	1,60	12,67	91,9	8,1	0,1
	8000	105,97	1,80	15,95	93,7	6,3	0,1
	8500	94,94	2,04	19,81	95,0	4,9	0,0
	9000	85,67	2,29	24,32	96,1	3,9	0,0
	9500	77,80	2,56	29,54	96,9	3,1	0,0

Tabela 3.8: Comprimentos adotados, $P_{cr,FT}$ com suas relações e participação modal para a seção WSC.

Coluna	L (mm)	$P_{cr,FT}$ (kN)	$\frac{P_{cr,D}}{P_{cr,FT}}$	$\frac{P_{cr,L}}{P_{cr,FT}}$	P_{FT} (%)	P_{Dist} (%)	P_{Local} (%)
WSC ₁	5500	143,73	1,53	7,64	99,27	0,70	0,02
	6000	128,44	1,72	8,90	99,54	0,43	0,01
	6500	116,36	1,94	10,47	99,71	0,27	0,01
	7000	106,60	2,16	12,36	99,82	0,17	0,00
	7500	98,56	2,37	14,58	99,88	0,11	0,00
	8000	91,81	2,57	17,16	99,93	0,07	0,00
WSC ₂	3500	169,44	1,79	4,49	94,78	5,00	0,22
	4000	136,06	2,10	6,14	96,35	3,50	0,15
	4500	113,01	2,43	8,19	97,37	2,52	0,11
	5000	96,37	2,75	10,73	98,07	1,85	0,08
	5500	83,95	3,12	13,81	98,56	1,38	0,05
	6000	74,40	3,53	17,49	98,91	1,04	0,04
WSC ₃	4500	131,53	1,79	4,49	94,78	5,00	0,22
	5000	117,35	2,10	6,14	96,35	3,50	0,15
	5500	103,57	2,43	8,19	97,37	2,52	0,11
	6000	92,38	2,75	10,73	98,07	1,85	0,08
	6500	83,17	3,12	13,81	98,56	1,38	0,05
	7000	75,50	3,53	17,49	98,91	1,04	0,04
WSC ₄	6000	134,54	2,04	6,22	94,2	5,64	0,02
	6500	117,35	2,30	7,45	95,6	4,30	0,02
	7000	103,57	2,56	8,86	96,6	3,31	0,01
	7500	92,38	2,81	10,45	97,3	2,58	0,01
	8000	83,17	3,08	12,23	97,9	2,02	0,01
	8500	75,50	3,34	14,21	98,4	1,59	0,01
WSC ₅	6500	113,48	1,87	34,2	96,0	4,02	0,02
	7000	99,96	2,03	39,9	96,8	3,17	0,01
	8000	80,06	2,18	45,2	97,4	2,62	0,01
	8500	72,61	2,33	50,9	97,8	2,17	0,01
	9000	66,35	2,49	57,1	98,2	1,81	0
	9500	61,05	2,73	66,5	98,6	1,41	0

Tabela 3.9: Comprimentos adotados, $P_{cr,FT}$ com suas relações e participação modal para seção $WSFC$.

Coluna	L (mm)	$P_{cr,FT}$ (kN)	$\frac{P_{cr,D}}{P_{cr,FT}}$	$\frac{P_{cr,L}}{P_{cr,FT}}$	P_{FT} (%)	P_{Dist} (%)	P_{Local} (%)
$WSFC_1$	6000	230,16	1,52	14,28	85,96	14,00	0,04
	6500	200,76	1,77	18,06	89,62	10,34	0,03
	7000	177,20	2,04	22,63	92,25	7,72	0,01
	7500	158,05	2,32	28,07	94,16	5,82	0,01
	8500	129,18	2,90	41,90	96,58	3,40	0,00
	9000	118,15	3,20	50,42	97,35	2,64	0,00
$WSFC_2$	6500	92,70	1,96	19,06	90,66	9,31	0,02
	7000	81,51	2,27	23,87	93,00	6,98	0,02
	7500	72,43	2,60	29,63	94,70	5,29	0,01
	8000	64,96	2,94	36,42	95,93	4,05	0,01
	8500	58,75	3,30	44,35	96,85	3,14	0,01
	9000	53,53	3,66	53,48	97,54	2,45	0,00
$WSFC_3$	7000	21,53	2,41	23,29	91,63	8,34	0,04
	7500	18,99	2,72	28,58	93,56	6,41	0,03
	8000	16,90	3,08	34,80	94,99	4,98	0,02
	8500	15,17	3,48	41,97	96,06	3,93	0,01
	9000	13,70	3,92	50,14	96,87	3,11	0,01
	9500	12,47	4,37	59,38	97,48	2,51	0,00
$WSFC_4$	6500	129,08	2,68	22,92	95,93	4,05	0,01
	7000	114,53	3,08	28,82	97,06	2,93	0,00
	7500	102,75	3,47	35,83	97,84	2,15	0,00
	8000	93,07	3,87	44,02	98,40	1,59	0,00
	8500	85,03	4,28	53,47	98,81	1,19	0,00
	9000	78,27	4,70	64,25	99,10	0,89	0,00
$WFSC_5$	5000	173,47	1,27	6,33	89,08	10,87	0,05
	5500	146,45	1,51	7,81	92,47	7,50	0,02
	6000	125,73	1,79	9,69	94,69	5,28	0,02
	6500	109,51	2,10	12,03	96,20	3,79	0,02
	7000	96,60	2,42	14,88	97,23	2,76	0,01
	7500	86,16	2,74	18,28	97,97	2,03	0,00

4 Pós-flambagem global por flexo-torção

Depois de promover uma breve descrição a respeito do modelo de elementos finitos utilizados nas análises via ANSYS [17] e apresentar sua validação, neste capítulo são exibidos e discutidos os resultados numéricos obtidos no estudo paramétrico que diz respeito a influência de temperaturas elevadas no comportamento de pós-flambagem e resistência última.

4.1 Modelo numérico de elementos finitos

Os resultados da pós-flambagem e da resistência das colunas consideradas foram obtidos com análises não-lineares geométrica e física, desenvolvidas com elementos finitos de casca no programa ANSYS [17], validado pela análise experimental de HEVA [18], que será abordado adiante neste capítulo.

As colunas foram discretizadas em malhas refinadas, variando entre 5x5 cm até 10x10 cm, do elemento *SHELL181* – elemento de casca fina com quatro nós (seis graus de liberdade por nó) com integração completa. As análises (i) foram desenvolvidas segundo técnica incremental-iterativa com emprego do método de *Newton-Raphson*, combinado com estratégia de controle do comprimento de arco (*arc-length*) e (ii) simulam a resposta das colunas submetidas a uma distribuição uniforme da temperatura, ou seja, consideram-se totalmente envolvidas pelas chamas e, assim, compartilham a mesma temperatura do ar circundante, posteriormente, são comprimidas axialmente até o colapso. O objetivo dessas análises (em regime estacionário) é a identificação da variação da resistência a compressão das colunas em função da temperatura. Dessa forma, as análises para temperaturas distintas apenas diferem nas propriedades mecânicas adotadas para o aço.

As colunas analisadas exibem condições de apoio bi engastadas, modeladas pela fixação de placas rígidas em suas extremidades, permitindo a translação axial de corpo rígido devido a aplicação da força. A compressão axial é aplicada por meio de uma força concentrada na placa rígida, aplicada na direção do centroide da seção. A força é aumentada com pequenos incrementos, por meio do procedimento automático do ANSYS [17].

Todas as colunas analisadas apresentaram imperfeições geométricas iniciais com modo crítico devido a flexo-torção e pequena amplitude ($L/1000$). Cada modo foi determinado por meio de análises preliminares de flambagem elástica, executadas com a mesma malha de elementos finitos usada para realizar a análise não linear (pós-flambagem) – esse procedimento simplifica o processo de modelagem.

Vale ressaltar que não foram considerados, nesta dissertação, efeitos de tensões residuais ou efeitos de resistência de cantos arredondados, uma vez que sua influência combinada na resistência da coluna tem se mostrado desprezível por diversos autores (*e.g.*, ELLOBODY e YOOUNG [52]).

4.1.1 Propriedades mecânicas do aço

A curva *multilinear stress-strain* disponível pelo ANSYS [17] é adotada para modelar o comportamento do aço em relação as várias tensões de escoamento. A lei constitutiva do aço empregado em PFF para temperaturas elevadas, utilizada nesta pesquisa, é definida pelas expressões analíticas prescritas no EC3-1.2 [16]. A Figura 4.1(a)-(b) juntamente com a Eq. (4.1) possibilitam a comparação da dependência da temperatura com os fatores de redução aplicáveis ao módulo de elasticidade ($k_{E,T} = E_T/E_{20}$), tensão de escoamento ($k_{y,T} = \sigma_{y,T}/\sigma_{y,20}$) e tensão limite de proporcionalidade ($k_{p,T} = f_{p,T}/\sigma_{y,20}$) que são tabulados no EC3-1.2 [16].

A Figura 4.1(b) ilustra a diferença qualitativa entre as curvas normalizadas de tensão vs deformação descrita no EC3-1.2 [16] para temperatura ambiente/moderada 20/100, 400 600 °C. Nota-se que a não-linearidade da curva tensão vs deformação aumenta consideravelmente com a temperatura (para $T=20/100$ °C, a lei constitutiva é bilinear – material perfeitamente elastoplástico).

A curva tensão vs deformação (i) é elástica linear, com inclinação E_T até a tensão limite proporcional ($f_{p,T}$), então (ii) torna-se elíptica na transição entre a região plástica e elástica até a tensão de escoamento $\sigma_{y,T}$ (onde, $\varepsilon_{y,T} = 0,002 + \sigma_{y,T} / E_T$ – ajuste também adotado e proposto por SHAHBAZIAN e WANG [43,44]) e (iii) termina em um platô até a deformação limite $\varepsilon_{u,T} = 0,15$ – em todos os casos, o modelo de plasticidade *Prandtl-Reuss* (critério de escoamento *von Mises*) é adotado. Observa-se que a tensão limite de proporcionalidade ($\varepsilon_{p,T} = f_{p,T} / E_T$) e a forma não-linear são também influenciadas pela temperatura.

$$f_T = \begin{cases} \varepsilon \cdot E_T & \text{para } \varepsilon \leq \varepsilon_{p,T} \\ f_{p,T} - c + (b/a) \left[a^2 - (\varepsilon_{y,T} - \varepsilon)^2 \right]^{0.5} & \text{para } \varepsilon_{p,T} < \varepsilon < \varepsilon_{y,T} \\ \sigma_{y,T} & \text{para } \varepsilon_{y,T} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{u,T} \end{cases}$$

$$a^2 = (\varepsilon_{y,T} - \varepsilon_{p,T})(\varepsilon_{y,T} - \varepsilon_{p,T} + c/E_T), b^2 = c(\varepsilon_{y,T} - \varepsilon_{p,T})E_T + c^2 \quad (4.1)$$

$$c = \frac{(\sigma_{y,T} - f_{p,T})^2}{(\varepsilon_{y,T} - \varepsilon_{p,T})E_T - 2(\sigma_{y,T} - f_{p,T})}$$

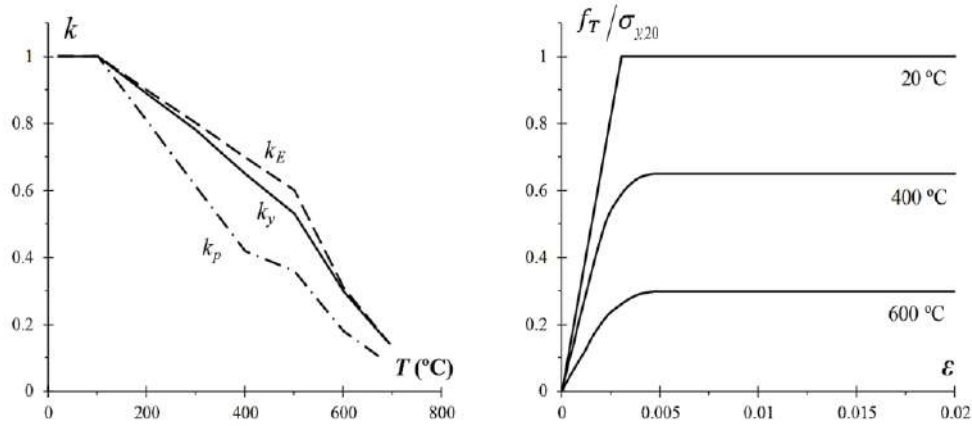


Figura 4.1: (a) Variação dos fatores de redução $k_{E,T}$, $k_{y,T}$, $k_{p,T}$ com a temperatura para $T < 800$ °C e (b) curva de tensão vs deformação (PFF) para temperatura ambiente, 400 e 600 °C . Fonte: EC3-1.2 [16].

4.1.2 Aferição do modelo numérico

A validação do modelo de elementos finitos é importante para concluir se o mesmo consegue simular o comportamento esperado das colunas juntamente com suas forças últimas. O início da validação do uso do modelo numérico, que descreve o comportamento de pós-flambagem e a resistência de colunas de PFF para temperatura ambiente/moderada (20/100 °C) e elevada, deu-se pela replicação de parte das simulações numéricas relatadas por HEVA [18]. A Figura 4.2 exibe uma visão geral da configuração de ensaio implementado no laboratório estrutural da *University of Queensland* (QUT), que é composto principalmente por (i) quadro de reação, (ii) três segmentos de forno, (iii) sistema de controle de temperatura e (iv) sistema de carga hidráulica.

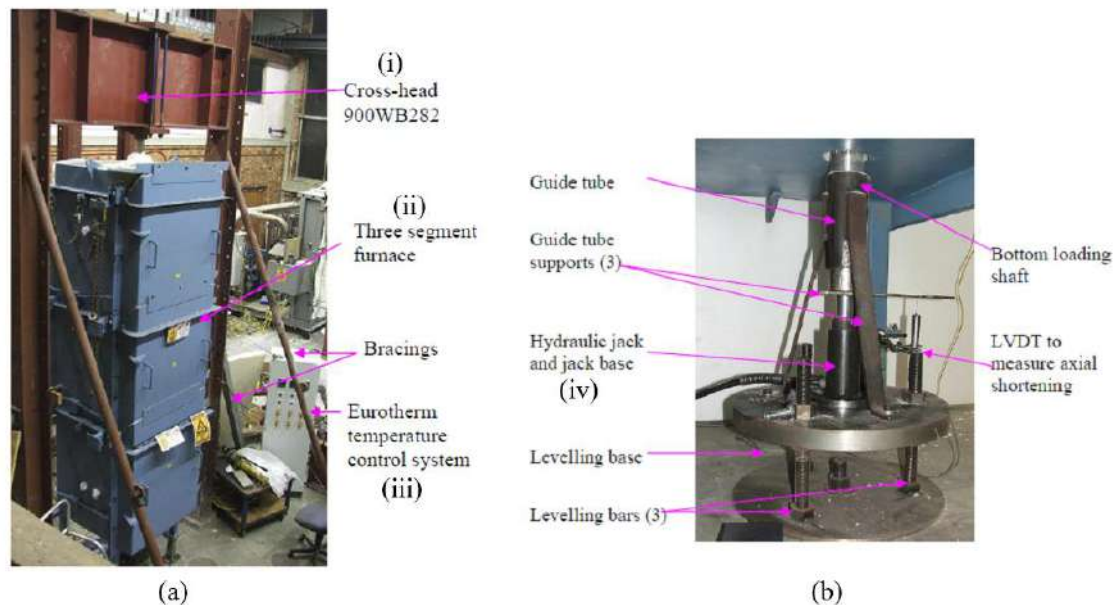


Figura 4.2: Modelo experimental (a) forno de três segmentos e sistema de controle de temperatura e (b) configuração de aplicação de força. Fonte: HEVA [18].

A Figura 4.3 permite observar o detalhe da condição de apoio utilizado para gerar colunas bi engastadas para temperaturas elevadas, nota-se que foi utilizada fibra cerâmica para fins de isolamento térmico durante o experimento.



Figura 4.3: Detalhamento das placas rígidas utilizadas para simular o engaste. Fonte: HEVA [18]

A Tabela 4.1 resume os dados das colunas consideradas nesta validação, informando seus valores dimensionais, comprimentos, aço empregado e a imperfeição

geométrica global (em razão do comprimento) adotados em [18]. Vale ressaltar que, além da investigação experimental, que envolveu um grande número de colunas nunca testadas, HEVA [18] também realizou extensa investigação numérica para as temperaturas ambiente/moderada e elevadas. As colunas numericamente examinadas por [18] (i) foram analisadas no código ABAQUS, (ii) incluíram a influência de tensões residuais, (iii) apresentaram modo crítico por flexo-torção com imperfeições globais baseadas nos valores medidos experimentalmente, e (iv) exibiram $\sigma_{y,20}=271, 515$ e 615 MPa, $E_{20}=188, 206$ e 205 GPa e coeficiente de Poisson de 0,3, assumindo o modelo constitutivo do aço *Ramberg-Osgood*, com fatores de redução proposto por RANAWAKA e MAHENDRAN [50] e KANKANAMGE e MAHENDRAN [51] para espessuras nominais em PFF de 0,95 mm (grau de aço G550) e 1,90-1,95 mm (graus de aço G450-G250) (ver Eqs. (2.12) a (2.18)).

Tabela 4.1: Colunas consideradas na validação.

Coluna	b_w (mm)	b_f (mm)	b_l (mm)	t (mm)	L (mm)	$\sigma_{y,20}$ (MPa)	Grau do aço	Imperfeição Global
1	74,92	49,96	15,00	1,95	1740	271	G250	L/3860
2	74,88	49,82	14,81	1,88	1740	515	G450	L/3577
3	57,79	36,91	8,82	0,95	1740	615	G550	L/3437

Tabela 4.2: Comparação entre os resultados reportados e obtidos.

Coluna	T (°C)	$P_{u,Test}$ (kN)	$P_{u,HM}$ (kN)	$P_{u,B}$ (kN)	$\frac{P_{u,HM} - P_{u,B}}{P_{u,HM}}$
1	20	87,94	90,70	90,15	0,6%
	200	83,76	84,30	79,45	5,8%
	300	56,07	62,40	56,68	9,2%
	400	45,37	41,10	39,89	2,9%
	500	32,20	26,60	28,57	-7,4%
	600	23,03	19,00	19,08	-0,4%
	700	12,60	10,90	10,69	1,9%
2	20	120,42	129,00	126,25	2,1%
	200	105,99	110,00	108,77	1,1%
	300	83,20	96,40	92,46	4,1%
	400	73,43	78,00	73,57	5,7%
	500	46,35	53,40	51,35	3,8%
	600	17,86	20,50	18,89	7,9%
	700	11,45	11,30	11,40	-0,9%
3	20	24,72	25,40	25,43	-0,1%
	200	22,91	22,50	22,65	-0,7%
	300	21,33	19,30	19,67	-1,9%
	400	20,41	15,80	15,99	-1,2%
	600	6,49	6,20	6,52	-5,2%
	700	3,50	4,60	4,26	7,3%

Por outro lado, as análises numéricas realizadas nesta pesquisa seguiram as mesmas diretrizes abordadas no parágrafo anterior, com duas exceções: (i) o código ANSYS [17] foi adotado para simulação e (ii) as tensões residuais não foram consideradas. A Tabela 4.2 informa (i) os resultados numéricos reportados por HEVA [18] ($P_{u.HM}$), (ii) as forças últimas obtidas nesta dissertação ($P_{u.B}$), (iii) resultado experimental de [18] ($P_{u.Test}$) e (iv) a diferença percentual entre os valores numéricos para três tensões de escoamento distinta. A diferença tem valor médio de 3,5%. Diante dos dados fornecidos, argumenta-se que o modelo de elementos finitos de casca empregado nesta dissertação pode ser considerado adequadamente validado.

4.2 Comportamento elastoplástico de pós-flambagem

O modelo numérico de elementos finitos, validado no Capítulo 4.1, foi utilizado para estimar as trajetórias de equilíbrio da pós-flambagem elastoplástica, ressaltando que todas as colunas metálicas contêm imperfeições geométricas globais ($L/1000$, onde L é o comprimento da coluna em cm) aplicadas para iniciar as análises não-lineares. A influência da temperatura no comportamento estrutural das colunas de PFF, em relação a pós-flambagem elastoplástica, são estudadas neste item.

As trajetórias de equilíbrio não-linear são exibidas na Figura 4.4, onde são apresentadas em gráficos $P/P_{cr.FT.20}$ vs θ (onde P é a força aplicada e $P_{cr.FT.20} = A f_{cr.FT.20}$, onde A é a área da seção transversal, $f_{cr.FT}$ é a tensão crítica de flambagem global por flexo-torção e θ é a rotação da alma na região central da coluna)– os círculos brancos identificam a força última $P_{u.T}$ ($P_{u.T} = A f_{u.T}$, onde $f_{u.T}$ é a tensão última para uma dada temperatura T) e a curva elástica para temperatura ambiente/moderada (20/100 °C) é apresentada por razões de comparação. Uma vez que os comportamentos de cada seção são, qualitativamente e visualmente idênticos, as observações incluídas nos próximos itens são válidas para todas as seções.

Já nas Figuras 4.5 e 4.6 são apresentadas as deformadas e as configurações de tensões *von Mises* no colapso ($P=P_{u.T}$), mesmas colunas utilizadas na Figura 4.4, para U_1-L_1 , LC_2-L_3 , H_4-L_1 , R_3-L_1 , RLC_2-L_1 , WSC_4-L_1 e $WFSC_1-L_1$ com σ_y de 300, 300, 300, 450, 450, 450 e 450 MPa respectivamente para as temperaturas de 20/100, 300, 500 e 700 °C.

A observação conjunta desses resultados de pós-flambagem permite extrair as seguintes considerações:

- (i) Uma vez que a resistência da coluna e a carga última diminuem com o aumento da temperatura, os caminhos de equilíbrio correspondentes naturalmente decaem. A redução é particularmente maior para 500 e 600 °C.
- (ii) Como os efeitos da ação térmica são desconsiderados (temperatura uniforme e colunas livres para se deslocar/deformar), as falhas por flexo-torção não dependem da temperatura, portanto são praticamente idênticas para todas as colunas analisadas, além disso, nota-se que as falhas sob temperatura ambiente/moderada e elevada são praticamente as mesmas: o colapso ocorre após o escoamento total dos cantos superiores da alma-mesa do perfil na região central da coluna. No entanto, nota-se que para as temperaturas maiores ou iguais a 500 °C, a propagação da plasticidade na metade da coluna torna-se gradualmente menor a medida que a temperatura aumenta, isso decorre diretamente da dependência da temperatura no formato da curva tensão vs deformação – lembrando que $k_{p,T}$ cai significativamente para temperaturas superiores a 500 °C. De modo quantitativo, as tensões diminuem a medida que a temperatura aumenta e continua degradando o comportamento do aço.
- (iii) Como já mencionado, as trajetórias de equilíbrio para $T \geq 600$ °C são claramente separadas (abaixo) das remanescentes, refletindo assim o aumento repentino na taxa de degradação do aço entre 500 e 600 °C. Isso é visto principalmente por meio da tensão limite de proporcionalidade e a suavidade da transição entre as faixas elástica e plástica (ver Figura 4.1(a)-(b)).
- (iv) Nenhuma tendência foi observada em relação a influência da temperatura, geometria e tensão de escoamento na reserva de resistência da pós-flambagem elastoplástica antes do colapso.

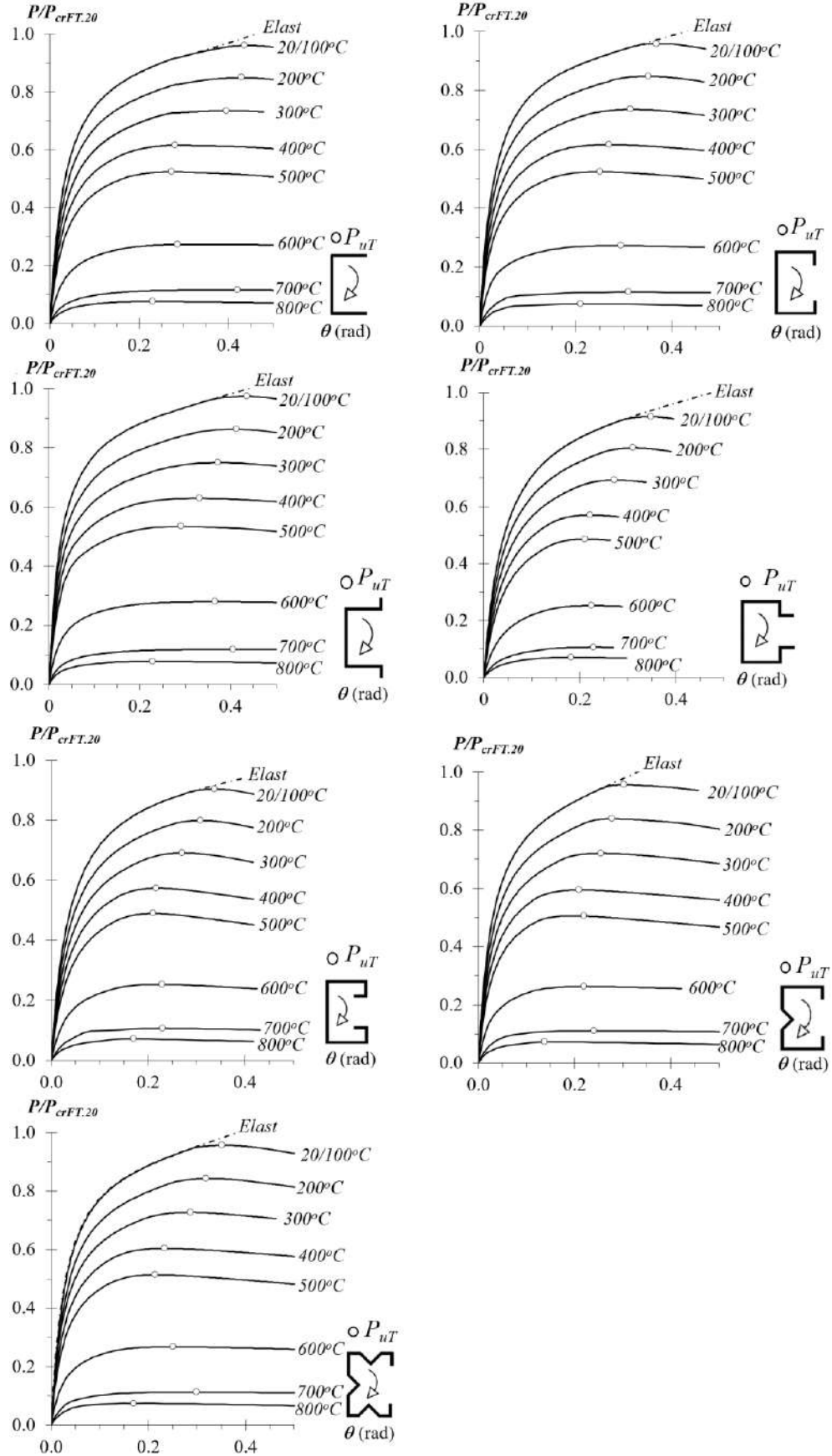


Figura 4.4: Trajetórias de equilíbrio para U_1-L_1 , LC_2-L_3 , H_4-L_1 , R_3-L_1 , RLC_2-L_1 , WSC_4-L_1 e $WFSC_1-L_1$ para as oito temperaturas abordadas.

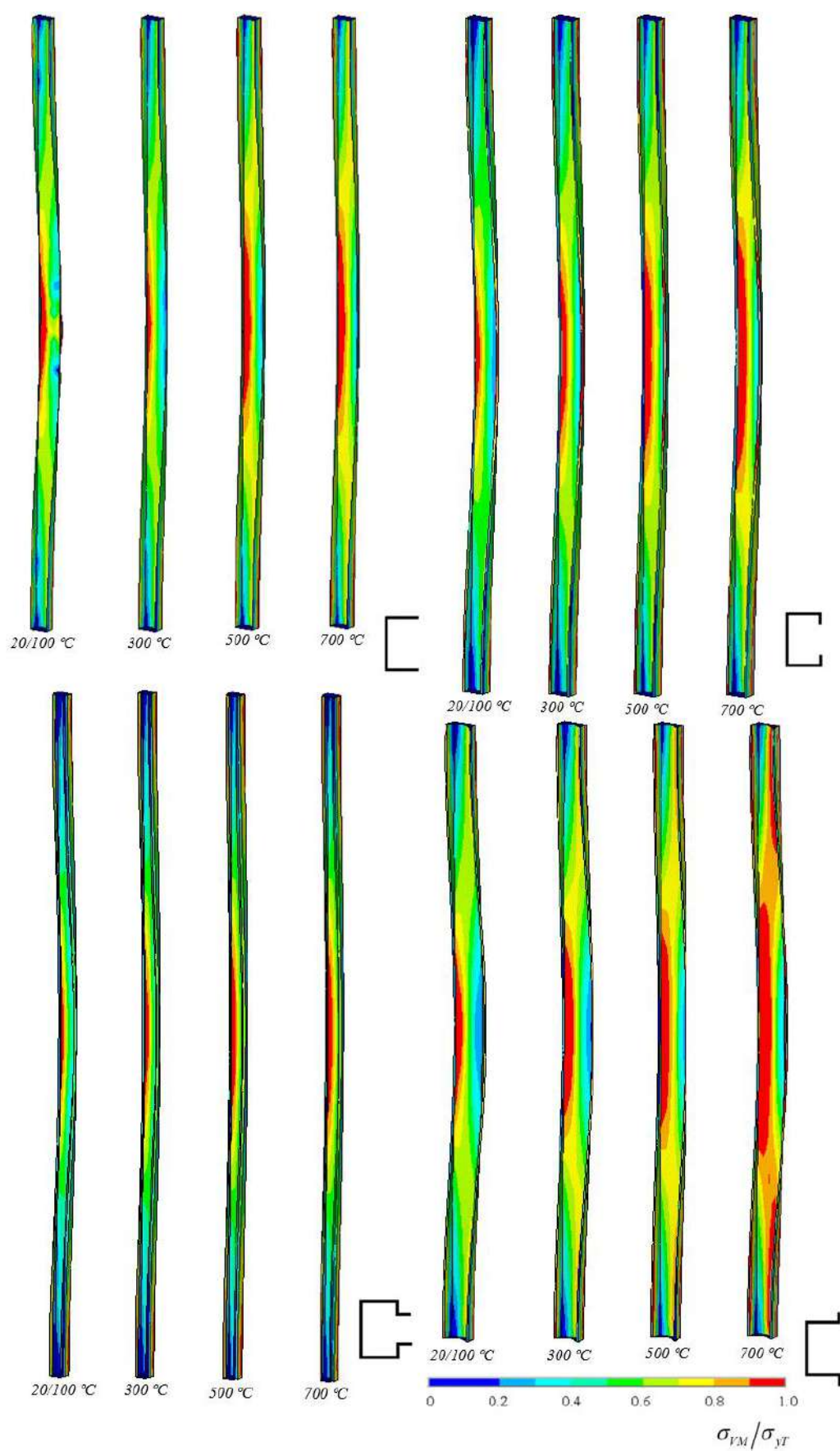


Figura 4.5: Deformada/tensão de von Mises no colapso para $T = 20/100, 300, 500$ e $700\text{ }^{\circ}\text{C}$, para as colunas U_1-L_1 , LC_2-L_3 , R_3-L_1 e H_4-L_1 , respectivamente.

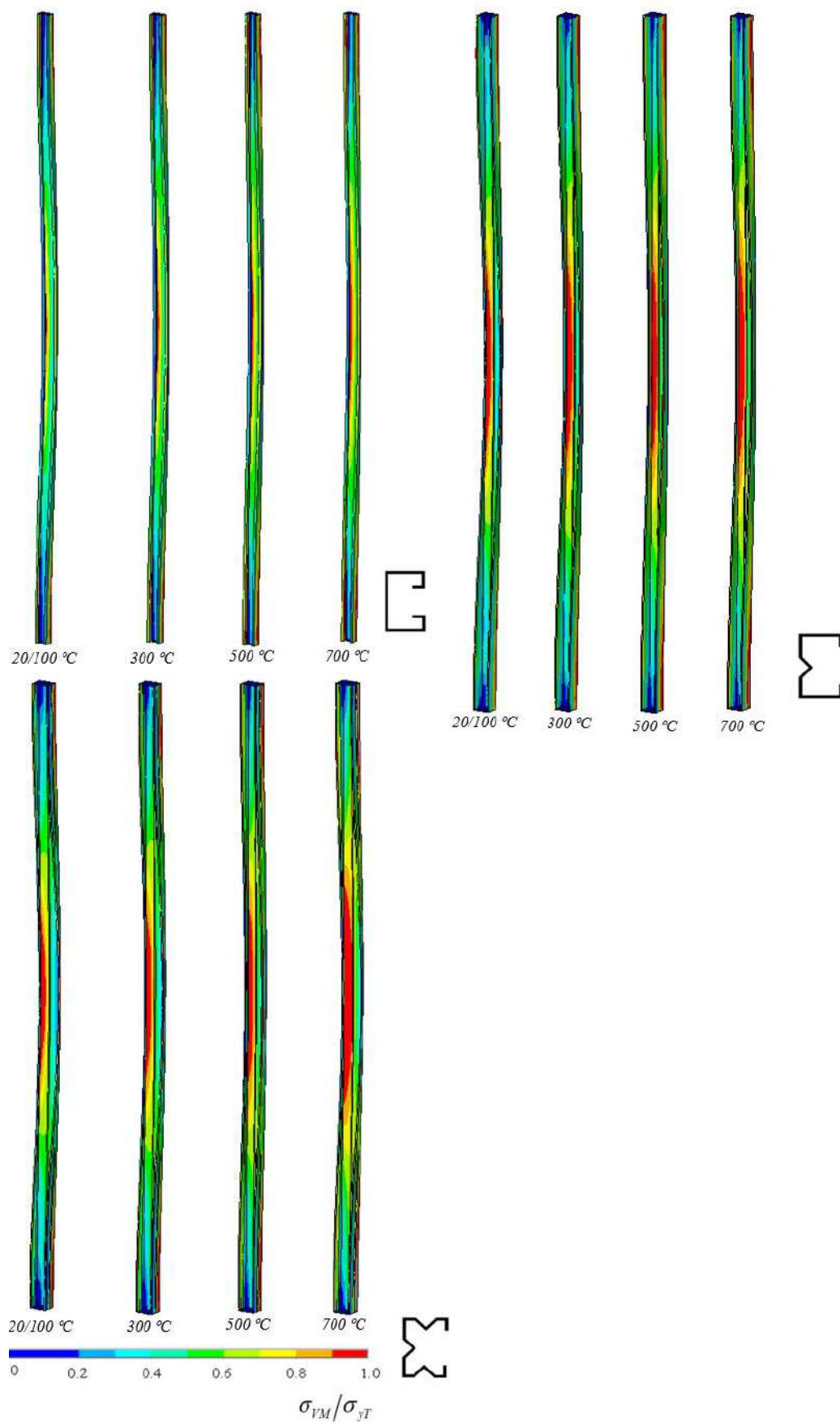


Figura 4.6: Deformada/tensão de von Mises no colapso para $T = 20/100, 300, 500$ e 700 °C, para as colunas RLC_2-L_1 , WSC_4-L_1 e $WFSC_1-L_1$, respectivamente.

4.3 Dados da força última

Este item aborda os resultados do estudo paramétrico realizado para coletar dados de força última para temperatura ambiente/moderada e elevada, englobando 8400 colunas. Na Figura 4.7 são apresentados os valores obtidos numericamente neste estudo, exibidos em função da tensão última normalizada com a tensão de escoamento para diferentes temperaturas vs $\lambda_{FT,T}(f_{u,T}/\sigma_{y,T} \text{ vs } \lambda_{FT,T})$. Também são informados os resultados obtidos numericamente (312 colunas) e experimentalmente (39 colunas) relatados por HEVA [19].

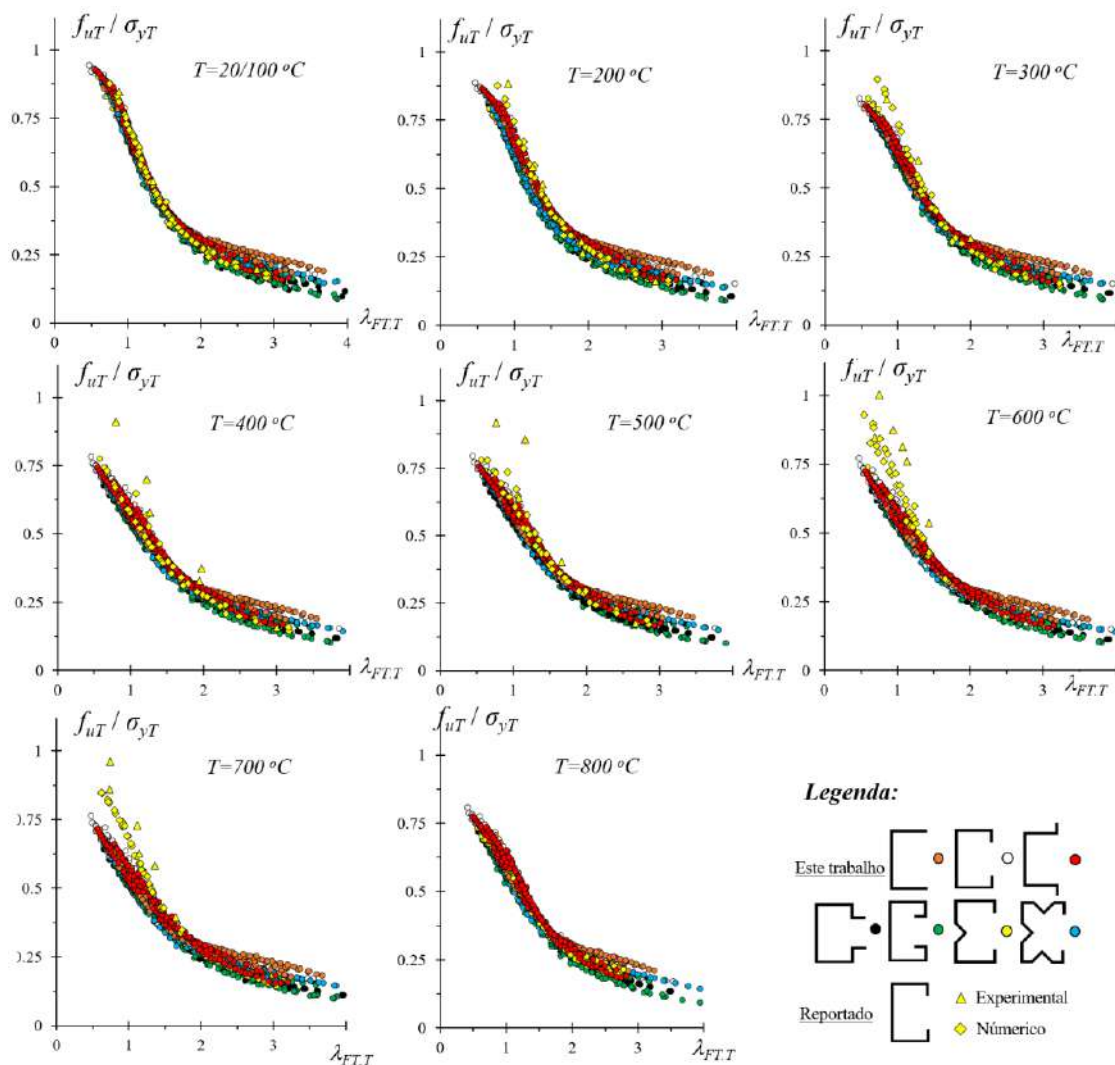


Figura 4.7: Gráficos referentes a tensão última normalizada em função da tensão de escoamento ($f_{u,T}/\sigma_{y,T}$) vs $\lambda_{FT,T}$ para $T=20/100, 200, 300, 400, 500, 600, 700$ e 800°C .

A observação conjunta desses oito gráficos remete as seguintes considerações:

- (i) Independente da temperatura, os valores obtidos de $f_{u,T} / \sigma_{y,T}$ vs $\lambda_{FT,T}$ seguem a mesma “forma” de curva, conforme o índice de esbeltez aumenta, ou seja, a parte superior da curva ($\lambda_{FT,T} \leq 1,5$) possui comportamento similar a parábola de *Johnson* (ZIEMIAN [8]) e a inferior ($\lambda_{FT,T} > 1,5$) tem “forma” da curva de *Euler*. Tal configuração é utilizada nas atuais curvas de resistência global de projetos segundo o MRD para dimensionamento de PFF.
- (ii) Conforme relatado anteriormente por DINIS *et al.* [15], no contexto de colunas com falhas devido a flexo-torção para temperatura ambiente, as colunas *R* e *RLC* (ambos com enrijecedores duplos nas bordas - pontos pretos e verdes, respectivamente) exibem valores inferiores em relação as outras cinco seções analisadas. Essa observação é visível para todas as faixas de esbeltez e para todas as temperaturas.
- (iii) Para $\lambda_{FT,T} \leq 1,5$, os valores obtidos de $f_{u,T} / \sigma_{y,T}$ para temperaturas elevadas são inferiores aqueles referentes a essas colunas para temperatura ambiente/moderada, entretanto essa observação não é perceptível para $\lambda_{FT,T} \geq 1,5$. Além disso, a queda causada pelo aumento da temperatura não é ordenada na sequência lógica, isto é, não diminui gradativamente com a temperatura. De fato, a redução é ordenada na sequência $T=20/100, 200, 300, \underline{800}, 400, \underline{700}, 500$ e 600 °C (os valores “fora de ordem” estão sublinhados). Esse resultado inesperado não possui explicação mecânica óbvia com base no modelo constitutivo do aço empregado.
- (iv) Os valores numéricos e experimentais (losangos e triângulos amarelos, respectivamente) relatados por [18], envolvendo apenas seções *C* para temperaturas de até 700 °C, alinham-se bem com aqueles obtidos nessa pesquisa, mesmo que estejam relativamente acima e exibam uma dispersão vertical significativa, particularmente para os dados experimentais. As maiores dispersões são observadas para as temperaturas de 600 e 700 °C. Lembrando que as forças últimas numéricas relatadas por [18] consideraram os modelos constitutivos para temperaturas elevadas do tipo *Ramberg Osgood* e os fatores de redução proposto por RANAWAKA e MAHENDRAN [51] – para os aços G250 – e por KANKANAMGE e MAHENDRAN [53] – para os aços G450 e

G550 – que são visivelmente distintos da relação tensão vs deformação do EC3-1.2 [16] adotado nesta dissertação.

- (v) Os resultados acima são promissores no que diz respeito a possibilidade de desenvolver uma abordagem de dimensionamento com base no MRD para estimar as forças últimas de flexo-torção em situações de incêndio. No entanto, esses resultados também mostram claramente que as previsões devem ser tratadas separadamente na faixa de esbeltez baixa-moderada ($\lambda_{FT.T} \leq 1,5$).

5 Dimensionamento via MRD

Este capítulo aborda a aplicação do MRD para previsão de força última para colunas bi engastadas submetidas a compressão axial para diferentes temperaturas estacionárias. A curva do MRD desenvolvida por SCHAFER e PEKÖZ [7], baseada em uma ideia original de HANCOCK *et al.* [8], vem sendo continuamente aperfeiçoada, podendo ser citados os avanços realizados por DINIS *et al.* [15] que visam avaliar a precisão da curva de resistência global para prever a resistência final de PFF com falha por flexo-torção. Este estudo teve como um dos objetivos avaliar a curva proposta por [15] para temperaturas elevadas e contribuir para seu aperfeiçoamento.

As previsões de forças últimas de flexo-torção abordadas no capítulo anterior, referentes as colunas: U , C , H , R , RLC , WSC e $WSFC$. O primeiro passo consiste em avaliar a adequação das curvas de resistência disponíveis, desenvolvidas no contexto de temperatura ambiente/moderada (20/100 °C), nomeadas (i) atual curva de resistência do MRD e (ii) curva modificada para flexo-torção proposta por [15], definidas nas Eqs. (2.1) e (2.6), respectivamente. Naturalmente, há a necessidade de incluir os efeitos da temperatura associados ao modelo constitutivo proposto pelo EC3-1.2 [16], através das tensões críticas de flambagem por flexo-torção ($f_{cr,FT}$) e de escoamento ($\sigma_{y,T}$). Essa abordagem já foi explorada por outros pesquisadores, como: HEVA [18] e LANDESMANN e CAMOTIN [47], respectivamente para modos de flambagem global por flexo-torção e distorcional.

A influência da temperatura em $f_{cr,FT}$ é observada através do módulo de Young, que diminui à medida que a temperatura aumenta. Portanto, as modificações nas Eqs. (2.1) e (2.6) consiste em substituir $f_{cr,FT}$ e σ_y por $f_{cr,FT,T}$ e $\sigma_{y,T}$, que implica na variação de λ_{FT} com T ($\lambda_{FT,T}$). Então, a força de resistência de colunas em PFF com falha global por flexo-torção são apresentadas, respectivamente, pelas Eqs. (5.1) e (5.2).

$$f_{n,G,T} = \begin{cases} \sigma_{y,T} \left(0,658 \lambda_{FT,T}^2 \right) & \text{para } \lambda_{FT,T} \leq 1,5 \\ \sigma_{y,T} \left(\frac{0,877}{\lambda_{FT,T}^2} \right) & \text{para } \lambda_{FT,T} > 1,5 \end{cases} \quad (5.1)$$

$$f_{n,FT,T} = \begin{cases} \sigma_{y,T} \left(0,658 \lambda_{FT,T}^2 \right) & \text{para } \lambda_{FT,T} \leq 1,5 \\ \sigma_{y,T} \left(\frac{a}{\lambda_{FT,T}^b} \right) & \text{para } \lambda_{FT,T} > 1,5 \end{cases} \quad (5.2)$$

onde $\lambda_{FT.T} = (\sigma_{y.T} / f_{cr.FT.T})^{0,5}$, sendo que as variáveis estão correlacionadas a uma temperatura elevada T . Os parâmetros a , b e β_{FT} continuam sendo dados pelas Eqs. (2.7) a (2.10), logo são independentes da temperatura.

A Figura 5.1 possibilita a comparação entre (i) os valores $f_{u.T} / \sigma_{y.T}$ mostrados anteriormente na Figura 4.9 com (ii) as curvas modificadas do MRD disponíveis, incluindo os efeitos da temperatura (linha preta e vermelha, respectivamente – é empregado o limite inferior de $\beta_{FT}=13,8$ para $f_{n.FT.T}$), para temperaturas $T=20/100, 200, 300, 400, 500, 600, 700$ e 800 °C. Além disso, o Apêndice A, fornece os valores das razões de tensões últimas $f_{u.T} / f_{n.G.T}$ e $f_{u.T} / f_{n.FT.T}$ para todas as colunas numericamente analisadas nesta dissertação. Por outro lado, as Figuras 5.2 e 5.3 plotam, contra $\lambda_{FT.T}$, todos os valores $f_{u.T} / f_{n.G.T}$ e $f_{u.T} / f_{n.FT.T}$, permitindo uma rápida avaliação quantitativa da qualidade (precisão e segurança) das previsões de resistências fornecidas pelas curvas do MRD. Os indicadores estatísticos (média, desvio padrão, máxima e mínima) de todos os conjuntos de perfis analisados são apresentados nas Tabelas 5.1 a 5.3, nas quais contêm o número de colunas inseguras de acordo com as previsões, no sentido de que $f_{u.T} / f_{n.G.T} < 0,95$ ou $f_{u.T} / f_{n.G.T} > 0,95$. A observação dos resultados permite os seguintes comentários:

- (i) A respeito das tensões últimas para temperatura ambiente, observa-se que a maioria das colunas esbeltas ($\lambda_{FT.T} > 1,5$) são claramente subestimadas pelo atual MRD - os valores da média, desvio padrão, máxima e mínima de $f_{u.T} / f_{n.G.T}$ são: (i) 1,52-0,29-2,92-1,0, para as colunas analisadas nesta dissertação (ver Tabela 5.1); (ii) 1,37-0,24-1,72-1,16, para as colunas testadas experimentalmente por [18] (ver Tabela 5.3); e (iii) 1,29-0,15-1,76-1,02, para as colunas testadas numericamente por [18] (ver Tabela 5.4). Todavia, para colunas de baixa esbeltez ($\lambda_{FT.T} \leq 1,5$) as previsões apresentaram valores satisfatórios – os indicadores estatísticos de $f_{u.T} / f_{n.G.T}$ são 1,06-0,03-1,15-0,94, 1,14-0,02-1,17-1,11 e 1,09-0,02-1,13-1,03, como mostrado nas tabelas 5.1, 5.3 e 5.4, respectivamente.
- (ii) Resultados semelhantes foram relatados por [15], com base nos dados numéricos obtidos pelos autores, propuseram a curva modificada definida na Eq. (5.2). Observa-se prontamente que a qualidade (precisão e segurança) dos

resultados melhora substancialmente para $\lambda_{FT.T} > 1,5$, como mostrado em $f_{u.T} / f_{n.FT.T}$ com valores de média, desvio padrão, máxima e mínima: 1,06 - 0,04 - 1,28 - 0,89, 1,03 - 0,03 - 1,06 - 1,0 e 1,0 - 0,04 - 1,16 - 0,90, respectivamente (ver Tabelas 5.1 a 5.4).

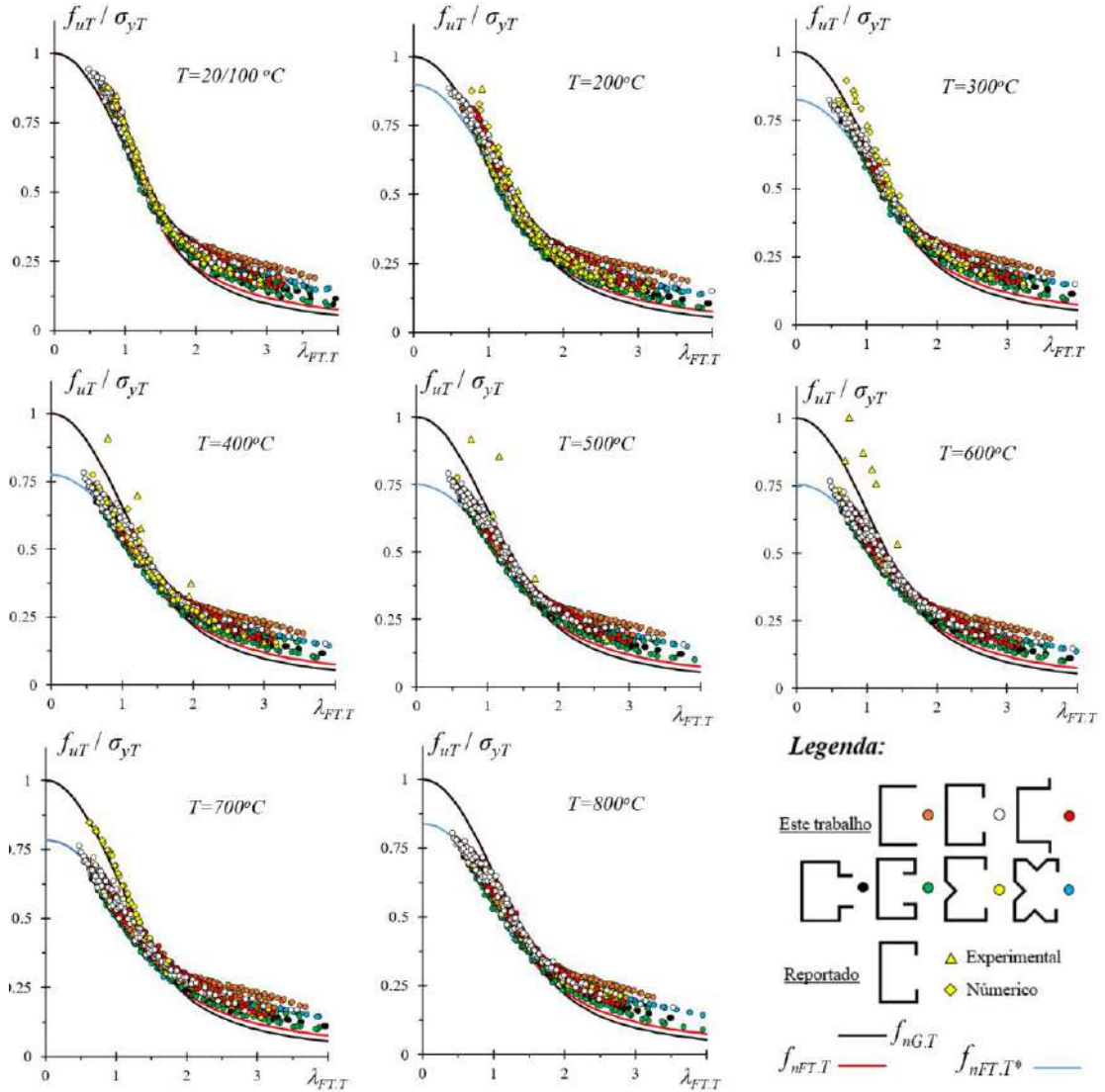


Figura 5.1: Comparação entre os valores $f_{u.T} / \sigma_{y.T}$ e as curvas de flexo-torção do MRD ($T=20/100, 200, 300, 400, 500, 600, 700$ e 800 °C).

- (iii) Em relação as previsões de resistências finais definidas pelas Eqs. (5.1) e (5.2) para colunas submetidas as temperaturas elevadas ($T \geq 100$ °C), observa-se que os resultados $f_{n.FT.T}$ são seguros e razoavelmente precisos referentes a faixa de esbeltez moderada e alta $\lambda_{FT.T} > 1,5$, independentemente da temperatura. Portanto, conclui-se que o conjunto de curvas baseadas no MRD proposto por

[15], constitui uma abordagem eficiente para colunas com $\lambda_{FT.T} > 1,5$, ver as linhas vermelhas na Figura 5.1.

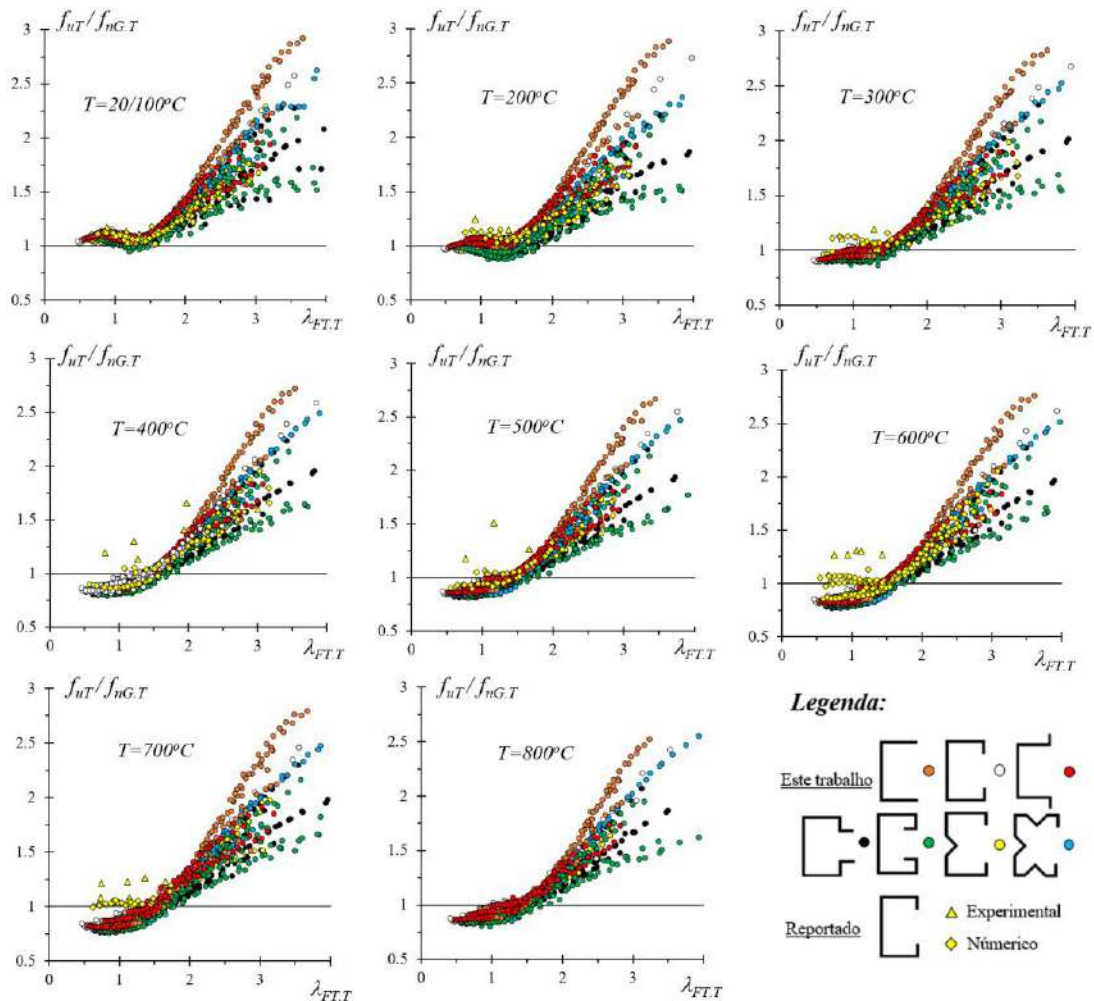


Figura 5.2: Plotes $f_{u,T}/f_{n,G,T}$ para todas as forças últimas analisadas. ($T=20/100, 200, 300, 400, 500, 600, 700$ e 800 °C).

- (iv) Todavia, a maioria das resistências finais relativas as colunas de baixa e moderada esbeltez $\lambda_{FT.T} \leq 1,5$ são visivelmente superestimadas pelo MRD, pois estão abaixo da curva (nota-se que as curvas $f_{n.G.T}$ e $f_{n.FT.T}$ coincidem para $\lambda_{FT.T} \leq 1,5$).
- (v) A análise dos gráficos $f_{u.T} / f_{n.G.T}$ vs $\lambda_{FT.T}$ e $f_{u.T} / f_{n.FT.T}$ vs $\lambda_{FT.T}$, apresentados nas Figuras 5.2 e 5.3, respectivamente, atesta que diversas previsões de resistência são excessivamente inseguras para colunas submetidas a temperaturas acima de 100 °C. Os números de tais previsões aumentam com a elevação da temperatura. Os indicadores apresentados na Tabela 5.1 para $f_{u.T} / f_{n.G.T}$ e $f_{u.T} /$

$f_{n,FT,T}$ mostram que as colunas inseguras ($f_{u,T} / f_{n,G,T}$ e $f_{u,T} / f_{n,FT,T} \leq 0,95$) variam entre 129 ($T=200\text{ °C}$ – 31% de 421) e 374 ($T=800\text{ °C}$ – 74% de 503). Observa-se que há diferença entre as seções analisadas, no qual a seção *U*, com aços de alto desempenho ($\sigma_y \geq 300\text{ MPa}$), apresentou as maiores resistências para $\lambda_{FT,T} > 1,5$ (ver os pontos laranjas). Nesse contexto, os perfis *RLC* apresentaram os menores valores (pontos verdes).

- (vi) A qualidade da previsão de resistência final não é significativamente afetada devido ao modelo constitutivo do aço (curvas tensão vs deformação para diferentes temperaturas), uma vez que os valores numéricos reportados por HEVA [18] se sobrepõem muito bem com aqueles obtidos nesta dissertação. Entretanto, os valores para colunas com $\lambda_{FT,T} < 1,5$ sujeitas as temperaturas de 600 e 700 °C são extremamente compatíveis com o MRD, em contradição com os apresentados nesta dissertação. Isso ocorre, provavelmente, devido ao modelo constitutivo do aço empregado – HEVA [18] utilizou diferentes modelos para os tipos de aço G250, G450 e G550 (ver Eqs. (2.12) a (2.18)).
- (vii) Todas as colunas testadas experimentalmente por HEVA [18] apresentaram, para $\lambda_{FT,T} \leq 1,5$, resultados seguros e razoavelmente compatíveis com as Eqs. (5.1) e (5.2), que são idênticas para essa faixa de esbeltez. Os indicadores estatísticos, $f_{u,T} / f_{n,G,T}$ ou $f_{u,T} / f_{n,FT,T}$ apresentados na Tabela 5.2 para média, desvio padrão, máxima e mínima varia entre 1,10 (300 °C) e 1,24 (500-600 °C), 0,02 (20 °C) e 0,18 (500 °C), 1,17 (20 °C) e 1,51 (500 °C), 1,01 (300 °C) e 1,13 (400 °C), respectivamente.
- (viii) A fim de quantificar o impacto do modelo constitutivo do aço para diferentes temperaturas, uma única coluna ($C_2 - L_3$) é analisada para tensões de escoamento de modo que o $\lambda_{FT,20} = 0,75-1,5-2,5$, submetidas as temperaturas $T=20, 300, 500$ e 700 °C e considerando os quatro modelos constitutivos (EC3:1-2, G250, G450 e G550). A Figura 5.4 compara os valores $f_{u,T} / \sigma_{y,T}$ com os modelos de aço e aponta leves diferenças entre $\lambda_{FT,20} = 1,5-2,5$, independente da temperatura. Todavia, com $\lambda_{FT,T} = 0,75$ o EC3-1.2 [16] é visivelmente divergente dos demais com o aumento da temperatura, resultando nos menores valores para temperaturas elevadas. A Tabela 5.5 sumariza os resultados utilizados na Figura 5.4.

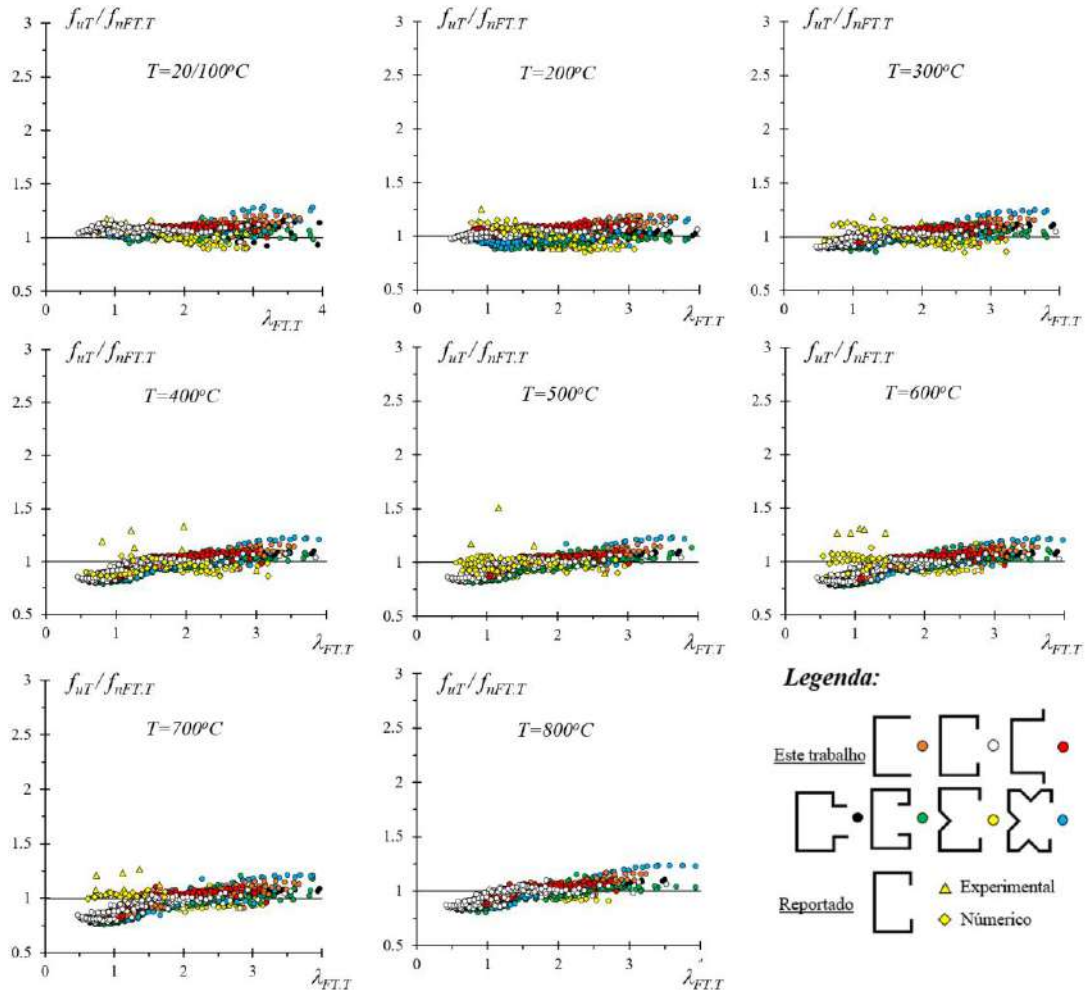


Figura 5.3: Plotes $f_{uT}/f_{nFT,T}$ para todas as tensões últimas analisadas ($T=20/100, 200, 300, 400, 500, 600, 700$ e 800°C).

- (ix) Finalmente, levando em consideração os resultados apresentados nos itens anteriores, pode-se argumentar que a atual curva do MRD não é capaz de prever adequadamente as resistências finais de flexo-torção para colunas com $\lambda_{FT,T} \leq 1,5$ sob temperaturas elevadas. Ao todo 2168 colunas exibem valores de $f_{uT}/f_{nFT,T}$ ou $f_{uT}/f_{nG,T} \leq 0,95$. Para aprimorar tais resultados, é necessário modificar/diminuir a curva de resistência existente na Eq. (5.2) para as faixas de baixa e moderada esbeltez.

Tabela 5.1: Indicadores ($f_{u,T}/f_{n,G,T}$, $f_{u,T}/f_{n,FT,T}$ e $f_{u,T}/f_{n,FT,T*}$) estatísticos para as colunas analisadas numericamente nesta dissertação ($T=20/100, 200, 300, 400$ e 500 °C).

T (°C)		20/100		200		300		400		500	
λ_{FTT}		$\leq 1,5$	$> 1,5$	$\leq 1,5$	$> 1,5$	$\leq 1,5$	$> 1,5$	$\leq 1,5$	$> 1,5$	$\leq 1,5$	$> 1,5$
n		417	633	421	629	432	618	445	605	464	586
$f_{u,T}/f_{n,G,T}$	<i>Med</i>	1,06	1,52	0,98	1,44	0,96	1,47	0,89	1,42	0,90	1,41
	<i>DP</i>	0,03	0,29	0,04	0,29	0,04	0,29	0,05	0,28	0,05	0,27
	<i>Max</i>	1,15	2,92	1,11	2,87	1,07	2,82	1,04	2,72	1,05	2,67
	<i>Min</i>	0,94	1,00	0,87	0,91	0,86	0,96	0,79	0,90	0,80	0,95
	$< 0,95$	1	0	129	6	195	0	365	4	361	1
$f_{u,T}/f_{n,FT,T}$	<i>Med</i>	1,06	1,06	0,98	1,01	0,96	1,03	0,89	1,01	0,90	1,02
	<i>DP</i>	0,03	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,04
	<i>Max</i>	1,15	1,28	1,11	1,19	1,07	1,24	1,04	1,22	1,05	1,23
	<i>Min</i>	0,94	0,89	0,87	0,84	0,86	0,88	0,79	0,87	0,80	0,90
	$< 0,95$	1	15	129	136	195	27	365	82	361	50
$f_{u,T}/f_{n,FT,T*}$	<i>Med</i>	1,06	1,06	1,03	1,01	1,05	1,03	1,00	1,01	1,04	1,02
	<i>DP</i>	0,03	0,04	0,05	0,06	0,03	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04
	<i>Max</i>	1,15	1,28	1,18	1,19	1,16	1,24	1,12	1,22	1,16	1,23
	<i>Min</i>	0,94	0,89	0,88	0,84	0,89	0,88	0,89	0,87	0,92	0,90
	$< 0,95$	1	15	57	136	8	27	53	82	18	50

Tabela 5.2: Indicadores ($f_{u,T}/f_{n,G,T}$, $f_{u,T}/f_{n,FT,T}$ e $f_{u,T}/f_{n,FT,T*}$) estatísticos para as colunas analisadas numericamente nesta dissertação ($T= 500, 600, 700$ e 800 °C).

T (°C)		600		700		800	
λ_{FTT}		$\leq 1,5$	$> 1,5$	$\leq 1,5$	$> 1,5$	$\leq 1,5$	$> 1,5$
n		434	616	417	633	508	542
$f_{u,T}/f_{n,G,T}$	<i>Med</i>	0,87	1,44	0,86	1,44	0,91	1,37
	<i>DP</i>	0,05	0,29	0,05	0,30	0,05	0,24
	<i>Max</i>	1,03	2,75	1,04	2,79	1,06	2,54
	<i>Min</i>	0,76	0,91	0,75	0,87	0,80	0,93
	$< 0,95$	372	5	371	14	374	2
$f_{u,T}/f_{n,FT,T}$	<i>Med</i>	0,87	1,01	0,86	1,00	0,91	1,02
	<i>DP</i>	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04
	<i>Max</i>	1,03	1,21	1,04	1,21	1,06	1,23
	<i>Min</i>	0,76	0,88	0,75	0,84	0,80	0,91
	$< 0,95$	372	113	371	139	374	33
$f_{u,T}/f_{n,FT,T*}$	<i>Med</i>	1,00	1,01	0,96	1,00	1,00	1,02
	<i>DP</i>	0,04	0,05	0,04	0,05	0,03	0,04
	<i>Max</i>	1,12	1,21	1,08	1,21	1,11	1,23
	<i>Min</i>	0,88	0,88	0,85	0,84	0,88	0,91
	$< 0,95$	91	113	193	139	76	33

Tabela 5.3: Indicadores ($f_{u,T}/f_{n,G,T}$, $f_{u,T}/f_{n,FT,T}$ e $f_{u,T}/f_{n,FT,T^*}$) estatísticos para as colunas testadas experimentalmente por HEVA [18] ($T=20/100, 200, 300, 400, 500, 600$ e 700 °C).

T (°C)		20		200		300		400		500		600		700	
λ_{FTT}		$\leq 1,5$	$> 1,5$	$\leq 1,5$	$> 1,5$	$\leq 1,5$	$> 1,5$	$\leq 1,5$	$> 1,5$	$\leq 1,5$	$> 1,5$	$\leq 1,5$	$> 1,5$	$\leq 1,5$	$> 1,5$
n		3	3	3	3	3	1	3	3	3	2	6	0	5	1
$f_{u,T}/f_{n,G,T}$	<i>Med</i>	1,14	1,37	1,17	1,31	1,10	1,43	1,21	1,56	1,24	1,34	1,24	0,00	1,17	1,23
	<i>DP</i>	0,02	0,24	0,05	0,16	0,06	0,00	0,06	0,10	0,18	0,08	0,07	0,00	0,07	0,00
	<i>Max</i>	1,17	1,72	1,25	1,55	1,19	1,43	1,30	1,66	1,51	1,42	1,31	0,00	1,27	1,23
	<i>Min</i>	1,11	1,16	1,12	1,11	1,01	1,43	1,13	1,41	1,04	1,27	1,03	0,00	1,08	1,23
	$<0,95$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$f_{u,T}/f_{n,FT,T}$	<i>Med</i>	1,14	1,03	1,17	0,95	1,10	1,14	1,21	1,12	1,24	1,02	1,24	0,00	1,17	1,12
	<i>DP</i>	0,02	0,03	0,05	0,06	0,06	0,00	0,06	0,14	0,18	0,13	0,07	0,00	0,07	0,00
	<i>Max</i>	1,17	1,06	1,25	1,04	1,19	1,14	1,30	1,33	1,51	1,15	1,31	0,00	1,27	1,12
	<i>Min</i>	1,11	1,00	1,12	0,89	1,01	1,14	1,13	0,92	1,04	0,90	1,03	0,00	1,08	1,12
	$<0,95$	0	0	0	2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
$f_{u,T}/f_{n,FT,T^*}$	<i>Med</i>	1,14	1,03	1,22	0,95	1,19	1,14	1,36	1,12	1,45	1,02	1,45	0,00	1,33	1,12
	<i>DP</i>	0,02	0,03	0,08	0,06	0,09	0,00	0,09	0,14	0,17	0,13	0,10	0,00	0,07	0,00
	<i>Max</i>	1,17	1,06	1,33	1,04	1,26	1,14	1,43	1,33	1,70	1,15	1,57	0,00	1,46	1,12
	<i>Min</i>	1,11	1,00	1,15	0,89	1,05	1,14	1,22	0,92	1,20	0,90	1,29	0,00	1,20	1,12
	$<0,95$	0	0	0	2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0

Tabela 5.4: Indicadores ($f_{u,T}/f_{n,G,T}$, $f_{u,T}/f_{n,FT,T}$ e $f_{u,T}/f_{n,FT,T^*}$) estatísticos para as colunas analisadas numericamente por HEVA [18] ($T=20/100, 200, 300, 400, 500, 600$ e 700 °C).

T (°C)		20		200		300		400		500		600		700	
λ_{FTT}		$\leq 1,5$	$> 1,5$	$\leq 1,5$	$> 1,5$	$\leq 1,5$	$> 1,5$	$\leq 1,5$	$> 1,5$	$\leq 1,5$	$> 1,5$	$\leq 1,5$	$> 1,5$	$\leq 1,5$	$> 1,5$
n		34	44	16	23	16	23	18	21	22	17	37	2	37	2
$f_{u,T}/f_{n,G,T}$	<i>Med</i>	1,09	1,29	1,09	1,31	1,09	1,33	0,92	1,32	0,97	1,28	1,02	1,04	1,03	1,17
	<i>DP</i>	0,02	0,15	0,03	0,16	0,03	0,17	0,05	0,17	0,05	0,15	0,03	0,00	0,01	0,03
	<i>Max</i>	1,13	1,76	1,15	1,76	1,16	1,80	1,06	1,80	1,06	1,71	1,13	1,05	1,08	1,19
	<i>Min</i>	1,03	1,02	1,03	1,04	1,00	1,06	0,86	0,98	0,89	1,01	0,89	1,04	1,00	1,14
	$<0,95$	0	0	0	0	0	0	14	0	11	0	3	0	0	0
$f_{u,T}/f_{n,FT,T}$	<i>Med</i>	1,09	1,00	1,09	0,98	1,09	0,97	0,92	0,96	0,97	0,99	1,02	0,96	1,03	1,04
	<i>DP</i>	0,02	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05	0,03	0,05	0,03	0,03	0,00	0,01	0,03
	<i>Max</i>	1,13	1,16	1,15	1,06	1,16	1,09	1,06	1,03	1,06	1,05	1,13	0,96	1,08	1,06
	<i>Min</i>	1,03	0,90	1,03	0,88	1,00	0,86	0,86	0,86	0,89	0,90	0,89	0,95	1,00	1,01
	$<0,95$	0	8	0	4	0	8	14	7	11	3	3	0	0	0
$f_{u,T}/f_{n,FT,T^*}$	<i>Med</i>	1,09	1,00	1,13	0,98	1,18	0,97	1,03	0,96	1,11	0,99	1,18	0,96	1,15	1,04
	<i>DP</i>	0,02	0,04	0,05	0,04	0,07	0,04	0,05	0,03	0,06	0,03	0,09	0,00	0,05	0,03
	<i>Max</i>	1,13	1,16	1,22	1,06	1,29	1,09	1,19	1,03	1,26	1,05	1,35	0,96	1,23	1,06
	<i>Min</i>	1,03	0,90	1,04	0,88	1,05	0,86	0,96	0,86	1,01	0,90	1,00	0,95	1,05	1,01
	$<0,95$	0	8	0	4	0	8	0	7	0	3	0	0	0	0

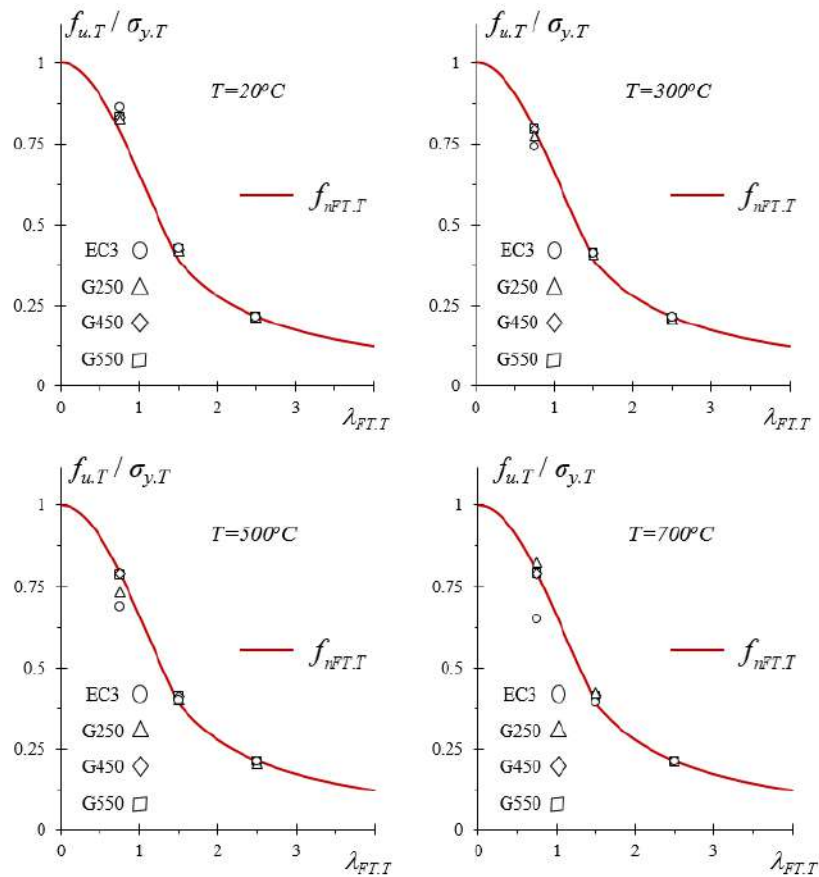


Figura 5.4: Comparação entre a curva $f_{FT,T}$ e os valores $f_{u,T} / \sigma_{y,T}$ de $C_2 - L_3$ para $\lambda_{FT,20} = 0,75-1,5-2,5$ com $T=20, 300, 500$ e 700°C , obtidos com os modelos constitutivos EC3:1-2, G250, G450 e G550.

Tabela 5.5: Influência do modelo constitutivo no valores $f_{u,T} / \sigma_{y,T}$ de $C_2 - L_3$ para $\lambda_{FT,20} = 0,75-1,5-2,5$ com $T=20, 300, 500$ e 700°C .

$\lambda_{FT,T}$	Modelo	$f_{u,T} / \sigma_{y,T}$			
		20 °C	300 °C	500 °C	700 °C
0,75	EC3:1-2	0,86	0,74	0,69	0,65
	G250	0,83	0,78	0,73	0,82
	G450	0,83	0,79	0,79	0,79
	G550	0,83	0,79	0,79	0,79
1,5	EC3:1-2	0,43	0,41	0,40	0,39
	G250	0,42	0,41	0,40	0,42
	G450	0,42	0,41	0,41	0,41
	G550	0,42	0,41	0,41	0,41
2,5	EC3:1-2	0,22	0,21	0,21	0,21
	G250	0,21	0,21	0,20	0,21
	G450	0,21	0,21	0,21	0,21
	G550	0,21	0,21	0,21	0,21

5.1 Ajustes na curva proposta por DINIS *et al.* [15] para temperaturas elevadas

Com base nos dados numéricos de força última coletados nessa dissertação (Capítulo 4.3), uma primeira tentativa foi realizada para modificar/diminuir a curva do MRD disponível, válida para a faixa de esbeltez baixa e moderada. Tal alteração foi desenvolvida de modo que fosse capaz prever as resistências finais de colunas metálicas que falham nos modos de flexo-torção para temperaturas elevadas. A ideia principal por trás dessa tentativa foi incorporar um fator de redução correlacionado com a temperatura (η) na equação da curva para $\lambda_{FT.T} \leq 1,5$, mantendo a Eq. (5.2) para $\lambda_{FT.T} > 1,5$. O procedimento adotado para ajustar as curvas se deu pela estratégia da “tentativa e erro”, levando a expressão nomeada de $f_{n.FT.T*}$ (o asterisco identifica a presença da modificação em $\lambda_{FT.T} \leq 1,5$), apresentadas nas Eqs. (5.3) e (5.4).

$$f_{n.FT.T*} = \begin{cases} \sigma_{y.T} (\eta \cdot 0,658)^{\eta^{1,2} \cdot \lambda_{FT.T}^2} & \text{para } \lambda_{FT.T} \leq 1,5 \\ \sigma_{y.T} \left(\frac{a}{\lambda_{FT.T}^b} \right) & \text{para } \lambda_{FT.T} > 1,5 \end{cases} \quad (5.3)$$

$$\eta = 1,3 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 - 1,4 \cdot 10^{-3} \cdot T + 1,127 \quad (5.4)$$

Esse conjunto de curvas difere da Eq. (5.2) na presença do fator η que multiplica o coeficiente 0,658 e o expoente $\lambda_{FT.T}$, o qual está elevado a 1,2. As curvas baseadas no MRD codificado fornecidas pelas Eqs. (5.3) e (5.4) são exibidas na Figura 5.5 e também são plotadas na Figura 5.1 como linhas sólidas azuis. É possível perceber que para temperatura ambiente/moderada ($T=20/100$ °C) a curva se mantém a mesma ($\eta=1$). Uma vez que a modificação da curva de projeto atual foi baseada nas forças últimas obtidas nesta dissertação, adotando o modelo constitutivo do aço proveniente do EC3-1.2 [16], logo as novas curvas ($\lambda_{FT.T} \leq 1,5$) são ordenadas de acordo com os dados anteriores, ou seja, na sequência $T=20/100, 200, 300, \underline{800}, 400, \underline{700}, 500$ e 600 °C).

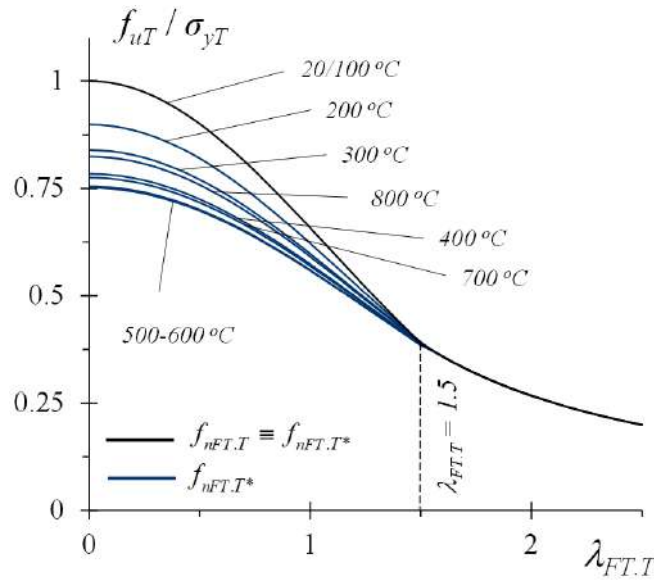


Figura 5.5: Curva modificada para colunas sob flexo-torção em condição de $T=20/100, 200, 300, 400, 500, 600, 700$ e 800 °C.

A fim de avaliar a qualidade das previsões de tensões últimas, a Figura 5.6 expressa as relações $f_{u,T} / f_{nFT,T}^*$ vs $\lambda_{FT,T}$, enquanto que os indicadores estatísticos são fornecidos nas Tabelas 5.1 a 5.4 e os valores de $f_{u,T} / f_{nFT,T}^*$ para todas as colunas analisadas nessa pesquisa são fornecidos no Apêndice A. A observação dos resultados apresentados nas figuras e tabelas permite os seguintes comentários:

- (i) Apesar da simplicidade da modificação, a qualidade da previsão de força última para flexo-torção melhorou consideravelmente para colunas com $\lambda_{FT,T} \leq 1,5$. Naturalmente, os resultados experimentais e numéricos provenientes de HEVA [18] ficaram um pouco mais seguros e precisos, como apontado pelos valores estatísticos $f_{u,T} / f_{nFT,T}^*$ mostrados nas Tabelas 5.3 e 5.4.
- (ii) Na prática, a média, desvios padrão, máxima e mínimo, variam entre 1,03 a 1,45, 0,02 a 0,17, 1,13 a 1,70, 0,96 a 1,29, respectivamente.

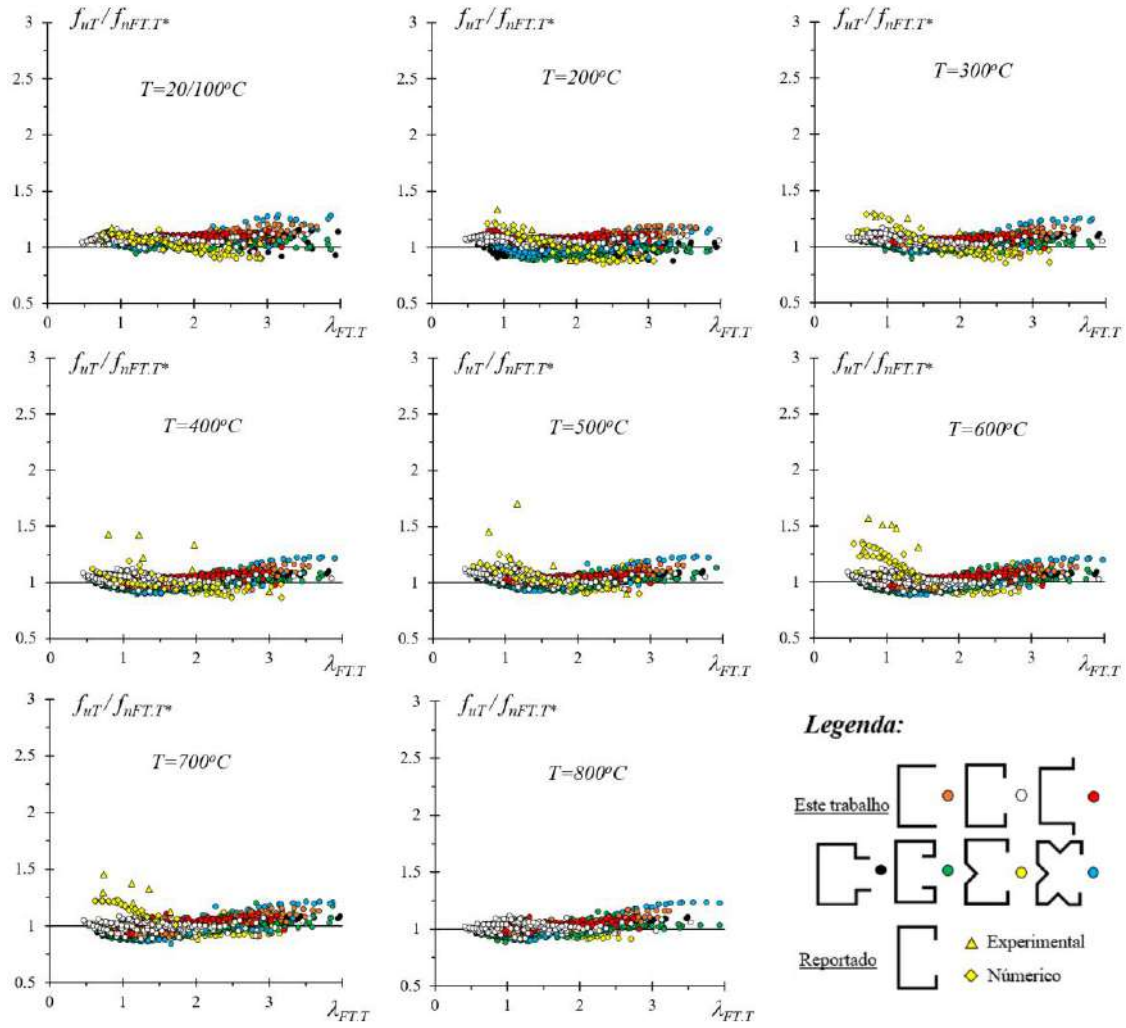


Figura 5.6: Plotes $f_{u,T} / f_{n,FT,T}^*$ para todas as tensões últimas analisadas ($T=20/100$, 200, 300, 400, 500, 600, 700 e 800 °C).

- (iii) Os indicadores estatísticos $f_{u,T} / f_{n,FT,T}^*$ relativos as resistências últimas por flexo-torção obtidas nessa pesquisa para colunas com $\lambda_{FT,T} \leq 1,5$, dados na Tabela 5.1, também se tornaram excelentes e são similares para todas as temperaturas estudadas. Os valores para média, desvio padrão, máxima e mínimo variam entre 0,96 a 1,06, 0,03 a 0,05, 1,12 a 1,16, 0,88 a 0,94, respectivamente. Entretanto, vale a pena mencionar que os números de colunas inseguras ainda são substanciais para $T \geq 600$ °C, sendo que a 700 °C foram registrados os maiores números, mesmo tendo os valores de superestimação reduzidos em mais da metade (a redução foi de 89% para 44% no número de colunas inseguras).

6 Considerações Finais

Essa pesquisa apresentou os resultados de uma investigação, iniciada por DINIS *et al.* [15] sobre o comportamento de pós-flambagem, tensão última e dimensionamento via MRD para colunas de PFF que sofrem colapso por flexo-torção. O escopo dessa pesquisa foi estendido para cobrir colunas sujeitas as temperaturas elevadas, normalmente causados por condições de incêndio.

Depois de fornecer uma visão geral sobre a seleção das colunas e a influência da temperatura no comportamento de pós-flambagem, foram obtidas forças últimas de 8400 colunas bi engastadas exibindo (i) sete seções distintas com cinco geometrias cada, (ii) com seis comprimentos por seção, (iii) cinco tensões de escoamento, escolhidas para cobrir amplas faixas de esbeltez ($0,42 \leq \lambda_{FT,T} \leq 4,47$) e (iv) oito temperaturas uniformes (até 800 °C). As forças últimas obtidas nessa dissertação, juntamente com os 39 valores experimentais e 312 numéricos relatados por HEVA [18], foram utilizadas para propor uma primeira contribuição para dimensionamento via MRD para colunas que sofrem flambagem global por flexo-torção em condições de incêndio. Dentre as contribuições apontadas nessa dissertação, as seguintes merecem ser especialmente mencionadas:

- (i) Independentemente da temperatura, os resultados de $f_{u,T} / \sigma_{y,T}$ vs $\lambda_{FT,T}$ seguem o mesmo padrão de curva, nos quais há dispersão vertical acentuada para $\lambda_{FT,T} \leq 1,5$ sob temperaturas elevadas para as colunas analisadas por [18], entretanto não há dispersão visível para $\lambda_{FT,T} > 1,5$.
- (ii) Os resultados referentes a $\lambda_{FT,T} \leq 1,5$ para temperaturas elevadas ($T > 100$ °C) foram inferiores aos resultados apresentados para temperatura ambiente/moderada ($T = 20/100$ °C). Essa condição não se aplica para as colunas com $\lambda_{FT,T} > 1,5$.
- (iii) Em relação as forças últimas para temperatura ambiente/moderada, observou-se que as colunas com $\lambda_{FT,T} > 1,5$ estão visivelmente subestimadas pela atual curva do MRD. Essa constatação deu origem a proposta apresentada por [15] em relação a um novo conjunto de curvas baseadas no MRD, que mostrou melhorar substancialmente a qualidade da previsão das forças últimas. Por outro lado, a maioria das forças últimas de colunas $\lambda_{FT,T} \leq 1,5$ para temperaturas

elevadas são visivelmente superestimadas – a curva proposta por [15] coincide com a atual do MRD para $\lambda_{FT.T} \leq 1,5$.

- (iv) As curvas propostas por [15], incluindo o fator da temperatura, foram utilizadas para prever as forças últimas das colunas sob temperaturas elevadas. Previsões seguras e precisas são fornecidas apenas para colunas com $\lambda_{FT.T} > 1,5$. Para a outra faixa de esbeltez, várias forças últimas são claramente superestimadas, mostrando assim que alguma modificação é necessária.
- (v) A curva de resistência existente para $\lambda_{FT.T} \leq 1,5$, foi modificada através da multiplicação e elevação do fator de redução dependente da temperatura, η . Apesar da simplicidade inerente dessa modificação, o conjunto de curva resultou em uma melhora considerável da qualidade de previsão de força última, proporcionando assim um incentivo para prosseguir ao longo desse caminho na busca por uma eficiente abordagem do MRD para colunas que falham por flexo-torção para temperaturas elevadas.

6.1 Sugestões para trabalhos futuros

Os resultados apresentados nesta dissertação ilustram que a curva do MRD não atende ao dimensionamento de colunas com falha de flexo-torção para temperaturas elevadas, assim como a proposta de DINIS *et al.* [15]. As modificações sugeridas nesta pesquisa auxiliam o desenvolvimento de uma abordagem de projeto geral e unificada baseada no MRD para colunas em PFF com modo de falha por flexo-torção. Nesse contexto, sugere-se estender esta investigação para fornecer evidências adicionais sobre a adequação dessas curvas ou orientação sobre como melhorá-las, dessa forma, segue sugestões para trabalhos futuros:

- (i) Análises numéricas envolvendo outras condições de apoio, como por exemplo a simplesmente apoiada e a rotulada.
- (ii) Desenvolvimento de uma campanha experimental, selecionando cuidadosamente as colunas para sofrer falha global por flexo-torção para temperatura ambiente (20° C), moderada (100 °C) e elevadas. Entretanto, sugere-se abordar mais de um tipo de seção transversal para correlacionar com os ensaios realizados por HEVA [18] que abordaram exclusivamente seção C.

7 Referências bibliográficas

- [1] CBCA. “Construção em aço e sustentabilidade”, Centro Brasileiro da Construção em Aço, 2020. Acessível: <https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/vantagens-e-sustentabilidade>
- [2] AISI - AMERICAN IRON AND STEEL INSTITUTE. AISI-S100-16: North American Specification for the design of Cold-Formed Steel Structural Members. Washington Dc, 2016.
- [3] SA - STANDARDS AUSTRALIA. Australian/New Zealand Standard 4600: Cold-formed Steel Structures. Sydney, 2005.
- [4] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.
- [5] SCHAFER, B.W. “Review: The Direct Strength Method of cold-formed steel member design”, *Journal of Constructional Steel Research*, v. 68 (7-8), p. 766-778, 2008.
- [6] CAMOTIM, D., DINIS, P. B., MARTINS, A. D. “Direct Strength Method (DSM) – a general approach for the design of cold-formed steel structures”, *Recent Trends in Cold-Formed Steel Construction*, C. Yu (ed.), Woodhead Publishing (Series in Civil and Structural Engineering), p. 69-105, Amsterdam, 2016.
- [7] SCHAFER, B.W., PEKÖZ, T. “Direct strength prediction of cold-formed steel members using numerical elastic buckling solutions”, *Proceedings of 14th International Specialty Conference on Cold-formed Steel Structures*, p. 69-76. St. Louis, 1998.
- [8] HANCOCK, G. J., KWON, Y.B., BERNARD, E.S. “Strength design curves for thin-walled sections undergoing distortional buckling”, *Journal of Constructional Steel Research*, v. 31 (2-3), p. 169-186, 1994.
- [9] ZIEMIAN, R. 2010, *Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures* (6th edition). Hoboken.
- [10] DINIS P.B., CAMOTIM D., MARTINS A.D. “On the accuracy of the current Direct Strength Method (DSM) design curve for columns failing in global modes”, *Proceedings of Structural Stability Research Council (SSRC) Annual Stability Conference*, Baltimore, 2018.

- [11] DINIS, P. B., CAMOTIM, D., LANDESMANN, A., MARTINS, A. D. “On the direct strength method design of columns against global failures”, *Thin-Walled Structures*, v. 139, p. 242-270, 2019.
- [12] MARTINS, A.D., CAMOTIM, D., DINIS, P.B. “On the distortional-global interaction of cold-formed steel columns: relevance, post-buckling, strength and DSM design”, *Structural Stability Research Council (SSRC) Annual Stability Conference*, San Antonio, 2017.
- [13] MARTINS, A.D., CAMOTIM, D., DINIS, P.B. “On the distortional-global interaction of cold-formed steel columns: relevance, post-buckling, strength and DSM design”, *Journal of Construction Steel Research*, v. 145, p. 449-470, 2018.
- [14] DINIS, P.B., CAMOTIM, D., LANDESMANN, A., MARTINS A.D. “Accurate Direct Strength Method (DSM) Prediction of Column Flexural-Torsional Failure Loads”, *Structural Stability Research Council (SSRC) Annual Stability Conference*. St. Louis, 2019.
- [15] DINIS, P.B., CAMOTIM, D., LANDESMANN, A., MARTINS A.D. “Improving the Direct Strength Method prediction of column flexural-torsional failure loads”, *Thin-Walled Structures*, v.148, 2020.
- [16] Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 1-2: General Rules – *Structural Fire Design*, Comité Européen de Normalisation (CEN). Brussels, 2005.
- [17] ANSYS. Version 12: SAS – Swanson Analysis Systems Inc., 2009.
- [18] HEVA, B. Y. “Behaviour and design of cold-formed steel compression members at elevated temperatures”, *Thesis, Queensland University of Technology (QUT)*, 2009.
- [19] BEBIANO, R., CAMOTIM, D., GONÇALVES, R., “GBTUL 2.0 – a second-generation code for the GBT-based buckling and vibration analysis of thin-walled members”. *Thin-Walled Structures*, v. 124, p. 235-253, 2018.
- [20] REIS, A., CAMOTIM, D., 2000, *Estabilidade Estrutural*. Portugal, McGRAW-HILL.
- [21] LI, Z., SCHAFER, B. W. “Buckling analysis of cold-formed steel members with general boundary condition using CUFSM: Conventional and constrained finite strip methods”, *In: Twentieth International Specialty Conference on Cold-formed Steel Structures*, p. 1-15, 2010.

- [22] PEKÖZ, T., SÜMER, O. “Design Provisions for Cold-Formed Steel Columns and Beam-Column”, Research Report RP92-1, *American Iron and Steel Institute*, Washington DC, 1992.
- [23] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6355: Perfis estruturais de aço formados a frio - Padronização. Rio de Janeiro, 2012.
- [24] GUNALAN, S., MAHENDRAN, M. “Improved design rules for fixed ended cold-formed steel columns subject to flexural-torsional buckling”, *Thin-Walled Structures*, v. 73, p. 1-17, 2013.
- [25] RANBY, A. “Structural Fire Design of Thin Walled Steel Sections”, *Journal of Constructional Steel Research*, v. 46, p. 303-304, 1998.
- [26] OUTINEN, J., KAITILA, O., and MAKELAINEN P. “A study for the development of the design of steel structures in fire conditions”. *Proceedings of First International Workshop on Structures in Fire* (Copenhagen, June 19-20), p. 267-281, 2000.
- [27] KAITILA, O. “Imperfection sensitivity analysis of lipped channel columns at high temperatures”, *Journal of Constructional Steel Research*, v. 58, p. 333-351, 2002.
- [28] Eurocode 3: Design of Steel Structures – Part 1-3: General Rules – Supplementary Rules for Cold-formed members and sheeting, *Comité Européen de Normalisation* (CEN). Brussels, 2006.
- [29] FENG, M., WANG, Y. C., DAVIES, J. M. “Structural behavior of cold-formed thin-walled short steel channel columns at elevated temperatures. Part 1: experiments”, *Thin-Walled Structures*, v. 41, p. 543-570, 2003.
- [30] FENG, M., WANG, Y. C., DAVIES, J. M. “Structural behavior of cold-formed thin-walled short steel channel columns at elevated temperatures. Part 2: Design calculations and numerical analysis”, *Thin-Walled Structures*, v. 41, p. 571-594, 2003.
- [31] LEE, J. H., MAHENDRAN, M., MAKELAINEN, P. “Prediction of mechanical properties of light gauge steels at elevated temperatures”, *Journal of Constructional Steel Research*, v. 59, p. 1517-1532, 2003.
- [32] CHEN, J., YOUNG, B. “Experimental Investigation of cold-formed steel material at elevated temperatures”, *Thin-Walled Structures*, v. 45, p. 96-110, 2007.
- [33] CHEN J., YOUNG B. “Cold-formed steel lipped channel columns at elevated temperatures”, *Engineering Structures*, v. 29, p. 2445-2456, 2007.

- [34] RANAWAKA, T., and MAHENDRAN, M. "Distortional buckling tests of cold-formed steel compression members at elevated temperatures", *Journal of Constructional Steel Research*, v. 65, p. 249-259, 2009.
- [35] RANAWAKA, T. "Distortional buckling behavior of cold-formed steel compression members at elevated temperatures", *Thesis, Queensland University of Technology, Australia*, 2006.
- [36] GUNALAN, S., MAHENDRAN, M. "Experimental and numerical studies of fire exposed lipped channel columns subject to distortional buckling", *Fire Safety Journal*, v. 70, p. 34-45, 2014.
- [37] LANDESMANN, A., and CAMOTIM, D. "Distortional failure and design of cold-formed steel rack-section columns under fire conditions". *Proceedings of Fourth International Conference on Steel & Composite Structures (ICSCS - 2011 - Sydney, July 21-23)*, p. 287-289, 2010.
- [38] LANDESMANN, A., and CAMOTIM, D. "Distortional failure and design of cold-formed steel lipped channel columns under fire conditions". *Proceedings of SSRC Annual Stability Conference (Orlando, 12-15/5)*, 505-532, 2010.
- [39] LANDESMANN, A., and CAMOTIM, D. "DSM to predict distortional failures in cold-formed steel columns exposed to fire: effect of the constitutive law temperature-dependence", *Computers & Structures*, v. 147, p. 47-67, 2015.
- [40] LANDESMANN, A., CAMOTIM, D. "Distortional failure and DSM design of cold formed steel lipped channel beams under elevated temperatures", *Thin-Walled Structures*, v. 98, p. 75-93, 2016.
- [41] YU, C., SCHAFER, B.W. "Simulation of cold formed steel beams in local and distortional buckling with applications to the direct strength method", *Journal of Constructional Steel Research*, v. 63, p. 581-590, 2007.
- [42] SHAHBAZIAN, A., and WANG, Y. C. "Calculating the global buckling resistance of thin-walled steel members with uniform and non-uniform elevated temperatures under axial compression", *Thin-Walled Structures*, v. 49, p. 1415-1428, 2011.
- [43] SHAHBAZIAN, A., and WANG, Y. C. "Application of the direct strength method to local buckling resistance of thin-walled steel members with non-uniform elevated temperatures under axial compression", *Thin-Walled Structures*, v. 49, p. 1573-1583, 2012.

- [44] SHAHBAZIAN, A., and WANG, Y. C. “Direct Strength Method for calculating distortional buckling capacity of cold-formed thin-walled steel columns with uniform and non-uniform elevated temperatures”, *Thin-Walled Structures*, v. 53, p. 188-199, 2012.
- [45] SHAHBAZIAN, A., and WANG, Y. C. “A simplified approach for calculating temperatures in axially loaded cold-formed thin-walled steel studs in wall panel assemblies exposed to fire from one side”, *Thin-Walled Structures*, v. 64, p. 60-72, 2013.
- [46] SHAHBAZIAN, A., and WANG, Y. C. “A fire resistance design method for thin-walled steel studs in wall panel constructions exposed to parametric fires”, *Thin-Walled Structures*, v. 77, p.67-76, 2014.
- [47] KANKANAMGE, N. D., and MAHENDRAN, M. “Behaviour and design of cold-formed steel beams subject to lateral-torsional buckling at elevated temperatures”, *Thin-Walled Structures*, v. 61, p. 213-228, 2012.
- [48] KANKANAMGE, N. D. “Structural behavior and design of cold-formed steel beams at elevated temperatures”, *Thesis, Queensland University of Technology*, Australia, 2010.
- [49] GUNALAN, S., HEVA, B. Y., MAHENDRAN, M. “Flexural-torsional buckling Behaviour and Design of Cold-Formed Steel Compression Members at Elevated Temperatures”, *Engineering Structures*, v. 79, p. 149-168, 2014.
- [50] RANAWAKA, T., and MAHENDRAN, M. “Experimental study of the Mechanical Properties of Light Gauge Cold-Formed steels at Elevated Temperatures”. *Fire Safety Journal*, v. 44, p. 219-229, 2009.
- [51] KANKANAMGE, N. D, and MAHENDRAN, M. “Mechanical properties of Cold-formed steels at Elevated Temperatures”. *Thin-Walled structures*, v. 49, p. 26-44, 2010.
- [52] ELLOBODY, E., and YOUNG, B., “Behavior of Cold-Formed Steel Plain Angle Columns”. *Journal of Structural Engineering*, p. 457–466, 2005.

8 Apêndice A - Dados referentes às colunas selecionadas

As Tabelas 8.1 a 8.35 fornecem informações referentes a todas as forças últimas numéricas das colunas obtidas nessa dissertação, para temperatura ambiente/moderada e elevada, e suas estimativas baseadas no MRD. Cada tabela mostra os resultados de um tipo de seção geométrica – lembre-se que há seis comprimentos e cinco tensões de escoamento distintas. Portanto há cinco tabelas para cada seção transversal, o que leva ao total de 35 tabelas. Os valores apresentados são: (i) índice de esbeltez ($\lambda_{FT.T}$), (ii) razões entre tensão última e tensão de escoamento ($f_{u.T} / \sigma_{y.T}$), e (iii) razões da força última com três previsões teóricas ($f_{u.T} / f_{n.G.T}$, $f_{u.T} / f_{n.FT.T}$ e $f_{u.T} / f_{n.FT.T*}$).

Tabela 8.1: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna U_1 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.

L	T (°C)	$\sigma_{20}=75$ MPa					$\sigma_{20}=150$ MPa					$\sigma_{20}=300$ MPa					$\sigma_{20}=450$ MPa					$\sigma_{20}=600$ MPa				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{FT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{FT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{FT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{FT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{FT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,682	0,858	1,042	1,042	1,042	0,964	0,743	1,096	1,096	1,096	1,363	0,489	1,065	1,065	1,065	1,670	0,372	1,181	1,086	1,086	1,928	0,309	1,311	1,078	1,078
	200	0,678	0,816	0,989	0,989	1,079	0,959	0,671	0,985	0,985	1,054	1,356	0,488	1,053	1,053	1,084	1,661	0,370	1,162	1,073	1,073	1,918	0,308	1,293	1,068	1,068
	300	0,673	0,754	0,912	0,912	1,070	0,952	0,673	0,983	0,983	1,116	1,346	0,481	1,027	1,027	1,091	1,649	0,366	1,135	1,054	1,054	1,904	0,307	1,267	1,052	1,052
	400	0,657	0,690	0,826	0,826	1,024	0,929	0,623	0,894	0,894	1,063	1,314	0,476	0,980	0,980	1,075	1,609	0,369	1,091	1,032	1,032	1,858	0,310	1,220	1,033	1,033
	500	0,641	0,708	0,841	0,841	1,071	0,906	0,643	0,907	0,907	1,108	1,281	0,496	0,986	0,986	1,106	1,570	0,377	1,058	1,021	1,021	1,812	0,328	1,230	1,061	1,061
	600	0,671	0,667	0,806	0,806	1,019	0,948	0,606	0,883	0,883	1,067	1,341	0,457	0,970	0,970	1,069	1,643	0,356	1,096	1,021	1,021	1,897	0,295	1,209	1,007	1,007
	700	0,682	0,657	0,797	0,797	0,975	0,964	0,602	0,888	0,888	1,042	1,363	0,441	0,960	0,960	1,035	1,670	0,373	1,185	1,089	1,089	1,928	0,288	1,221	1,004	1,004
	800	0,601	0,732	0,852	0,852	0,991	0,850	0,705	0,955	0,955	1,084	1,202	0,539	0,988	0,988	1,068	1,473	0,415	1,028	1,028	1,059	1,615	0,384	1,140	1,076	1,076
L ₂	20/100	0,733	0,858	1,074	1,074	1,074	1,037	0,703	1,103	1,103	1,103	1,466	0,447	1,099	1,099	1,099	1,796	0,340	1,249	1,085	1,085	2,074	0,286	1,403	1,090	1,090
	200	0,729	0,809	1,010	1,010	1,099	1,031	0,659	1,028	1,028	1,093	1,458	0,442	1,077	1,077	1,095	1,786	0,339	1,233	1,076	1,076	2,062	0,284	1,380	1,077	1,077
	300	0,724	0,742	0,924	0,924	1,079	1,024	0,642	0,995	0,995	1,118	1,448	0,435	1,047	1,047	1,089	1,773	0,335	1,201	1,054	1,054	2,048	0,282	1,349	1,058	1,058
	400	0,707	0,674	0,831	0,831	1,022	0,999	0,597	0,906	0,906	1,064	1,413	0,433	0,999	0,999	1,068	1,731	0,336	1,149	1,027	1,027	1,998	0,285	1,298	1,038	1,038
	500	0,689	0,694	0,846	0,846	1,071	0,975	0,618	0,920	0,920	1,108	1,378	0,452	1,001	1,001	1,092	1,688	0,349	1,133	1,033	1,033	1,949	0,295	1,277	1,041	1,041
	600	0,721	0,650	0,808	0,808	1,015	1,020	0,591	0,913	0,913	1,087	1,443	0,416	0,994	0,994	1,064	1,767	0,332	1,182	1,040	1,040	2,040	0,277	1,313	1,033	1,033
	700	0,733	0,638	0,799	0,799	0,970	1,037	0,574	0,900	0,900	1,042	1,466	0,405	0,996	0,996	1,046	1,796	0,323	1,190	1,034	1,034	2,074	0,271	1,327	1,031	1,031
	800	0,647	0,720	0,858	0,858	0,994	0,914	0,676	0,960	0,960	1,081	1,293	0,495	0,996	0,996	1,061	1,584	0,379	1,084	1,038	1,038	1,829	0,318	1,214	1,040	1,040
L ₃	20/100	0,814	0,829	1,094	1,094	1,094	1,151	0,622	1,082	1,082	1,082	1,627	0,388	1,171	1,099	1,099	1,993	0,302	1,367	1,095	1,095	2,301	0,250	1,511	1,083	1,083
	200	0,809	0,782	1,028	1,028	1,112	1,144	0,593	1,025	1,025	1,079	1,618	0,384	1,146	1,080	1,080	1,982	0,299	1,340	1,078	1,078	2,289	0,249	1,487	1,070	1,070
	300	0,803	0,718	0,941	0,941	1,089	1,136	0,582	1,000	1,000	1,103	1,607	0,378	1,112	1,053	1,053	1,968	0,295	1,305	1,056	1,056	2,273	0,247	1,457	1,054	1,054
	400	0,784	0,651	0,842	0,842	1,025	1,109	0,551	0,923	0,923	1,060	1,568	0,377	1,056	1,019	1,019	1,921	0,297	1,247	1,029	1,029	2,218	0,250	1,404	1,036	1,036
	500	0,765	0,672	0,859	0,859	1,074	1,082	0,573	0,935	0,935	1,102	1,530	0,392	1,046	1,030	1,030	1,873	0,307	1,229	1,033	1,033	2,163	0,259	1,383	1,040	1,040
	600	0,800	0,625	0,817	0,817	1,013	1,132	0,566	0,967	0,967	1,123	1,601	0,363	1,060	1,007	1,007	1,961	0,287	1,259	1,022	1,022	2,264	0,243	1,418	1,029	1,029
	700	0,814	0,611	0,806	0,806	0,968	1,151	0,523	0,910	0,910	1,030	1,627	0,353	1,067	1,001	1,001	1,993	0,281	1,272	1,020	1,020	2,301	0,237	1,431	1,025	1,025
	800	0,718	0,702	0,871	0,871	1,002	1,015	0,628	0,967	0,967	1,075	1,435	0,431	1,021	1,021	1,059	1,758	0,333	1,174	1,037	1,037	2,030	0,281	1,318	1,042	1,042
L ₄	20/100	0,888	0,787	1,094	1,094	1,094	1,255	0,552	1,068	1,068	1,068	1,775	0,346	1,244	1,091	1,091	2,174	0,269	1,448	1,085	1,085	2,511	0,219	1,572	1,053	1,053
	200	0,883	0,746	1,034	1,034	1,112	1,248	0,532	1,021	1,021	1,063	1,765	0,342	1,217	1,071	1,071	2,162	0,266	1,417	1,066	1,066	2,497	0,218	1,549	1,042	1,042
	300	0,876	0,690	0,951	0,951	1,091	1,239	0,526	1,000	1,000	1,084	1,753	0,336	1,179	1,044	1,044	2,147	0,260	1,365	1,033	1,033	2,479	0,217	1,521	1,029	1,029
	400	0,855	0,627	0,851	0,851	1,025	1,210	0,507	0,935	0,935	1,051	1,711	0,335	1,119	1,010	1,010	2,095	0,270	1,353	1,043	1,043	2,419	0,220	1,471	1,014	1,014
	500	0,834	0,649	0,868	0,868	1,074	1,180	0,528	0,946	0,946	1,088	1,668	0,348	1,106	1,018	1,018	2,043	0,272	1,296	1,019	1,019	2,360	0,229	1,453	1,022	1,022
	600	0,873	0,600	0,825	0,825	1,010	1,235	0,491	0,929	0,929	1,053	1,746	0,323	1,125	0,999	0,999	2,139	0,259	1,349	1,023	1,023	2,470	0,213	1,481	1,005	1,005
	700	0,888	0,585	0,814	0,814	0,967	1,255	0,487	0,941	0,941	1,041	1,775	0,316	1,134	0,994	0,994	2,174	0,250	1,346	1,008	1,008	2,511	0,207	1,491	0,999	0,999
	800	0,783	0,681	0,880	0,880	1,006	1,107	0,586	0,978	0,978	1,074	1,566	0,383	1,069	1,034	1,034	1,917	0,298	1,248	1,030	1,030	2,214	0,250	1,396	1,031	1,031
L ₅	20/100	0,955	0,737	1,079	1,079	1,079	1,351	0,497	1,066	1,066	1,066	1,910	0,314	1,305	1,081	1,081	2,340	0,238	1,489	1,053	1,053	2,702	0,191	1,587	1,004	1,004
	200	0,950	0,705	1,029	1,029	1,101	1,343	0,481	1,023	1,023	1,054	1,900	0,310	1,277	1,062	1,062	2,327	0,237	1,463	1,039	1,039	2,687	0,191	1,569	0,997	0,997
	300	0,943	0,658	0,955	0,955	1,085	1,334	0,477	1,004	1,004	1,069	1,886	0,305	1,238	1,035	1,035	2,310	0,235	1,430	1,021	1,021	2,668	0,190	1,544	0,987	0,987
	400	0,920	0,602	0,859	0,859	1,023	1,302	0,465	0,946	0,946	1,040	1,841	0,304	1,175	1,002	1,002	2,255	0,237	1,374	1,000	1,000	2,604	0,194	1,501	0,977	0,977
	500	0,898	0,625	0,875	0,875	1,070	1,270	0,486	0,953	0,953	1,072	1,796	0,316	1,162	1,010	1,010	2,199	0,246	1,358	1,008	1,008	2,539	0,202	1,488	0,988	0,988
	600	0,940	0,579	0,838	0,838	1,013	1,329	0,455	0,952	0,952	1,053	1,879	0,293	1,179												

Tabela 8.2: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna U_2 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.

L	T (°C)	$\sigma_{20}=75$ MPa					$\sigma_{20}=150$ MPa					$\sigma_{20}=300$ MPa					$\sigma_{20}=450$ MPa					$\sigma_{20}=600$ MPa				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{NG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{NET.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{NET.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{NG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{NET.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{NET.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{NG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{NET.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{NET.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{NG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{NET.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{NET.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{NG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{NET.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{NET.T}^*}$
L ₁	20/100	0,877	0,781	1,078	1,078	1,078	1,240	0,556	1,058	1,058	1,058	1,754	0,356	1,250	1,080	1,080	2,148	0,275	1,448	1,036	1,036	2,480	0,257	1,800	1,126	1,126
	200	0,872	0,739	1,016	1,016	1,094	1,233	0,523	0,988	0,988	1,030	1,744	0,351	1,218	1,058	1,058	2,136	0,273	1,418	1,020	1,020	2,467	0,255	1,770	1,114	1,114
	300	0,866	0,681	0,932	0,932	1,070	1,225	0,527	0,986	0,986	1,072	1,732	0,345	1,179	1,031	1,031	2,121	0,269	1,381	0,999	0,999	2,449	0,254	1,736	1,099	1,099
	400	0,845	0,615	0,829	0,829	1,000	1,195	0,505	0,917	0,917	1,035	1,690	0,342	1,114	0,996	0,996	2,070	0,273	1,332	0,987	0,987	2,390	0,255	1,664	1,078	1,078
	500	0,824	0,637	0,846	0,846	1,049	1,166	0,526	0,928	0,928	1,072	1,648	0,354	1,096	1,003	1,003	2,019	0,285	1,325	1,004	1,004	2,331	0,262	1,623	1,076	1,076
	600	0,863	0,588	0,803	0,803	0,986	1,220	0,482	0,899	0,899	1,023	1,725	0,333	1,130	0,992	0,992	2,113	0,266	1,353	0,983	0,983	2,440	0,250	1,697	1,078	1,078
	700	0,877	0,574	0,792	0,792	0,943	1,240	0,469	0,893	0,893	0,991	1,754	0,330	1,158	1,001	1,001	2,148	0,265	1,392	0,996	0,996	2,480	0,246	1,725	1,080	1,080
	800	0,773	0,668	0,858	0,858	0,982	1,094	0,566	0,934	0,934	1,027	1,547	0,382	1,042	1,012	1,012	1,894	0,311	1,274	1,024	1,024	2,187	0,272	1,485	1,045	1,045
L ₂	20/100	0,972	0,717	1,065	1,065	1,065	1,375	0,481	1,062	1,062	1,062	1,945	0,321	1,384	1,086	1,086	2,382	0,267	1,727	1,122	1,122	2,750	0,227	1,956	1,112	1,112
	200	0,967	0,686	1,014	1,014	1,084	1,368	0,465	1,016	1,016	1,045	1,934	0,317	1,350	1,065	1,065	2,369	0,265	1,694	1,106	1,106	2,735	0,230	1,961	1,120	1,120
	300	0,960	0,638	0,939	0,939	1,064	1,358	0,460	0,996	0,996	1,055	1,920	0,310	1,305	1,036	1,036	2,352	0,262	1,652	1,086	1,086	2,716	0,229	1,927	1,108	1,108
	400	0,937	0,582	0,841	0,841	0,999	1,325	0,448	0,935	0,935	1,023	1,874	0,307	1,230	0,999	0,999	2,295	0,262	1,574	1,059	1,059	2,650	0,231	1,852	1,089	1,089
	500	0,914	0,605	0,858	0,858	1,046	1,293	0,468	0,942	0,942	1,053	1,828	0,316	1,202	1,000	1,000	2,239	0,269	1,535	1,057	1,057	2,585	0,238	1,810	1,090	1,090
	600	0,957	0,556	0,815	0,815	0,983	1,353	0,429	0,923	0,923	1,013	1,913	0,299	1,248	0,995	0,995	2,343	0,256	1,602	1,057	1,057	2,706	0,225	1,882	1,086	1,086
	700	0,972	0,541	0,804	0,804	0,942	1,375	0,417	0,919	0,919	0,988	1,945	0,294	1,268	0,995	0,995	2,382	0,252	1,630	1,059	1,059	2,750	0,221	1,909	1,085	1,085
	800	0,858	0,638	0,868	0,868	0,985	1,213	0,509	0,941	0,941	1,016	1,715	0,340	1,142	1,007	1,007	2,101	0,284	1,429	1,044	1,044	2,426	0,252	1,693	1,082	1,082
L ₃	20/100	1,047	0,664	1,051	1,051	1,051	1,481	0,435	1,091	1,091	1,091	2,094	0,300	1,499	1,098	1,098	2,565	0,248	1,859	1,128	1,128	2,962	0,212	2,121	1,125	1,125
	200	1,041	0,640	1,008	1,008	1,071	1,473	0,420	1,042	1,042	1,057	2,083	0,295	1,462	1,076	1,076	2,551	0,246	1,824	1,112	1,112	2,946	0,211	2,086	1,113	1,113
	300	1,034	0,602	0,942	0,942	1,056	1,462	0,417	1,020	1,020	1,058	2,068	0,290	1,412	1,047	1,047	2,533	0,243	1,780	1,092	1,092	2,925	0,210	2,045	1,098	1,098
	400	1,009	0,555	0,850	0,850	0,997	1,427	0,409	0,960	0,960	1,023	2,018	0,282	1,310	0,993	0,993	2,472	0,244	1,698	1,066	1,066	2,854	0,212	1,970	1,082	1,082
	500	0,984	0,577	0,866	0,866	1,041	1,392	0,429	0,965	0,965	1,050	1,969	0,287	1,269	0,985	0,985	2,411	0,250	1,659	1,066	1,066	2,784	0,219	1,932	1,086	1,086
	600	1,030	0,529	0,825	0,825	0,980	1,457	0,398	0,967	0,967	1,030	2,060	0,272	1,316	0,979	0,979	2,524	0,238	1,726	1,063	1,063	2,914	0,206	1,997	1,076	1,076
	700	1,047	0,515	0,815	0,815	0,941	1,481	0,379	0,948	0,948	0,992	2,094	0,272	1,361	0,997	0,997	2,565	0,234	1,753	1,063	1,063	2,962	0,202	2,021	1,072	1,072
	800	0,924	0,613	0,876	0,876	0,985	1,306	0,465	0,949	0,949	1,008	1,847	0,314	1,221	1,005	1,005	2,262	0,268	1,563	1,066	1,066	2,612	0,234	1,821	1,086	1,086
L ₄	20/100	1,090	0,635	1,044	1,044	1,044	1,542	0,413	1,120	1,091	1,091	2,180	0,288	1,563	1,103	1,103	2,670	0,237	1,926	1,125	1,125	3,083	0,190	2,065	1,055	1,055
	200	1,084	0,614	1,004	1,004	1,063	1,533	0,399	1,068	1,046	1,046	2,168	0,284	1,524	1,081	1,081	2,655	0,235	1,888	1,109	1,109	3,066	0,197	2,112	1,085	1,085
	300	1,076	0,580	0,943	0,943	1,050	1,522	0,395	1,044	1,030	1,030	2,153	0,279	1,473	1,052	1,052	2,636	0,233	1,843	1,090	1,090	3,044	0,198	2,097	1,084	1,084
	400	1,050	0,539	0,855	0,855	0,994	1,485	0,388	0,976	0,976	1,024	2,101	0,276	1,390	1,015	1,015	2,573	0,233	1,760	1,065	1,065	2,971	0,201	2,024	1,071	1,071
	500	1,024	0,561	0,870	0,870	1,038	1,449	0,405	0,974	0,974	1,042	2,049	0,284	1,358	1,015	1,015	2,509	0,240	1,722	1,066	1,066	2,898	0,208	1,988	1,076	1,076
	600	1,072	0,514	0,831	0,831	0,979	1,516	0,397	1,040	1,029	1,029	2,145	0,268	1,407	1,008	1,008	2,627	0,227	1,787	1,060	1,060	3,033	0,195	2,048	1,063	1,063
	700	1,090	0,499	0,821	0,821	0,941	1,542	0,374	1,014	0,988	0,988	2,180	0,257	1,391	0,981	0,981	2,670	0,221	1,797	1,050	1,050	3,083	0,191	2,070	1,058	1,058
	800	0,961	0,597	0,879	0,879	0,984	1,360	0,442	0,959	0,959	1,009	1,923	0,321	1,351	1,072	1,072	2,355	0,250	1,579	1,037	1,037	2,719	0,223	1,882	1,081	1,081
L ₅	20/100	1,118	0,616	1,039	1,039	1,039	1,581	0,401	1,141	1,086	1,086	2,235	0,281	1,603	1,105	1,105	2,738	0,230	1,965	1,121	1,121	3,161	0,193	2,201	1,099	1,099
	200	1,112	0,597	1,001	1,001	1,057	1,572	0,386	1,088	1,041	1,041	2,223	0,277	1,563	1,083	1,083	2,723	0,228	1,926	1,105	1,105	3,144	0,192	2,168	1,088	1,088
	300	1,104	0,566	0,943	0,943	1,046	1,561	0,383	1,063	1,024	1,024	2,207	0,272	1,512	1,054	1,054	2,703	0,226	1,879	1,086	1,086	3,122	0,191	2,126	1,074	1,074
	400	1,077	0,528	0,858	0,858	0,993	1,523	0,384	1,016	1,001	1,001	2,154	0,270	1,427	1,018	1,018	2,638	0,226	1,796	1,061	1,061	3,046	0,194	2,052	1,061	1,061
	500	1,051	0,550	0,873	0,873	1,035	1,486	0,397	1,000	1,000	1,057	2,101	0,277	1,394	1,018	1,018	2,573	0,233	1,759	1,064	1,064	2,971	0,201	2,019	1,068	1,068
	600	1,100	0,504	0,835	0,835	0,977	1,555	0,372	1,025	0,990	0,990	2,199	0,263	1,448												

Tabela 8.3: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna U_3 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.

L	T (°C)	$\sigma_{y20}=75\text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=150\text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=300\text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=450\text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=600\text{ MPa}$				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}^*}$
L ₁	20/100	1,073	0,639	1,034	1,034	1,034	1,517	0,407	1,068	1,055	1,055	2,146	0,303	1,591	1,108	1,108	2,628	0,240	1,889	1,072	1,072	3,035	0,226	2,371	1,163	1,163
	200	1,067	0,616	0,993	0,993	1,052	1,509	0,396	1,027	1,020	1,020	2,134	0,297	1,543	1,080	1,080	2,614	0,235	1,828	1,043	1,043	3,018	0,231	2,399	1,183	1,183
	300	1,060	0,581	0,929	0,929	1,038	1,498	0,401	1,026	1,026	1,056	2,119	0,284	1,454	1,025	1,025	2,595	0,241	1,850	1,063	1,063	2,997	0,230	2,351	1,168	1,168
	400	1,034	0,536	0,839	0,839	0,979	1,462	0,392	0,958	0,958	1,011	2,068	0,289	1,409	1,018	1,018	2,533	0,250	1,826	1,075	1,075	2,925	0,232	2,259	1,151	1,151
	500	1,008	0,558	0,855	0,855	1,023	1,426	0,409	0,957	0,957	1,031	2,017	0,301	1,396	1,035	1,035	2,470	0,258	1,796	1,085	1,085	2,852	0,236	2,192	1,145	1,145
	600	1,056	0,510	0,813	0,813	0,961	1,493	0,375	0,952	0,952	1,004	2,111	0,285	1,448	1,025	1,025	2,586	0,253	1,930	1,113	1,113	2,986	0,227	2,303	1,149	1,149
	700	1,073	0,496	0,803	0,803	0,924	1,517	0,364	0,956	0,944	0,944	2,146	0,283	1,488	1,036	1,036	2,628	0,249	1,960	1,112	1,112	3,035	0,223	2,339	1,148	1,148
	800	0,946	0,594	0,864	0,864	0,969	1,338	0,446	0,945	0,945	0,998	1,893	0,322	1,316	1,040	1,040	2,318	0,275	1,683	1,084	1,084	2,677	0,256	2,090	1,164	1,164
L ₂	20/100	1,121	0,607	1,026	1,026	1,026	1,585	0,397	1,138	1,076	1,076	2,242	0,301	1,723	1,147	1,147	2,746	0,252	2,167	1,176	1,176	3,171	0,222	2,544	1,194	1,194
	200	1,115	0,587	0,988	0,988	1,043	1,576	0,382	1,084	1,030	1,030	2,229	0,289	1,636	1,096	1,096	2,731	0,251	2,134	1,165	1,165	3,153	0,222	2,516	1,188	1,188
	300	1,107	0,557	0,930	0,930	1,031	1,565	0,379	1,058	1,013	1,013	2,214	0,274	1,532	1,034	1,034	2,711	0,244	2,045	1,124	1,124	3,131	0,217	2,430	1,155	1,155
	400	1,080	0,518	0,844	0,844	0,975	1,528	0,389	1,036	1,016	1,016	2,160	0,283	1,505	1,041	1,041	2,646	0,250	1,993	1,123	1,123	3,055	0,223	2,372	1,156	1,156
	500	1,054	0,539	0,857	0,857	1,016	1,490	0,387	0,980	0,980	1,035	2,107	0,288	1,458	1,034	1,034	2,581	0,251	1,904	1,100	1,100	2,980	0,222	2,246	1,122	1,122
	600	1,103	0,494	0,821	0,821	0,960	1,560	0,387	1,074	1,032	1,032	2,206	0,278	1,540	1,043	1,043	2,701	0,245	2,037	1,124	1,124	3,119	0,218	2,416	1,153	1,153
	700	1,121	0,480	0,812	0,812	0,924	1,585	0,364	1,042	0,985	0,985	2,242	0,275	1,574	1,048	1,048	2,746	0,241	2,074	1,126	1,126	3,171	0,214	2,453	1,151	1,151
	800	0,989	0,576	0,867	0,867	0,968	1,398	0,423	0,959	0,959	1,002	1,977	0,309	1,377	1,041	1,041	2,422	0,267	1,784	1,099	1,099	2,796	0,241	2,151	1,146	1,146
L ₃	20/100	1,183	0,568	1,020	1,020	1,020	1,673	0,374	1,192	1,067	1,067	2,366	0,282	1,800	1,135	1,135	2,898	0,242	2,320	1,192	1,192	3,346	0,212	2,703	1,201	1,201
	200	1,177	0,552	0,984	0,984	1,033	1,664	0,359	1,132	1,019	1,019	2,353	0,278	1,758	1,115	1,115	2,882	0,240	2,275	1,176	1,176	3,328	0,211	2,661	1,189	1,189
	300	1,168	0,526	0,931	0,931	1,022	1,652	0,355	1,104	1,001	1,001	2,336	0,275	1,709	1,092	1,092	2,862	0,238	2,222	1,157	1,157	3,304	0,210	2,609	1,174	1,174
	400	1,140	0,494	0,851	0,851	0,971	1,612	0,347	1,027	0,954	0,954	2,280	0,273	1,620	1,061	1,061	2,793	0,239	2,125	1,134	1,134	3,225	0,212	2,509	1,158	1,158
	500	1,112	0,515	0,864	0,864	1,010	1,573	0,361	1,019	0,971	0,971	2,224	0,278	1,571	1,055	1,055	2,724	0,244	2,067	1,131	1,131	3,145	0,217	2,451	1,160	1,160
	600	1,164	0,471	0,830	0,830	0,957	1,646	0,332	1,025	0,933	0,933	2,328	0,268	1,658	1,063	1,063	2,851	0,234	2,169	1,134	1,134	3,292	0,207	2,553	1,154	1,154
	700	1,183	0,457	0,821	0,821	0,923	1,673	0,328	1,048	0,938	0,938	2,366	0,265	1,692	1,067	1,067	2,898	0,230	2,207	1,134	1,134	3,346	0,203	2,590	1,151	1,151
	800	1,043	0,552	0,870	0,870	0,964	1,476	0,409	1,017	1,017	1,047	2,087	0,291	1,447	1,036	1,036	2,556	0,257	1,911	1,115	1,115	2,951	0,230	2,289	1,155	1,155
L ₄	20/100	1,228	0,541	1,018	1,018	1,018	1,737	0,359	1,235	1,064	1,064	2,457	0,274	1,888	1,147	1,147	3,009	0,234	2,418	1,196	1,196	3,474	0,203	2,793	1,195	1,195
	200	1,221	0,527	0,983	0,983	1,027	1,727	0,344	1,169	1,013	1,013	2,443	0,271	1,844	1,126	1,126	2,992	0,232	2,372	1,180	1,180	3,455	0,202	2,750	1,184	1,184
	300	1,213	0,504	0,933	0,933	1,016	1,715	0,340	1,139	0,994	0,994	2,426	0,267	1,793	1,103	1,103	2,971	0,230	2,315	1,161	1,161	3,431	0,201	2,696	1,169	1,169
	400	1,184	0,476	0,855	0,855	0,967	1,674	0,346	1,106	0,989	0,989	2,367	0,266	1,701	1,072	1,072	2,899	0,231	2,215	1,138	1,138	3,348	0,203	2,595	1,153	1,153
	500	1,154	0,496	0,866	0,866	1,003	1,633	0,353	1,074	0,985	0,985	2,309	0,271	1,650	1,067	1,067	2,828	0,237	2,157	1,136	1,136	3,265	0,202	2,457	1,119	1,119
	600	1,208	0,456	0,840	0,840	0,957	1,709	0,328	1,093	0,958	0,958	2,417	0,261	1,738	1,073	1,073	2,960	0,226	2,259	1,136	1,136	3,418	0,198	2,636	1,147	1,147
	700	1,228	0,441	0,829	0,829	0,923	1,737	0,334	1,150	0,991	0,991	2,457	0,258	1,774	1,078	1,078	3,009	0,222	2,295	1,136	1,136	3,474	0,194	2,672	1,143	1,143
	800	1,083	0,534	0,873	0,873	0,962	1,532	0,404	1,081	1,058	1,058	2,167	0,283	1,517	1,046	1,046	2,654	0,249	2,000	1,123	1,123	3,064	0,223	2,384	1,158	1,158
L ₅	20/100	1,272	0,517	1,018	1,018	1,018	1,799	0,347	1,280	1,064	1,064	2,545	0,267	1,974	1,157	1,157	3,117	0,226	2,506	1,197	1,197	3,599	0,194	2,872	1,186	1,186
	200	1,265	0,504	0,985	0,985	1,024	1,789	0,332	1,211	1,013	1,013	2,531	0,264	1,928	1,136	1,136	3,099	0,225	2,459	1,181	1,181	3,579	0,194	2,829	1,175	1,175
	300	1,256	0,483	0,936	0,936	1,011	1,777	0,328	1,179	0,994	0,994	2,513	0,260	1,874	1,113	1,113	3,077	0,222	2,400	1,161	1,161	3,554	0,193	2,775	1,161	1,161
	400	1,226	0,458	0,860	0,860	0,963	1,734	0,319	1,092	0,943	0,943	2,452	0,259	1,779	1,082	1,082	3,003	0,223	2,297	1,139	1,139	3,468	0,195	2,673	1,146	1,146
	500	1,196	0,480	0,873	0,873	1,000	1,691	0,330	1,077	0,954	0,954	2,392	0,265	1,726	1,077	1,077	2,929	0,229	2,239	1,138	1,138	3,382	0,201	2,619	1,152	1,152
	600	1,252	0,438	0,844	0,844	0,952	1,770	0,308	1,100	0,930	0,930	2,503														

Tabela 8.4: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna U_4 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.

L	T (°C)	$\sigma_{20}=75$ MPa					$\sigma_{20}=150$ MPa					$\sigma_{20}=300$ MPa					$\sigma_{20}=450$ MPa					$\sigma_{20}=600$ MPa				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,937	0,740	1,068	1,068	1,068	1,325	0,507	1,058	1,058	1,058	1,874	0,336	1,346	1,055	1,055	2,295	0,289	1,739	1,092	1,092	2,650	0,262	2,094	1,124	1,124
	200	0,932	0,706	1,015	1,015	1,088	1,318	0,480	0,992	0,992	1,026	1,863	0,332	1,313	1,036	1,036	2,282	0,288	1,708	1,079	1,079	2,635	0,260	2,062	1,113	1,113
	300	0,925	0,656	0,938	0,938	1,069	1,308	0,484	0,990	0,990	1,060	1,850	0,326	1,274	1,012	1,012	2,266	0,285	1,670	1,063	1,063	2,617	0,259	2,023	1,101	1,101
	400	0,903	0,597	0,840	0,840	1,003	1,277	0,469	0,928	0,928	1,027	1,806	0,323	1,202	0,981	0,981	2,211	0,286	1,593	1,042	1,042	2,554	0,261	1,941	1,084	1,084
	500	0,881	0,619	0,857	0,857	1,051	1,245	0,489	0,936	0,936	1,060	1,761	0,332	1,173	0,984	0,984	2,157	0,291	1,543	1,037	1,037	2,491	0,266	1,882	1,081	1,081
	600	0,922	0,570	0,814	0,814	0,988	1,303	0,449	0,913	0,913	1,016	1,843	0,316	1,225	0,977	0,977	2,258	0,281	1,633	1,044	1,044	2,607	0,257	1,988	1,086	1,086
	700	0,937	0,556	0,803	0,803	0,946	1,325	0,435	0,908	0,908	0,988	1,874	0,312	1,247	0,978	0,978	2,295	0,277	1,664	1,045	1,045	2,650	0,253	2,028	1,088	1,088
	800	0,826	0,652	0,868	0,868	0,988	1,169	0,530	0,938	0,938	1,020	1,653	0,355	1,105	0,994	0,994	2,024	0,304	1,418	1,021	1,021	2,337	0,278	1,730	1,065	1,065
L ₂	20/100	0,965	0,720	1,064	1,064	1,064	1,365	0,487	1,062	1,062	1,062	1,930	0,328	1,393	1,057	1,057	2,364	0,283	1,807	1,098	1,098	2,730	0,248	2,104	1,093	1,093
	200	0,960	0,689	1,013	1,013	1,084	1,357	0,470	1,015	1,015	1,045	1,920	0,324	1,360	1,038	1,038	2,351	0,282	1,775	1,085	1,085	2,715	0,252	2,119	1,107	1,107
	300	0,953	0,642	0,939	0,939	1,066	1,348	0,465	0,995	0,995	1,056	1,906	0,319	1,321	1,016	1,016	2,335	0,279	1,736	1,070	1,070	2,696	0,252	2,092	1,102	1,102
	400	0,930	0,587	0,843	0,843	1,003	1,315	0,453	0,934	0,934	1,024	1,860	0,316	1,246	0,984	0,984	2,278	0,280	1,657	1,049	1,049	2,631	0,255	2,012	1,088	1,088
	500	0,907	0,609	0,860	0,860	1,050	1,283	0,472	0,940	0,940	1,054	1,814	0,323	1,214	0,986	0,986	2,222	0,285	1,605	1,044	1,044	2,566	0,260	1,953	1,085	1,085
	600	0,950	0,560	0,817	0,817	0,987	1,343	0,433	0,921	0,921	1,014	1,899	0,309	1,272	0,982	0,982	2,326	0,275	1,698	1,051	1,051	2,686	0,250	2,060	1,089	1,089
	700	0,965	0,546	0,806	0,806	0,945	1,365	0,421	0,918	0,918	0,989	1,930	0,305	1,297	0,984	0,984	2,364	0,272	1,734	1,054	1,054	2,730	0,247	2,100	1,091	1,091
	800	0,851	0,643	0,870	0,870	0,988	1,204	0,513	0,941	0,941	1,017	1,703	0,343	1,134	0,987	0,987	2,085	0,297	1,474	1,028	1,028	2,408	0,280	1,851	1,103	1,103
L ₃	20/100	0,993	0,701	1,059	1,059	1,059	1,404	0,469	1,070	1,070	1,070	1,986	0,321	1,441	1,060	1,060	2,432	0,278	1,872	1,104	1,104	2,808	0,249	2,242	1,129	1,129
	200	0,987	0,673	1,011	1,011	1,080	1,396	0,452	1,022	1,022	1,047	1,975	0,317	1,409	1,042	1,042	2,418	0,276	1,839	1,091	1,091	2,793	0,248	2,208	1,119	1,119
	300	0,980	0,629	0,940	0,940	1,063	1,386	0,448	1,002	1,002	1,055	1,961	0,312	1,368	1,020	1,020	2,401	0,274	1,800	1,075	1,075	2,773	0,247	2,166	1,106	1,106
	400	0,957	0,577	0,846	0,846	1,002	1,353	0,437	0,941	0,941	1,021	1,914	0,309	1,291	0,989	0,989	2,344	0,274	1,718	1,055	1,055	2,706	0,249	2,080	1,091	1,091
	500	0,933	0,599	0,863	0,863	1,048	1,320	0,456	0,946	0,946	1,049	1,866	0,316	1,256	0,989	0,989	2,286	0,280	1,665	1,050	1,050	2,639	0,254	2,019	1,088	1,088
	600	0,977	0,550	0,820	0,820	0,985	1,381	0,418	0,929	0,929	1,012	1,953	0,303	1,320	0,988	0,988	2,392	0,270	1,761	1,056	1,056	2,763	0,244	2,128	1,091	1,091
	700	0,993	0,536	0,810	0,810	0,945	1,404	0,406	0,927	0,927	0,990	1,986	0,299	1,346	0,990	0,990	2,432	0,266	1,796	1,059	1,059	2,808	0,241	2,168	1,092	1,092
	800	0,876	0,634	0,873	0,873	0,989	1,238	0,498	0,945	0,945	1,016	1,751	0,334	1,168	0,986	0,986	2,145	0,292	1,529	1,034	1,034	2,477	0,266	1,863	1,077	1,077
L ₄	20/100	1,072	0,646	1,045	1,045	1,045	1,516	0,424	1,110	1,097	1,097	2,143	0,302	1,584	1,072	1,072	2,625	0,261	2,051	1,112	1,112	3,031	0,232	2,427	1,125	1,125
	200	1,066	0,624	1,004	1,004	1,065	1,507	0,408	1,058	1,052	1,052	2,131	0,299	1,550	1,055	1,055	2,610	0,259	2,015	1,099	1,099	3,014	0,231	2,391	1,114	1,114
	300	1,058	0,590	0,942	0,942	1,053	1,496	0,405	1,034	1,034	1,064	2,116	0,295	1,506	1,033	1,033	2,592	0,257	1,971	1,084	1,084	2,993	0,230	2,345	1,102	1,102
	400	1,033	0,547	0,855	0,855	0,998	1,460	0,397	0,969	0,969	1,022	2,065	0,293	1,425	1,004	1,004	2,530	0,258	1,884	1,064	1,064	2,921	0,232	2,254	1,088	1,088
	500	1,007	0,569	0,870	0,870	1,042	1,424	0,414	0,968	0,968	1,043	2,014	0,299	1,383	1,001	1,001	2,467	0,264	1,829	1,061	1,061	2,849	0,237	2,194	1,088	1,088
	600	1,054	0,522	0,831	0,831	0,982	1,491	0,380	0,963	0,963	1,015	2,108	0,288	1,458	1,004	1,004	2,582	0,254	1,928	1,064	1,064	2,982	0,227	2,301	1,085	1,085
	700	1,072	0,508	0,821	0,821	0,944	1,516	0,369	0,967	0,955	0,955	2,143	0,284	1,488	1,007	1,007	2,625	0,250	1,965	1,065	1,065	3,031	0,223	2,340	1,084	1,084
	800	0,945	0,605	0,880	0,880	0,987	1,337	0,453	0,957	0,957	1,011	1,890	0,313	1,276	0,991	0,991	2,315	0,276	1,686	1,048	1,048	2,673	0,250	2,036	1,082	1,082
L ₅	20/100	1,097	0,629	1,041	1,041	1,041	1,551	0,412	1,129	1,088	1,088	2,193	0,297	1,629	1,075	1,075	2,686	0,256	2,103	1,112	1,112	3,102	0,226	2,478	1,120	1,120
	200	1,090	0,609	1,002	1,002	1,060	1,542	0,397	1,076	1,043	1,043	2,181	0,294	1,594	1,058	1,058	2,671	0,254	2,066	1,099	1,099	3,084	0,225	2,441	1,110	1,110
	300	1,083	0,577	0,942	0,942	1,049	1,531	0,393	1,051	1,027	1,027	2,166	0,290	1,549	1,036	1,036	2,652	0,252	2,022	1,084	1,084	3,063	0,224	2,395	1,097	1,097
	400	1,057	0,538	0,858	0,858	0,996	1,494	0,385	0,981	0,981	1,025	2,113	0,288	1,467	1,008	1,008	2,588	0,253	1,933	1,064	1,064	2,989	0,226	2,303	1,084	1,084
	500	1,031	0,559	0,873	0,873	1,039	1,458	0,402	0,978	0,978	1,043	2,061	0,294	1,423	1,005	1,005	2,524	0,258	1,878	1,063	1,063	2,915	0,232	2,244	1,085	1,085
	600	1,079	0,512	0,834	0,834	0,980	1,526	0,369	0,979	0,960	0,960	2,157	0,283	1, <												

Tabela 8.5: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna U_5 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.

L	T (°C)	$\sigma_{20}=75$ MPa					$\sigma_{20}=150$ MPa					$\sigma_{20}=300$ MPa					$\sigma_{20}=450$ MPa					$\sigma_{20}=600$ MPa				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	1,055	0,653	1,041	1,041	1,041	1,492	0,429	1,089	1,089	1,089	2,111	0,307	1,559	1,066	1,066	2,585	0,269	2,052	1,120	1,120	2,985	0,242	2,461	1,145	1,145
	200	1,049	0,630	0,999	0,999	1,061	1,484	0,407	1,024	1,024	1,038	2,099	0,304	1,525	1,049	1,049	2,571	0,268	2,018	1,108	1,108	2,968	0,241	2,425	1,135	1,135
	300	1,042	0,594	0,935	0,935	1,048	1,474	0,411	1,019	1,019	1,054	2,084	0,300	1,485	1,030	1,030	2,552	0,266	1,975	1,093	1,093	2,947	0,240	2,380	1,123	1,123
	400	1,017	0,549	0,846	0,846	0,990	1,438	0,402	0,955	0,955	1,015	2,034	0,298	1,407	1,002	1,002	2,491	0,267	1,887	1,073	1,073	2,876	0,242	2,286	1,108	1,108
	500	0,992	0,571	0,861	0,861	1,034	1,403	0,420	0,956	0,956	1,037	1,984	0,304	1,362	0,998	0,998	2,429	0,272	1,828	1,069	1,069	2,805	0,247	2,219	1,106	1,106
	600	1,038	0,523	0,822	0,822	0,974	1,468	0,389	0,960	0,960	1,019	2,076	0,293	1,442	1,004	1,004	2,543	0,262	1,935	1,075	1,075	2,936	0,238	2,339	1,108	1,108
	700	1,055	0,509	0,812	0,812	0,936	1,492	0,368	0,934	0,934	0,974	2,111	0,290	1,474	1,008	1,008	2,585	0,259	1,972	1,076	1,076	2,985	0,235	2,384	1,109	1,109
	800	0,931	0,606	0,872	0,872	0,980	1,316	0,458	0,946	0,946	1,004	1,861	0,317	1,252	0,985	0,985	2,280	0,283	1,675	1,051	1,051	2,632	0,259	2,047	1,095	1,095
L ₂	20/100	1,096	0,625	1,035	1,035	1,035	1,551	0,410	1,124	1,083	1,083	2,193	0,299	1,641	1,075	1,075	2,686	0,262	2,154	1,127	1,127	3,101	0,234	2,569	1,145	1,145
	200	1,090	0,605	0,995	0,995	1,052	1,542	0,395	1,070	1,037	1,037	2,181	0,297	1,609	1,061	1,061	2,671	0,260	2,118	1,115	1,115	3,084	0,233	2,531	1,135	1,135
	300	1,083	0,572	0,935	0,935	1,041	1,531	0,391	1,045	1,021	1,021	2,165	0,293	1,565	1,040	1,040	2,652	0,259	2,074	1,100	1,100	3,062	0,232	2,485	1,123	1,123
	400	1,057	0,533	0,850	0,850	0,987	1,494	0,383	0,974	0,974	1,019	2,113	0,291	1,484	1,013	1,013	2,588	0,260	1,982	1,081	1,081	2,989	0,234	2,388	1,109	1,109
	500	1,031	0,555	0,865	0,865	1,031	1,457	0,399	0,972	0,972	1,036	2,061	0,297	1,437	1,009	1,009	2,524	0,264	1,922	1,077	1,077	2,915	0,240	2,320	1,108	1,108
	600	1,079	0,508	0,826	0,826	0,971	1,525	0,363	0,962	0,944	0,944	2,157	0,287	1,522	1,015	1,015	2,642	0,255	2,031	1,082	1,082	3,051	0,230	2,440	1,108	1,108
	700	1,096	0,494	0,817	0,817	0,935	1,551	0,345	0,947	0,912	0,912	2,193	0,284	1,555	1,019	1,019	2,686	0,252	2,071	1,083	1,083	3,101	0,227	2,484	1,107	1,107
	800	0,967	0,591	0,874	0,874	0,978	1,368	0,436	0,954	0,954	1,002	1,934	0,309	1,317	0,992	0,992	2,369	0,276	1,764	1,061	1,061	2,735	0,252	2,146	1,100	1,100
L ₃	20/100	1,130	0,603	1,029	1,029	1,029	1,598	0,395	1,151	1,073	1,073	2,259	0,293	1,707	1,082	1,082	2,767	0,256	2,232	1,129	1,129	3,195	0,228	2,649	1,142	1,142
	200	1,123	0,585	0,993	0,993	1,047	1,589	0,380	1,095	1,027	1,027	2,247	0,290	1,669	1,064	1,064	2,752	0,254	2,195	1,117	1,117	3,178	0,227	2,610	1,132	1,132
	300	1,116	0,556	0,936	0,936	1,036	1,578	0,377	1,069	1,010	1,010	2,231	0,287	1,629	1,047	1,047	2,732	0,252	2,149	1,103	1,103	3,155	0,226	2,562	1,120	1,120
	400	1,089	0,520	0,853	0,853	0,985	1,540	0,369	0,997	0,968	0,968	2,177	0,286	1,545	1,021	1,021	2,667	0,253	2,055	1,083	1,083	3,079	0,228	2,462	1,106	1,106
	500	1,062	0,541	0,868	0,868	1,026	1,502	0,385	0,989	0,987	0,987	2,124	0,291	1,496	1,016	1,016	2,601	0,258	1,993	1,080	1,080	3,003	0,233	2,394	1,106	1,106
	600	1,111	0,495	0,831	0,831	0,970	1,572	0,353	0,995	0,944	0,944	2,223	0,281	1,584	1,023	1,023	2,722	0,251	2,123	1,094	1,094	3,143	0,223	2,515	1,105	1,105
	700	1,130	0,482	0,822	0,822	0,934	1,598	0,343	0,997	0,929	0,929	2,259	0,276	1,608	1,019	1,019	2,767	0,252	2,205	1,115	1,115	3,195	0,220	2,558	1,103	1,103
	800	0,996	0,579	0,877	0,877	0,977	1,409	0,421	0,966	0,966	1,007	1,993	0,303	1,371	0,999	0,999	2,441	0,271	1,841	1,071	1,071	2,818	0,245	2,222	1,102	1,102
L ₄	20/100	1,162	0,583	1,026	1,026	1,026	1,643	0,383	1,179	1,065	1,065	2,324	0,287	1,769	1,087	1,087	2,846	0,249	2,305	1,130	1,130	3,287	0,221	2,721	1,137	1,137
	200	1,156	0,566	0,990	0,990	1,041	1,634	0,368	1,120	1,018	1,018	2,311	0,284	1,730	1,069	1,069	2,830	0,248	2,266	1,118	1,118	3,268	0,220	2,681	1,127	1,127
	300	1,147	0,539	0,936	0,936	1,031	1,623	0,364	1,093	1,001	1,001	2,295	0,281	1,689	1,052	1,052	2,811	0,246	2,219	1,104	1,104	3,245	0,219	2,632	1,115	1,115
	400	1,120	0,507	0,857	0,857	0,983	1,584	0,356	1,018	0,958	0,958	2,239	0,280	1,604	1,027	1,027	2,743	0,247	2,123	1,085	1,085	3,167	0,221	2,532	1,103	1,103
	500	1,092	0,528	0,870	0,870	1,022	1,545	0,371	1,009	0,977	0,977	2,184	0,286	1,554	1,023	1,023	2,675	0,253	2,061	1,083	1,083	3,089	0,227	2,465	1,104	1,104
	600	1,143	0,483	0,835	0,835	0,968	1,617	0,341	1,017	0,935	0,935	2,286	0,276	1,644	1,029	1,029	2,800	0,243	2,171	1,084	1,084	3,233	0,217	2,582	1,099	1,099
	700	1,162	0,469	0,826	0,826	0,933	1,643	0,323	0,994	0,897	0,897	2,324	0,273	1,679	1,032	1,032	2,846	0,239	2,210	1,084	1,084	3,287	0,213	2,625	1,097	1,097
	800	1,025	0,566	0,878	0,878	0,975	1,449	0,406	0,977	0,977	1,011	2,050	0,297	1,423	1,005	1,005	2,510	0,264	1,899	1,071	1,071	2,899	0,239	2,291	1,101	1,101
L ₅	20/100	1,193	0,565	1,025	1,025	1,025	1,688	0,372	1,208	1,059	1,059	2,387	0,282	1,834	1,094	1,094	2,923	0,233	2,272	1,082	1,082	3,375	0,215	2,788	1,131	1,131
	200	1,187	0,549	0,990	0,990	1,037	1,678	0,357	1,146	1,011	1,011	2,373	0,279	1,791	1,075	1,075	2,907	0,242	2,334	1,118	1,118	3,357	0,214	2,747	1,121	1,121
	300	1,178	0,525	0,939	0,939	1,028	1,666	0,353	1,118	0,994	0,994	2,357	0,276	1,750	1,059	1,059	2,886	0,241	2,285	1,103	1,103	3,333	0,213	2,697	1,110	1,110
	400	1,150	0,495	0,861	0,861	0,980	1,626	0,345	1,039	0,949	0,949	2,300	0,275	1,661	1,032	1,032	2,817	0,242	2,186	1,084	1,084	3,253	0,215	2,596	1,097	1,097
	500	1,122	0,516	0,874	0,874	1,019	1,586	0,359	1,030	0,967	0,967	2,243	0,281	1,609	1,028	1,028	2,747	0,247	2,123	1,083	1,083	3,172	0,220	2,529	1,100	1,100
	600	1,174	0,472	0,840	0,840	0,966	1,660	0,331	1,040	0,928	0,928	2,348	0,271	1,												

Tabela 8.6: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna **C₁** com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.

L	T (°C)	$\sigma_{y20}=75\text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=150\text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=300\text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=450\text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=600\text{ MPa}$				
		$\lambda_{FT,T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uG,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uFT,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT,T}^*}$	$\lambda_{FT,T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uG,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uFT,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT,T}^*}$	$\lambda_{FT,T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uG,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uFT,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT,T}^*}$	$\lambda_{FT,T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uG,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uFT,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT,T}^*}$	$\lambda_{FT,T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uG,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uFT,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT,T}^*}$
L ₁	20/100	0,545	0,916	1,038	1,038	1,038	0,771	0,848	1,087	1,087	1,087	1,091	0,632	1,039	1,039	1,039	1,336	0,471	0,993	0,993	0,993	1,542	0,369	1,000	0,973	0,973
	200	0,542	0,857	0,969	0,969	1,065	0,767	0,743	0,950	0,950	1,026	1,085	0,629	1,029	1,029	1,079	1,328	0,469	0,981	0,981	0,999	1,534	0,369	0,989	0,967	0,967
	300	0,538	0,787	0,889	0,889	1,056	0,761	0,744	0,948	0,948	1,094	1,077	0,615	0,999	0,999	1,096	1,319	0,470	0,973	0,973	1,016	1,523	0,371	0,980	0,965	0,965
	400	0,525	0,731	0,821	0,821	1,032	0,743	0,686	0,864	0,864	1,049	1,051	0,590	0,937	0,937	1,070	1,287	0,477	0,955	0,955	1,027	1,486	0,383	0,966	0,966	0,977
	500	0,513	0,745	0,831	0,831	1,076	0,725	0,703	0,876	0,876	1,093	1,025	0,611	0,949	0,949	1,111	1,255	0,498	0,962	0,962	1,057	1,450	0,400	0,965	0,965	0,995
	600	0,536	0,715	0,806	0,806	1,037	0,759	0,666	0,847	0,847	1,047	1,073	0,568	0,920	0,920	1,061	1,314	0,459	0,946	0,946	1,019	1,517	0,369	0,969	0,958	0,958
	700	0,545	0,706	0,800	0,800	0,993	0,771	0,655	0,840	0,840	1,006	1,091	0,555	0,913	0,913	1,027	1,336	0,448	0,945	0,945	0,998	1,542	0,359	0,975	0,948	0,948
	800	0,481	0,763	0,841	0,841	0,987	0,680	0,727	0,882	0,882	1,014	0,962	0,648	0,954	0,954	1,057	1,178	0,547	0,978	0,978	1,044	1,360	0,451	0,978	0,978	1,006
L ₂	20/100	0,734	0,839	1,051	1,051	1,051	1,038	0,677	1,062	1,062	1,062	1,468	0,430	1,059	1,059	1,059	1,798	0,332	1,224	1,026	1,026	2,076	0,288	1,417	1,034	1,034
	200	0,730	0,788	0,985	0,985	1,067	1,032	0,636	0,993	0,993	1,047	1,460	0,427	1,041	1,041	1,041	1,788	0,329	1,198	1,010	1,010	2,065	0,287	1,394	1,022	1,022
	300	0,725	0,721	0,898	0,898	1,041	1,025	0,620	0,962	0,962	1,066	1,450	0,421	1,014	1,014	1,025	1,775	0,324	1,165	0,989	0,989	2,050	0,285	1,366	1,008	1,008
	400	0,707	0,651	0,802	0,802	0,980	1,000	0,577	0,877	0,877	1,013	1,415	0,419	0,968	0,968	1,001	1,733	0,324	1,110	0,965	0,965	2,001	0,287	1,308	0,989	0,989
	500	0,690	0,671	0,818	0,818	1,027	0,976	0,598	0,890	0,890	1,055	1,380	0,437	0,969	0,969	1,023	1,690	0,335	1,091	0,971	0,971	1,951	0,294	1,275	0,988	0,988
	600	0,722	0,627	0,779	0,779	0,970	1,021	0,553	0,855	0,855	0,999	1,444	0,402	0,962	0,962	0,993	1,769	0,316	1,127	0,960	0,960	2,042	0,281	1,336	0,990	0,990
	700	0,734	0,614	0,770	0,770	0,927	1,038	0,539	0,846	0,846	0,963	1,468	0,391	0,963	0,963	0,977	1,798	0,310	1,144	0,959	0,959	2,076	0,277	1,360	0,992	0,992
	800	0,647	0,697	0,831	0,831	0,958	0,915	0,632	0,897	0,897	1,000	1,295	0,478	0,965	0,965	1,006	1,586	0,366	1,048	0,993	0,993	1,831	0,311	1,190	0,980	0,980
L ₃	20/100	0,921	0,728	1,038	1,038	1,038	1,302	0,507	1,031	1,031	1,031	1,841	0,327	1,264	1,036	1,036	2,255	0,270	1,565	1,054	1,054	2,604	0,240	1,854	1,086	1,086
	200	0,916	0,693	0,985	0,985	1,050	1,295	0,488	0,984	0,984	1,006	1,831	0,322	1,231	1,014	1,014	2,243	0,268	1,535	1,039	1,039	2,589	0,239	1,825	1,075	1,075
	300	0,909	0,643	0,908	0,908	1,026	1,286	0,482	0,963	0,963	1,013	1,818	0,315	1,187	0,985	0,985	2,227	0,265	1,499	1,022	1,022	2,571	0,237	1,790	1,061	1,061
	400	0,887	0,584	0,811	0,811	0,960	1,255	0,465	0,899	0,899	0,975	1,774	0,312	1,120	0,951	0,951	2,173	0,265	1,428	0,997	0,997	2,509	0,239	1,716	1,042	1,042
	500	0,865	0,605	0,828	0,828	1,006	1,224	0,485	0,908	0,908	1,007	1,731	0,323	1,104	0,961	0,961	2,119	0,271	1,389	0,993	0,993	2,447	0,244	1,669	1,038	1,038
	600	0,906	0,557	0,786	0,786	0,943	1,281	0,445	0,884	0,884	0,962	1,811	0,302	1,130	0,941	0,941	2,218	0,260	1,459	0,998	0,998	2,562	0,234	1,753	1,044	1,044
	700	0,921	0,544	0,776	0,776	0,905	1,302	0,432	0,879	0,879	0,937	1,841	0,296	1,145	0,938	0,938	2,255	0,257	1,488	1,002	1,002	2,604	0,231	1,785	1,046	1,046
	800	0,812	0,637	0,839	0,839	0,949	1,148	0,524	0,910	0,910	0,976	1,624	0,352	1,059	0,980	0,980	1,989	0,286	1,290	0,981	0,981	2,296	0,257	1,545	1,022	1,022
L ₄	20/100	1,036	0,650	1,019	1,019	1,019	1,466	0,432	1,061	1,061	1,061	2,073	0,291	1,425	1,041	1,041	2,539	0,246	1,808	1,085	1,085	2,931	0,217	2,129	1,112	1,112
	200	1,031	0,625	0,976	0,976	1,029	1,458	0,416	1,013	1,013	1,012	2,061	0,286	1,388	1,019	1,019	2,525	0,244	1,775	1,072	1,072	2,915	0,216	2,096	1,101	1,101
	300	1,023	0,587	0,910	0,910	1,008	1,447	0,412	0,991	0,991	1,003	2,047	0,281	1,343	0,993	0,993	2,507	0,242	1,735	1,054	1,054	2,895	0,215	2,056	1,087	1,087
	400	0,999	0,540	0,820	0,820	0,948	1,412	0,403	0,928	0,928	0,961	1,997	0,279	1,267	0,960	0,960	2,446	0,242	1,655	1,030	1,030	2,825	0,217	1,975	1,069	1,069
	500	0,974	0,562	0,836	0,836	0,991	1,378	0,420	0,930	0,930	0,983	1,948	0,286	1,237	0,960	0,960	2,386	0,248	1,608	1,025	1,025	2,755	0,222	1,924	1,067	1,067
	600	1,020	0,514	0,794	0,794	0,928	1,442	0,385	0,920	0,920	0,949	2,039	0,272	1,291	0,958	0,958	2,497	0,238	1,690	1,031	1,031	2,884	0,212	2,014	1,068	1,068
	700	1,036	0,501	0,786	0,786	0,895	1,466	0,374	0,920	0,920	0,935	2,073	0,268	1,314	0,960	0,960	2,539	0,234	1,723	1,034	1,034	2,931	0,209	2,046	1,069	1,069
	800	0,914	0,596	0,845	0,845	0,943	1,293	0,458	0,922	0,922	0,962	1,828	0,306	1,165	0,961	0,961	2,239	0,260	1,487	1,008	1,008	2,585	0,235	1,788	1,054	1,054
L ₅	20/100	1,258	0,516	1,001	1,001	1,001	1,779	0,339	1,225	1,038	1,038	2,516	0,248	1,787	1,082	1,082	3,082	0,207	2,245	1,117	1,117	3,559	0,178	2,565	1,110	1,110
	200	1,251	0,502	0,967	0,967	0,994	1,769	0,326	1,163	0,990	0,990	2,502	0,245	1,746	1,063	1,063	3,065	0,206	2,203	1,102	1,102	3,539	0,177	2,526	1,099	1,099
	300	1,242	0,481	0,917	0,917	0,974	1,757	0,322	1,134	0,972	0,972	2,485	0,241	1,694	1,038	1,038	3,043	0,204	2,153	1,084	1,084	3,514	0,176	2,478	1,086	1,086
	400	1,212	0,455	0,843	0,843	0,924	1,715	0,315	1,055	0,926	0,926	2,425	0,239	1,605	1,007	1,007	2,970	0,205	2,060	1,062	1,062	3,429	0,178	2,389	1,072	1,072
	500	1,183	0,475	0,853	0,853	0,957	1,672	0,328	1,045	0,940	0,940	2,365	0,245	1,561	1,004	1,004	2,897	0,210	2,010	1,062	1,062	3,345	0,184	2,341	1,076	1,076
	600	1,238	0,434	0,825	0,825	0,909	1,750	0,301	1,053	0,906	0,906	2,475														

Tabela 8.7: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna C2 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.

L	T (°C)	$\sigma_{y20}=75$ MPa					$\sigma_{y20}=150$ MPa					$\sigma_{y20}=300$ MPa					$\sigma_{y20}=450$ MPa					$\sigma_{y20}=600$ MPa				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,501	0,920	1,022	1,022	1,022	0,708	0,880	1,086	1,086	1,086	1,002	0,735	1,118	1,118	1,118	1,227	0,562	1,056	1,056	1,056	1,417	0,440	1,020	1,020	1,020
	200	0,498	0,866	0,961	0,961	1,056	0,705	0,769	0,947	0,947	1,027	0,996	0,717	1,087	1,087	1,150	1,220	0,561	1,047	1,047	1,081	1,409	0,443	1,018	1,018	1,024
	300	0,495	0,806	0,893	0,893	1,061	0,700	0,770	0,945	0,945	1,099	0,989	0,681	1,026	1,026	1,144	1,212	0,556	1,028	1,028	1,099	1,399	0,445	1,010	1,010	1,034
	400	0,483	0,759	0,837	0,837	1,053	0,683	0,718	0,873	0,873	1,070	0,965	0,641	0,947	0,947	1,103	1,182	0,549	0,986	0,986	1,091	1,365	0,455	0,993	0,993	1,043
	500	0,471	0,771	0,846	0,846	1,095	0,666	0,733	0,882	0,882	1,112	0,942	0,661	0,957	0,957	1,143	1,153	0,571	0,996	0,996	1,128	1,332	0,475	0,998	0,998	1,071
	600	0,493	0,746	0,826	0,826	1,062	0,697	0,702	0,860	0,860	1,075	0,986	0,620	0,931	0,931	1,097	1,207	0,528	0,972	0,972	1,081	1,394	0,437	0,986	0,986	1,035
	700	0,501	0,739	0,821	0,821	1,020	0,708	0,693	0,855	0,855	1,034	1,002	0,607	0,924	0,924	1,060	1,227	0,515	0,967	0,967	1,051	1,417	0,425	0,985	0,985	1,015
	800	0,442	0,786	0,853	0,853	1,001	0,625	0,754	0,888	0,888	1,025	0,884	0,692	0,959	0,959	1,075	1,082	0,615	1,004	1,004	1,090	1,250	0,525	1,009	1,009	1,062
L ₂	20/100	0,560	0,921	1,051	1,051	1,051	0,792	0,860	1,119	1,119	1,119	1,121	0,652	1,103	1,103	1,103	1,372	0,482	1,060	1,060	1,060	1,585	0,385	1,101	1,052	1,052
	200	0,557	0,860	0,980	0,980	1,073	0,788	0,775	1,004	1,004	1,083	1,114	0,641	1,078	1,078	1,127	1,365	0,481	1,049	1,049	1,063	1,576	0,383	1,084	1,040	1,040
	300	0,553	0,791	0,899	0,899	1,062	0,782	0,746	0,963	0,963	1,108	1,106	0,618	1,032	1,032	1,126	1,355	0,477	1,030	1,030	1,066	1,565	0,382	1,066	1,029	1,029
	400	0,540	0,734	0,829	0,829	1,036	0,764	0,686	0,876	0,876	1,060	1,080	0,589	0,960	0,960	1,089	1,322	0,479	0,995	0,995	1,059	1,527	0,389	1,034	1,018	1,018
	500	0,527	0,748	0,840	0,840	1,080	0,745	0,704	0,887	0,887	1,103	1,053	0,611	0,972	0,972	1,130	1,290	0,499	1,001	1,001	1,088	1,489	0,406	1,027	1,027	1,044
	600	0,551	0,717	0,814	0,814	1,040	0,779	0,666	0,859	0,859	1,057	1,102	0,567	0,942	0,942	1,079	1,350	0,460	0,986	0,986	1,049	1,559	0,374	1,037	1,004	1,004
	700	0,560	0,708	0,808	0,808	0,997	0,792	0,655	0,852	0,852	1,017	1,121	0,553	0,935	0,935	1,044	1,372	0,447	0,983	0,983	1,027	1,585	0,364	1,042	0,995	0,995
	800	0,494	0,767	0,850	0,850	0,993	0,699	0,729	0,894	0,894	1,025	0,988	0,649	0,976	0,976	1,077	1,210	0,546	1,008	1,008	1,069	1,398	0,449	1,018	1,018	1,039
L ₃	20/100	0,626	0,898	1,058	1,058	1,058	0,885	0,803	1,114	1,114	1,114	1,251	0,558	1,075	1,075	1,075	1,532	0,407	1,089	1,089	1,069	1,769	0,337	1,204	1,050	1,050
	200	0,622	0,839	0,987	0,987	1,076	0,880	0,732	1,013	1,013	1,083	1,244	0,552	1,055	1,055	1,085	1,524	0,405	1,071	1,071	1,057	1,759	0,336	1,184	1,038	1,038
	300	0,618	0,769	0,902	0,902	1,059	0,873	0,707	0,973	0,973	1,106	1,235	0,539	1,020	1,020	1,085	1,513	0,401	1,046	1,038	1,038	1,747	0,333	1,160	1,022	1,022
	400	0,603	0,705	0,820	0,820	1,017	0,852	0,649	0,880	0,880	1,048	1,206	0,525	0,965	0,965	1,061	1,476	0,404	1,005	1,005	1,020	1,705	0,337	1,117	1,004	1,004
	500	0,588	0,721	0,834	0,834	1,063	0,831	0,669	0,893	0,893	1,093	1,176	0,546	0,974	0,974	1,096	1,440	0,421	1,002	1,002	1,036	1,663	0,350	1,102	1,012	1,012
	600	0,615	0,684	0,802	0,802	1,015	0,870	0,627	0,860	0,860	1,041	1,231	0,504	0,950	0,950	1,050	1,507	0,388	1,006	1,006	1,002	1,740	0,326	1,128	0,997	0,997
	700	0,626	0,674	0,794	0,794	0,972	0,885	0,614	0,852	0,852	1,001	1,251	0,489	0,942	0,942	1,018	1,532	0,378	1,012	0,994	0,994	1,769	0,319	1,140	0,994	0,994
	800	0,552	0,744	0,845	0,845	0,983	0,780	0,698	0,900	0,900	1,022	1,103	0,588	0,979	0,979	1,060	1,351	0,462	0,991	0,991	1,022	1,560	0,384	1,066	1,031	1,031
L ₄	20/100	0,702	0,827	1,017	1,017	1,017	0,993	0,696	1,052	1,052	1,052	1,405	0,471	1,076	1,076	1,076	1,720	0,353	1,190	1,062	1,062	1,987	0,296	1,330	1,055	1,055
	200	0,698	0,796	0,976	0,976	1,060	0,988	0,656	0,987	0,987	1,045	1,397	0,467	1,056	1,056	1,065	1,711	0,350	1,167	1,047	1,047	1,975	0,294	1,308	1,042	1,042
	300	0,693	0,739	0,904	0,904	1,052	0,981	0,640	0,957	0,957	1,068	1,387	0,459	1,026	1,026	1,054	1,699	0,346	1,137	1,026	1,026	1,962	0,292	1,281	1,026	1,026
	400	0,677	0,674	0,817	0,817	1,002	0,957	0,597	0,875	0,875	1,021	1,354	0,455	0,979	0,979	1,032	1,658	0,347	1,088	1,001	1,001	1,914	0,295	1,232	1,007	1,007
	500	0,660	0,693	0,831	0,831	1,049	0,934	0,617	0,888	0,888	1,062	1,320	0,474	0,983	0,983	1,058	1,617	0,361	1,076	1,011	1,011	1,867	0,305	1,211	1,010	1,010
	600	0,691	0,651	0,795	0,795	0,995	0,977	0,574	0,855	0,855	1,011	1,382	0,436	0,970	0,970	1,022	1,692	0,335	1,094	0,990	0,990	1,954	0,286	1,247	1,002	1,002
	700	0,702	0,640	0,786	0,786	0,952	0,993	0,561	0,848	0,848	0,974	1,405	0,424	0,967	0,967	1,001	1,720	0,326	1,102	0,983	0,983	1,987	0,281	1,262	1,001	1,001
	800	0,619	0,718	0,843	0,843	0,974	0,876	0,648	0,894	0,894	1,002	1,239	0,517	0,983	0,983	1,037	1,517	0,386	1,012	1,002	1,002	1,752	0,330	1,155	1,016	1,016
L ₅	20/100	0,848	0,757	1,023	1,023	1,023	1,199	0,570	1,041	1,041	1,041	1,696	0,358	1,175	1,061	1,061	2,077	0,280	1,376	1,052	1,052	2,398	0,235	1,544	1,048	1,048
	200	0,843	0,728	0,980	0,980	1,052	1,192	0,547	0,992	0,992	1,028	1,686	0,355	1,150	1,043	1,043	2,065	0,277	1,350	1,036	1,036	2,385	0,234	1,519	1,036	1,036
	300	0,837	0,680	0,912	0,912	1,042	1,184	0,540	0,970	0,970	1,043	1,674	0,349	1,116	1,018	1,018	2,051	0,274	1,316	1,016	1,016	2,368	0,233	1,488	1,021	1,021
	400	0,817	0,622	0,822	0,822	0,985	1,155	0,516	0,902	0,902	1,005	1,634	0,348	1,060	0,987	0,987	2,001	0,275	1,258	0,991	0,991	2,311	0,235	1,432	1,002	1,002
	500	0,797	0,642	0,838	0,838	1,031	1,127	0,536	0,913	0,913	1,040	1,594	0,362	1,050	0,998	0,998	1,952	0,285	1,237	0,995	0,995	2,254	0,243	1,408	1,006	1,006
	600	0,834	0,597	0,798	0,798	0,973	1,180	0,494	0,884	0,884	0,991	1,668														

Tabela 8.8: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna **C3** com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.

L	T (°C)	$\sigma_{y20}=75$ MPa					$\sigma_{y20}=150$ MPa					$\sigma_{y20}=300$ MPa					$\sigma_{y20}=450$ MPa					$\sigma_{y20}=600$ MPa				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,478	0,944	1,039	1,039	1,039	0,676	0,909	1,101	1,101	1,101	0,957	0,787	1,155	1,155	1,155	1,172	0,617	1,096	1,096	1,096	1,353	0,489	1,052	1,052	1,052
	200	0,476	0,885	0,973	0,973	1,070	0,673	0,789	0,953	0,953	1,036	0,951	0,757	1,106	1,106	1,176	1,165	0,614	1,084	1,084	1,127	1,345	0,491	1,047	1,047	1,064
	300	0,472	0,825	0,906	0,906	1,078	0,668	0,789	0,951	0,951	1,111	0,945	0,712	1,034	1,034	1,162	1,157	0,601	1,053	1,053	1,138	1,336	0,491	1,036	1,036	1,077
	400	0,461	0,782	0,855	0,855	1,077	0,652	0,742	0,887	0,887	1,092	0,922	0,668	0,954	0,954	1,121	1,129	0,586	0,999	0,999	1,120	1,304	0,497	1,012	1,012	1,082
	500	0,450	0,792	0,862	0,862	1,119	0,636	0,755	0,895	0,895	1,133	0,899	0,687	0,963	0,963	1,161	1,101	0,607	1,009	1,009	1,158	1,272	0,518	1,019	1,019	1,114
	600	0,471	0,770	0,845	0,845	1,090	0,665	0,727	0,875	0,875	1,100	0,941	0,648	0,939	0,939	1,119	1,153	0,565	0,985	0,985	1,112	1,331	0,478	1,002	1,002	1,074
	700	0,478	0,764	0,840	0,840	1,046	0,676	0,719	0,871	0,871	1,058	0,957	0,636	0,933	0,933	1,080	1,172	0,551	0,979	0,979	1,079	1,353	0,464	0,999	0,999	1,050
	800	0,422	0,807	0,869	0,869	1,021	0,597	0,775	0,899	0,899	1,042	0,844	0,716	0,965	0,965	1,087	1,033	0,649	1,014	1,014	1,110	1,193	0,567	1,029	1,029	1,095
L ₂	20/100	0,546	0,929	1,053	1,053	1,053	0,773	0,872	1,119	1,119	1,119	1,093	0,680	1,121	1,121	1,121	1,338	0,510	1,080	1,080	1,080	1,545	0,408	1,110	1,086	1,086
	200	0,543	0,870	0,984	0,984	1,078	0,768	0,785	1,005	1,005	1,086	1,087	0,665	1,090	1,090	1,143	1,331	0,507	1,065	1,065	1,084	1,537	0,407	1,095	1,076	1,076
	300	0,540	0,804	0,908	0,908	1,075	0,763	0,757	0,966	0,966	1,115	1,079	0,638	1,038	1,038	1,139	1,322	0,501	1,041	1,041	1,086	1,526	0,405	1,074	1,060	1,060
	400	0,527	0,751	0,843	0,843	1,055	0,745	0,702	0,886	0,886	1,075	1,053	0,607	0,965	0,965	1,102	1,290	0,500	1,002	1,002	1,077	1,489	0,411	1,039	1,039	1,049
	500	0,514	0,764	0,853	0,853	1,099	0,726	0,719	0,896	0,896	1,118	1,027	0,628	0,976	0,976	1,142	1,258	0,520	1,009	1,009	1,108	1,452	0,428	1,035	1,035	1,066
	600	0,537	0,735	0,829	0,829	1,061	0,760	0,683	0,870	0,870	1,076	1,075	0,585	0,948	0,948	1,094	1,317	0,480	0,993	0,993	1,068	1,520	0,396	1,042	1,032	1,032
	700	0,546	0,727	0,823	0,823	1,017	0,773	0,673	0,864	0,864	1,035	1,093	0,571	0,941	0,941	1,057	1,338	0,468	0,989	0,989	1,044	1,545	0,385	1,048	1,026	1,026
	800	0,482	0,782	0,862	0,862	1,008	0,681	0,745	0,904	0,904	1,039	0,964	0,664	0,979	0,979	1,084	1,180	0,567	1,015	1,015	1,083	1,363	0,473	1,028	1,028	1,057
L ₃	20/100	0,611	0,912	1,066	1,066	1,066	0,864	0,824	1,126	1,126	1,126	1,222	0,584	1,091	1,091	1,091	1,496	0,432	1,102	1,102	1,102	1,728	0,351	1,194	1,078	1,078
	200	0,607	0,854	0,996	0,996	1,088	0,859	0,750	1,021	1,021	1,094	1,215	0,576	1,069	1,069	1,104	1,488	0,430	1,085	1,085	1,080	1,718	0,349	1,176	1,066	1,066
	300	0,603	0,786	0,915	0,915	1,076	0,853	0,724	0,982	0,982	1,119	1,206	0,562	1,032	1,032	1,104	1,477	0,425	1,060	1,060	1,065	1,706	0,347	1,153	1,051	1,051
	400	0,589	0,725	0,838	0,838	1,041	0,832	0,668	0,892	0,892	1,067	1,177	0,546	0,974	0,974	1,079	1,442	0,428	1,021	1,021	1,048	1,665	0,352	1,113	1,032	1,032
	500	0,574	0,741	0,851	0,851	1,087	0,812	0,687	0,905	0,905	1,111	1,148	0,567	0,984	0,984	1,116	1,406	0,446	1,021	1,021	1,068	1,624	0,366	1,101	1,039	1,039
	600	0,601	0,706	0,821	0,821	1,041	0,850	0,646	0,874	0,874	1,061	1,202	0,524	0,960	0,960	1,069	1,472	0,412	1,020	1,020	1,042	1,700	0,340	1,121	1,025	1,025
	700	0,611	0,696	0,814	0,814	0,998	0,864	0,634	0,866	0,866	1,021	1,222	0,511	0,954	0,954	1,039	1,496	0,400	1,022	1,022	1,028	1,728	0,332	1,131	1,021	1,021
	800	0,539	0,762	0,861	0,861	1,003	0,762	0,715	0,911	0,911	1,037	1,077	0,609	0,990	0,990	1,075	1,319	0,490	1,016	1,016	1,055	1,524	0,403	1,066	1,053	1,053
L ₄	20/100	0,671	0,893	1,078	1,078	1,078	0,949	0,768	1,121	1,121	1,121	1,343	0,508	1,080	1,080	1,080	1,644	0,377	1,163	1,163	1,088	1,899	0,309	1,272	1,073	1,073
	200	0,668	0,836	1,008	1,008	1,096	0,944	0,708	1,029	1,029	1,094	1,335	0,503	1,061	1,061	1,079	1,635	0,375	1,143	1,143	1,074	1,888	0,308	1,253	1,062	1,062
	300	0,663	0,768	0,923	0,923	1,079	0,937	0,687	0,992	0,992	1,116	1,326	0,494	1,031	1,031	1,074	1,624	0,371	1,117	1,117	1,054	1,875	0,306	1,228	1,046	1,046
	400	0,647	0,703	0,837	0,837	1,031	0,915	0,635	0,901	0,901	1,060	1,294	0,488	0,983	0,983	1,055	1,585	0,374	1,071	1,029	1,029	1,830	0,311	1,186	1,027	1,027
	500	0,631	0,721	0,851	0,851	1,079	0,892	0,655	0,915	0,915	1,104	1,262	0,508	0,990	0,990	1,085	1,546	0,390	1,061	1,038	1,038	1,785	0,322	1,171	1,033	1,033
	600	0,660	0,681	0,817	0,817	1,027	0,934	0,611	0,880	0,880	1,050	1,321	0,468	0,972	0,972	1,045	1,618	0,360	1,074	1,016	1,016	1,868	0,300	1,194	1,019	1,019
	700	0,671	0,670	0,809	0,809	0,983	0,949	0,598	0,872	0,872	1,011	1,343	0,456	0,969	0,969	1,021	1,644	0,345	1,064	0,996	0,996	1,899	0,293	1,205	1,017	1,017
	800	0,592	0,745	0,862	0,862	1,000	0,837	0,694	0,930	0,930	1,049	1,184	0,553	0,994	0,994	1,060	1,450	0,436	1,051	1,051	1,060	1,675	0,335	1,073	0,991	0,991
L ₅	20/100	0,728	0,871	1,087	1,087	1,087	1,029	0,710	1,106	1,106	1,106	1,456	0,449	1,091	1,091	1,091	1,783	0,337	1,222	1,222	1,078	2,059	0,276	1,333	1,061	1,061
	200	0,724	0,818	1,018	1,018	1,103	1,024	0,664	1,030	1,030	1,087	1,448	0,445	1,071	1,071	1,072	1,773	0,335	1,201	1,064	1,064	2,047	0,275	1,314	1,050	1,050
	300	0,719	0,751	0,932	0,932	1,082	1,016	0,648	0,998	0,998	1,107	1,437	0,439	1,042	1,042	1,057	1,761	0,332	1,173	1,044	1,044	2,033	0,273	1,288	1,034	1,034
	400	0,701	0,683	0,840	0,840	1,026	0,992	0,604	0,911	0,911	1,055	1,403	0,437	0,996	0,996	1,034	1,718	0,334	1,126	1,020	1,020	1,984	0,277	1,243	1,016	1,016
	500	0,684	0,703	0,855	0,855	1,075	0,967	0,625	0,925	0,925	1,098	1,368	0,456	0,998	0,998	1,058	1,676	0,348	1,113	1,027	1,027	1,935	0,288	1,229	1,023	1,023
	600	0,716	0,658	0,816	0,816	1,016	1,013	0,579	0,889	0,889	1,042	1,432	0,42													

Tabela 8.9: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna **C4** com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.

L	T (°C)	$\sigma_{y20}=75\text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=150\text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=300\text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=450\text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=600\text{ MPa}$				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,547	0,930	1,054	1,054	1,054	0,773	0,873	1,121	1,121	1,121	1,094	0,680	1,122	1,122	1,122	1,340	0,511	1,082	1,082	1,082	1,547	0,411	1,121	1,089	1,089
	200	0,544	0,870	0,985	0,985	1,079	0,769	0,756	0,969	0,969	1,046	1,088	0,665	1,091	1,091	1,144	1,332	0,507	1,066	1,066	1,085	1,538	0,408	1,102	1,076	1,076
	300	0,540	0,804	0,908	0,908	1,074	0,764	0,757	0,967	0,967	1,115	1,080	0,638	1,039	1,039	1,140	1,323	0,501	1,042	1,042	1,087	1,528	0,406	1,080	1,061	1,061
	400	0,527	0,749	0,842	0,842	1,054	0,745	0,701	0,885	0,885	1,074	1,054	0,606	0,965	0,965	1,102	1,291	0,499	1,003	1,003	1,077	1,491	0,411	1,042	1,042	1,052
	500	0,514	0,763	0,852	0,852	1,098	0,727	0,718	0,896	0,896	1,117	1,028	0,627	0,976	0,976	1,142	1,259	0,520	1,010	1,010	1,108	1,454	0,428	1,038	1,038	1,068
	600	0,538	0,733	0,828	0,828	1,059	0,761	0,682	0,869	0,869	1,074	1,076	0,584	0,948	0,948	1,093	1,318	0,480	0,993	0,993	1,068	1,522	0,396	1,047	1,032	1,032
	700	0,547	0,725	0,822	0,822	1,015	0,773	0,672	0,863	0,863	1,033	1,094	0,570	0,941	0,941	1,057	1,340	0,467	0,990	0,990	1,044	1,547	0,387	1,055	1,024	1,024
	800	0,482	0,781	0,861	0,861	1,008	0,682	0,742	0,902	0,902	1,036	0,965	0,664	0,980	0,980	1,085	1,182	0,566	1,016	1,016	1,084	1,364	0,472	1,028	1,028	1,057
L ₂	20/100	0,603	0,915	1,065	1,065	1,065	0,853	0,832	1,127	1,127	1,127	1,206	0,595	1,093	1,093	1,093	1,477	0,443	1,103	1,103	1,103	1,705	0,363	1,204	1,069	1,069
	200	0,600	0,856	0,995	0,995	1,087	0,848	0,755	1,019	1,019	1,094	1,199	0,587	1,071	1,071	1,108	1,469	0,440	1,085	1,085	1,083	1,696	0,361	1,184	1,057	1,057
	300	0,595	0,787	0,913	0,913	1,075	0,842	0,728	0,979	0,979	1,118	1,191	0,570	1,032	1,032	1,108	1,458	0,435	1,059	1,059	1,069	1,684	0,358	1,158	1,040	1,040
	400	0,581	0,727	0,837	0,837	1,040	0,822	0,670	0,889	0,889	1,065	1,162	0,552	0,972	0,972	1,081	1,423	0,436	1,019	1,019	1,051	1,643	0,362	1,114	1,023	1,023
	500	0,567	0,742	0,849	0,849	1,086	0,801	0,689	0,902	0,902	1,110	1,133	0,574	0,982	0,982	1,118	1,388	0,455	1,019	1,019	1,073	1,603	0,375	1,098	1,032	1,032
	600	0,593	0,708	0,820	0,820	1,041	0,839	0,649	0,871	0,871	1,060	1,186	0,531	0,956	0,956	1,070	1,453	0,420	1,016	1,016	1,045	1,678	0,351	1,127	1,015	1,015
	700	0,603	0,698	0,813	0,813	0,997	0,853	0,637	0,863	0,863	1,019	1,206	0,517	0,950	0,950	1,038	1,477	0,409	1,018	1,018	1,030	1,705	0,344	1,140	1,011	1,011
	800	0,532	0,763	0,859	0,859	1,002	0,752	0,717	0,909	0,909	1,036	1,063	0,615	0,988	0,988	1,076	1,302	0,500	1,016	1,016	1,058	1,504	0,410	1,057	1,054	1,054
L ₃	20/100	0,656	0,898	1,075	1,075	1,075	0,928	0,784	1,124	1,124	1,124	1,312	0,525	1,080	1,080	1,080	1,607	0,394	1,160	1,088	1,088	1,856	0,329	1,293	1,061	1,061
	200	0,652	0,841	1,005	1,005	1,094	0,923	0,720	1,028	1,028	1,096	1,305	0,520	1,060	1,060	1,083	1,598	0,391	1,138	1,072	1,072	1,845	0,327	1,270	1,048	1,048
	300	0,648	0,773	0,921	0,921	1,078	0,916	0,697	0,991	0,991	1,118	1,296	0,509	1,029	1,029	1,079	1,587	0,386	1,109	1,052	1,052	1,832	0,325	1,243	1,033	1,033
	400	0,632	0,707	0,836	0,836	1,032	0,894	0,643	0,898	0,898	1,061	1,264	0,501	0,978	0,978	1,058	1,549	0,388	1,060	1,029	1,029	1,788	0,328	1,195	1,015	1,015
	500	0,617	0,725	0,850	0,850	1,080	0,872	0,663	0,912	0,912	1,106	1,233	0,522	0,986	0,986	1,091	1,510	0,404	1,050	1,043	1,043	1,744	0,338	1,173	1,020	1,020
	600	0,645	0,686	0,817	0,817	1,029	0,913	0,619	0,877	0,877	1,052	1,291	0,481	0,966	0,966	1,048	1,581	0,374	1,067	1,015	1,015	1,826	0,319	1,211	1,009	1,009
	700	0,656	0,675	0,808	0,808	0,984	0,928	0,606	0,869	0,869	1,012	1,312	0,467	0,961	0,961	1,021	1,607	0,365	1,076	1,009	1,009	1,856	0,312	1,227	1,007	1,007
	800	0,579	0,749	0,861	0,861	1,000	0,818	0,694	0,919	0,919	1,038	1,157	0,565	0,990	0,990	1,061	1,417	0,443	1,028	1,028	1,044	1,637	0,365	1,116	1,029	1,029
L ₄	20/100	0,706	0,880	1,084	1,084	1,084	0,999	0,732	1,112	1,112	1,112	1,413	0,471	1,087	1,087	1,087	1,730	0,358	1,223	1,071	1,071	1,998	0,303	1,380	1,058	1,058
	200	0,702	0,825	1,014	1,014	1,100	0,993	0,681	1,030	1,030	1,090	1,405	0,467	1,066	1,066	1,074	1,721	0,355	1,199	1,056	1,056	1,987	0,301	1,356	1,045	1,045
	300	0,697	0,757	0,928	0,928	1,079	0,986	0,662	0,995	0,995	1,110	1,395	0,459	1,036	1,036	1,062	1,708	0,351	1,168	1,035	1,035	1,973	0,299	1,328	1,030	1,030
	400	0,681	0,689	0,837	0,837	1,026	0,963	0,615	0,906	0,906	1,055	1,361	0,455	0,989	0,989	1,040	1,667	0,352	1,116	1,012	1,012	1,925	0,302	1,275	1,011	1,011
	500	0,664	0,709	0,852	0,852	1,074	0,939	0,636	0,920	0,920	1,099	1,328	0,475	0,993	0,993	1,066	1,626	0,365	1,101	1,021	1,021	1,878	0,311	1,250	1,015	1,015
	600	0,695	0,666	0,815	0,815	1,019	0,983	0,590	0,884	0,884	1,043	1,390	0,437	0,981	0,981	1,031	1,702	0,341	1,127	1,002	1,002	1,965	0,294	1,294	1,007	1,007
	700	0,706	0,652	0,804	0,804	0,973	0,999	0,576	0,874	0,874	1,003	1,413	0,424	0,978	0,978	1,009	1,730	0,333	1,138	0,996	0,996	1,998	0,287	1,306	1,001	1,001
	800	0,623	0,735	0,864	0,864	0,999	0,881	0,670	0,927	0,927	1,039	1,246	0,519	0,993	0,993	1,046	1,526	0,399	1,060	1,043	1,043	1,762	0,334	1,184	1,019	1,019
L ₅	20/100	0,754	0,859	1,090	1,090	1,090	1,066	0,681	1,096	1,096	1,096	1,508	0,429	1,113	1,107	1,107	1,846	0,331	1,287	1,062	1,062	2,132	0,281	1,458	1,053	1,053
	200	0,750	0,807	1,022	1,022	1,105	1,060	0,642	1,027	1,027	1,080	1,499	0,425	1,088	1,088	1,082	1,836	0,328	1,262	1,046	1,046	2,120	0,280	1,433	1,040	1,040
	300	0,744	0,742	0,935	0,935	1,082	1,053	0,627	0,997	0,997	1,099	1,489	0,418	1,057	1,057	1,058	1,823	0,324	1,229	1,026	1,026	2,105	0,278	1,404	1,026	1,026
	400	0,726	0,674	0,840	0,840	1,023	1,027	0,587	0,914	0,914	1,049	1,453	0,416	1,007	1,007	1,030	1,779	0,325	1,174	1,002	1,002	2,054	0,280	1,348	1,007	1,007
	500	0,708	0,694	0,856	0,856	1,072	1,002	0,609	0,927	0,927	1,092	1,417	0,434	1,006	1,006	1,049	1,735	0,336	1,155	1,009	1,009	2,004	0,289	1,322	1,010	1,010
	600	0,741	0,648	0,815	0,815	1,011	1,049	0,563	0,892	0,892	1,036	1,48														

Tabela 8.10: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna C₅ com σ_{y20} =75, 150, 300, 450 e 600 MPa e T=20/100 a T=800 °C.

L	T (°C)	$\sigma_{20}=75 \text{ MPa}$					$\sigma_{20}=150 \text{ MPa}$					$\sigma_{20}=300 \text{ MPa}$					$\sigma_{20}=450 \text{ MPa}$					$\sigma_{20}=600 \text{ MPa}$				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,508	0,931	1,037	1,037	1,037	0,718	0,886	1,099	1,099	1,099	1,015	0,732	1,126	1,126	1,126	1,243	0,562	1,074	1,074	1,074	1,436	0,444	1,053	1,053	1,053
	200	0,505	0,871	0,969	0,969	1,064	0,714	0,767	0,950	0,950	1,030	1,010	0,711	1,089	1,089	1,151	1,236	0,559	1,060	1,060	1,092	1,428	0,446	1,046	1,046	1,050
	300	0,501	0,806	0,895	0,895	1,063	0,709	0,768	0,948	0,948	1,101	1,002	0,675	1,028	1,028	1,143	1,228	0,550	1,034	1,034	1,101	1,418	0,444	1,031	1,031	1,051
	400	0,489	0,757	0,837	0,837	1,051	0,692	0,715	0,873	0,873	1,069	0,978	0,635	0,948	0,948	1,101	1,198	0,542	0,989	0,989	1,089	1,384	0,451	1,005	1,005	1,050
	500	0,477	0,769	0,846	0,846	1,094	0,675	0,730	0,883	0,883	1,111	0,954	0,655	0,959	0,959	1,142	1,169	0,564	0,998	0,998	1,125	1,349	0,471	1,009	1,009	1,076
	600	0,499	0,743	0,825	0,825	1,060	0,706	0,697	0,859	0,859	1,072	0,999	0,614	0,931	0,931	1,095	1,223	0,522	0,976	0,976	1,080	1,412	0,434	0,999	0,999	1,042
	700	0,508	0,736	0,820	0,820	1,017	0,718	0,688	0,854	0,854	1,031	1,015	0,601	0,925	0,925	1,058	1,243	0,508	0,971	0,971	1,051	1,436	0,421	0,998	0,998	1,024
	800	0,448	0,786	0,854	0,854	1,002	0,633	0,751	0,889	0,889	1,026	0,895	0,687	0,961	0,961	1,075	1,097	0,608	1,005	1,005	1,089	1,266	0,519	1,015	1,015	1,065
L ₂	20/100	0,620	0,899	1,056	1,056	1,056	0,876	0,805	1,110	1,110	1,110	1,239	0,565	1,074	1,074	1,074	1,518	0,417	1,094	1,084	1,084	1,752	0,337	1,179	1,042	1,042
	200	0,616	0,840	0,985	0,985	1,075	0,871	0,734	1,008	1,008	1,080	1,232	0,557	1,052	1,052	1,084	1,509	0,415	1,076	1,071	1,071	1,743	0,335	1,161	1,031	1,031
	300	0,612	0,770	0,901	0,901	1,059	0,865	0,709	0,969	0,969	1,103	1,223	0,544	1,017	1,017	1,084	1,498	0,411	1,051	1,051	1,049	1,730	0,333	1,137	1,015	1,015
	400	0,597	0,708	0,821	0,821	1,019	0,844	0,651	0,878	0,878	1,047	1,194	0,529	0,961	0,961	1,059	1,462	0,413	1,012	1,012	1,031	1,689	0,338	1,097	0,999	0,999
	500	0,582	0,724	0,834	0,834	1,065	0,823	0,671	0,891	0,891	1,091	1,165	0,550	0,970	0,970	1,095	1,426	0,431	1,011	1,011	1,050	1,647	0,351	1,086	1,009	1,009
	600	0,609	0,688	0,803	0,803	1,018	0,862	0,629	0,858	0,858	1,040	1,219	0,508	0,946	0,946	1,049	1,493	0,397	1,010	1,010	1,024	1,724	0,326	1,105	0,989	0,989
	700	0,620	0,678	0,796	0,796	0,974	0,876	0,616	0,850	0,850	1,000	1,239	0,494	0,939	0,939	1,018	1,518	0,386	1,014	1,004	1,004	1,752	0,318	1,113	0,984	0,984
	800	0,546	0,746	0,846	0,846	0,984	0,773	0,699	0,898	0,898	1,020	1,093	0,592	0,976	0,976	1,058	1,338	0,475	1,004	1,004	1,038	1,545	0,387	1,055	1,029	1,029
L ₃	20/100	0,725	0,857	1,068	1,068	1,068	1,025	0,701	1,088	1,088	1,088	1,450	0,447	1,077	1,077	1,077	1,776	0,334	1,202	1,051	1,051	2,051	0,276	1,325	1,035	1,035
	200	0,721	0,804	1,000	1,000	1,083	1,020	0,655	1,012	1,012	1,069	1,442	0,443	1,057	1,057	1,059	1,766	0,332	1,180	1,037	1,037	2,039	0,275	1,305	1,023	1,023
	300	0,716	0,737	0,913	0,913	1,059	1,012	0,638	0,980	0,980	1,088	1,432	0,435	1,027	1,027	1,043	1,754	0,329	1,152	1,018	1,018	2,025	0,273	1,278	1,007	1,007
	400	0,699	0,669	0,820	0,820	1,003	0,988	0,593	0,892	0,892	1,034	1,397	0,433	0,980	0,980	1,020	1,711	0,331	1,104	0,994	0,994	1,976	0,276	1,231	0,990	0,990
	500	0,681	0,688	0,836	0,836	1,051	0,964	0,614	0,906	0,906	1,076	1,363	0,452	0,983	0,983	1,044	1,669	0,344	1,093	1,004	1,004	1,927	0,286	1,213	0,994	0,994
	600	0,713	0,644	0,797	0,797	0,993	1,009	0,569	0,871	0,871	1,021	1,426	0,416	0,974	0,974	1,011	1,747	0,319	1,111	0,984	0,984	2,017	0,268	1,244	0,984	0,984
	700	0,725	0,633	0,789	0,789	0,951	1,025	0,555	0,861	0,861	0,982	1,450	0,404	0,974	0,974	0,994	1,776	0,310	1,116	0,976	0,976	2,051	0,262	1,256	0,981	0,981
	800	0,639	0,715	0,848	0,848	0,979	0,904	0,648	0,913	0,913	1,020	1,279	0,494	0,980	0,980	1,026	1,566	0,378	1,057	1,021	1,021	1,808	0,312	1,163	1,003	1,003
L ₄	20/100	0,823	0,807	1,072	1,072	1,072	1,164	0,601	1,059	1,059	1,059	1,646	0,371	1,147	1,147	1,065	2,016	0,283	1,314	1,040	1,040	2,328	0,235	1,454	1,027	1,027
	200	0,819	0,762	1,008	1,008	1,085	1,158	0,573	1,004	1,004	1,044	1,637	0,368	1,124	1,124	1,048	2,005	0,281	1,290	1,025	1,025	2,315	0,234	1,432	1,016	1,016
	300	0,813	0,701	0,924	0,924	1,059	1,149	0,563	0,979	0,979	1,060	1,626	0,362	1,092	1,024	1,024	1,991	0,278	1,257	1,005	1,005	2,299	0,233	1,402	1,000	1,000
	400	0,793	0,635	0,827	0,827	0,995	1,122	0,535	0,905	0,905	1,017	1,586	0,362	1,039	0,993	0,993	1,943	0,280	1,204	0,981	0,981	2,244	0,235	1,351	0,982	0,982
	500	0,774	0,657	0,843	0,843	1,043	1,094	0,556	0,918	0,918	1,055	1,547	0,378	1,031	1,005	1,005	1,895	0,290	1,188	0,987	0,987	2,188	0,244	1,331	0,987	0,987
	600	0,810	0,610	0,802	0,802	0,982	1,145	0,511	0,884	0,884	1,001	1,620	0,348	1,040	0,978	0,978	1,984	0,271	1,214	0,973	0,973	2,290	0,228	1,365	0,977	0,977
	700	0,823	0,596	0,791	0,791	0,939	1,164	0,498	0,879	0,879	0,971	1,646	0,339	1,046	0,971	0,971	2,016	0,263	1,219	0,965	0,965	2,328	0,223	1,375	0,971	0,971
	800	0,726	0,686	0,855	0,855	0,978	1,027	0,595	0,924	0,924	1,013	1,452	0,416	1,005	1,005	1,013	1,778	0,317	1,142	0,998	0,998	2,053	0,265	1,273	0,993	0,993
L ₅	20/100	0,914	0,751	1,066	1,066	1,066	1,292	0,520	1,046	1,046	1,046	1,828	0,321	1,222	1,045	1,045	2,238	0,246	1,407	1,025	1,025	2,585	0,202	1,538	1,000	1,000
	200	0,909	0,715	1,010	1,010	1,078	1,285	0,501	1,000	1,000	1,024	1,817	0,318	1,197	1,028	1,028	2,226	0,245	1,382	1,011	1,011	2,570	0,201	1,517	0,991	0,991
	300	0,902	0,663	0,933	0,933	1,055	1,276	0,496	0,980	0,980	1,033	1,805	0,313	1,162	1,004	1,004	2,210	0,242	1,348	0,992	0,992	2,552	0,200	1,487	0,977	0,977
	400	0,881	0,604	0,836	0,836	0,990	1,245	0,479	0,917	0,917	0,998	1,761	0,313	1,106	0,973	0,973	2,157	0,244	1,292	0,969	0,969	2,491	0,203	1,437	0,963	0,963
	500	0,859	0,626	0,853	0,853	1,037	1,215	0,500	0,927	0,927	1,031	1,718	0,326	1,095	0,984	0,984	2,104	0,253	1,275	0,975	0,975	2,429	0,211	1,420	0,969	0,969
	600	0,899	0,578	0,810	0,810	0,974	1,271	0,459	0,902	0,902	0,984	1,798	0,301	1,109	0,961											

Tabela 8.11: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna H_1 com $\sigma_{v20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.

L	T (°C)	$\sigma_{20}=75$ MPa					$\sigma_{20}=150$ MPa					$\sigma_{20}=300$ MPa					$\sigma_{20}=450$ MPa					$\sigma_{20}=600$ MPa				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,948	0,728	1,061	1,061	1,061	1,341	0,497	1,055	1,055	1,055	1,896	0,294	1,207	1,046	1,046	2,323	0,234	1,437	1,101	1,101	2,682	0,189	1,551	1,088	1,088
	200	0,943	0,694	1,007	1,007	1,072	1,333	0,485	1,021	1,021	1,039	1,886	0,296	1,199	1,043	1,043	2,310	0,241	1,464	1,125	1,125	2,667	0,190	1,543	1,087	1,087
	300	0,936	0,644	0,929	0,929	1,045	1,324	0,475	0,989	0,989	1,031	1,873	0,297	1,189	1,039	1,039	2,293	0,235	1,410	1,089	1,089	2,648	0,190	1,523	1,077	1,077
	400	0,914	0,584	0,828	0,828	0,975	1,292	0,460	0,925	0,925	0,993	1,827	0,302	1,152	1,021	1,021	2,238	0,240	1,374	1,076	1,076	2,584	0,196	1,490	1,070	1,070
	500	0,891	0,606	0,845	0,845	1,020	1,260	0,480	0,934	0,934	1,025	1,782	0,310	1,124	1,012	1,012	2,183	0,244	1,324	1,053	1,053	2,521	0,202	1,466	1,069	1,069
	600	0,933	0,557	0,802	0,802	0,957	1,319	0,440	0,911	0,911	0,980	1,866	0,293	1,164	1,018	1,018	2,285	0,238	1,419	1,098	1,098	2,638	0,187	1,481	1,050	1,050
	700	0,948	0,543	0,791	0,791	0,917	1,341	0,428	0,908	0,908	0,957	1,896	0,301	1,235	1,070	1,070	2,323	0,224	1,380	1,057	1,057	2,682	0,188	1,541	1,081	1,081
	800	0,836	0,638	0,855	0,855	0,964	1,183	0,520	0,934	0,934	0,996	1,672	0,340	1,085	1,015	1,015	2,048	0,273	1,306	1,080	1,080	2,365	0,224	1,430	1,083	1,083
L ₂	20/100	0,980	0,706	1,056	1,056	1,056	1,385	0,475	1,062	1,062	1,062	1,959	0,283	1,238	1,052	1,052	2,399	0,228	1,496	1,123	1,123	2,771	0,181	1,584	1,090	1,090
	200	0,974	0,675	1,004	1,004	1,065	1,378	0,464	1,027	1,027	1,039	1,948	0,285	1,233	1,051	1,051	2,386	0,234	1,518	1,144	1,144	2,755	0,182	1,573	1,086	1,086
	300	0,967	0,628	0,929	0,929	1,040	1,368	0,455	0,995	0,995	1,027	1,934	0,289	1,232	1,054	1,054	2,369	0,228	1,460	1,105	1,105	2,736	0,181	1,544	1,070	1,070
	400	0,944	0,572	0,831	0,831	0,971	1,335	0,443	0,933	0,933	0,989	1,888	0,295	1,197	1,040	1,040	2,312	0,235	1,432	1,100	1,100	2,670	0,191	1,553	1,093	1,093
	500	0,921	0,594	0,848	0,848	1,017	1,302	0,462	0,940	0,940	1,018	1,841	0,301	1,165	1,028	1,028	2,255	0,235	1,365	1,065	1,065	2,604	0,191	1,477	1,055	1,055
	600	0,964	0,547	0,806	0,806	0,956	1,363	0,423	0,921	0,921	0,977	1,927	0,282	1,196	1,026	1,026	2,360	0,220	1,396	1,059	1,059	2,726	0,181	1,536	1,067	1,067
	700	0,980	0,531	0,794	0,794	0,915	1,385	0,412	0,921	0,921	0,958	1,959	0,274	1,199	1,019	1,019	2,399	0,216	1,419	1,066	1,066	2,771	0,180	1,578	1,086	1,086
	800	0,864	0,627	0,858	0,858	0,963	1,222	0,502	0,937	0,937	0,992	1,728	0,324	1,101	1,010	1,010	2,116	0,253	1,291	1,047	1,047	2,443	0,213	1,452	1,079	1,079
L ₃	20/100	1,010	0,686	1,051	1,051	1,051	1,429	0,434	1,020	1,020	1,020	2,021	0,273	1,270	1,059	1,059	2,475	0,213	1,486	1,095	1,095	2,858	0,177	1,649	1,114	1,114
	200	1,005	0,657	1,003	1,003	1,060	1,421	0,428	0,997	0,997	1,002	2,010	0,273	1,257	1,052	1,052	2,461	0,210	1,450	1,072	1,072	2,842	0,174	1,602	1,085	1,085
	300	0,998	0,615	0,932	0,932	1,038	1,411	0,420	0,966	0,966	0,986	1,996	0,281	1,276	1,072	1,072	2,444	0,216	1,474	1,094	1,094	2,822	0,177	1,605	1,092	1,092
	400	0,974	0,562	0,836	0,836	0,971	1,377	0,413	0,913	0,913	0,956	1,947	0,280	1,211	1,032	1,032	2,385	0,221	1,435	1,081	1,081	2,754	0,181	1,564	1,080	1,080
	500	0,950	0,584	0,852	0,852	1,015	1,343	0,430	0,915	0,915	0,977	1,899	0,293	1,206	1,044	1,044	2,326	0,225	1,388	1,062	1,062	2,686	0,186	1,530	1,073	1,073
	600	0,994	0,536	0,810	0,810	0,954	1,406	0,396	0,906	0,906	0,947	1,988	0,265	1,194	1,005	1,005	2,435	0,205	1,385	1,031	1,031	2,812	0,179	1,617	1,103	1,103
	700	1,010	0,522	0,800	0,800	0,915	1,429	0,386	0,907	0,907	0,932	2,021	0,267	1,242	1,036	1,036	2,475	0,207	1,446	1,066	1,066	2,858	0,176	1,639	1,107	1,107
	800	0,891	0,618	0,861	0,861	0,964	1,260	0,470	0,914	0,914	0,960	1,782	0,307	1,113	1,001	1,001	2,183	0,237	1,289	1,026	1,026	2,521	0,203	1,469	1,070	1,070
L ₄	20/100	1,041	0,664	1,046	1,046	1,046	1,472	0,439	1,086	1,086	1,086	2,082	0,260	1,283	1,051	1,051	2,550	0,203	1,508	1,092	1,092	2,944	0,167	1,655	1,097	1,097
	200	1,035	0,639	1,001	1,001	1,055	1,464	0,431	1,057	1,057	1,056	2,070	0,261	1,278	1,050	1,050	2,536	0,200	1,466	1,064	1,064	2,928	0,173	1,689	1,124	1,124
	300	1,028	0,600	0,933	0,933	1,033	1,454	0,420	1,017	1,017	1,027	2,056	0,263	1,266	1,045	1,045	2,518	0,205	1,484	1,082	1,082	2,907	0,174	1,678	1,121	1,121
	400	1,003	0,551	0,840	0,840	0,970	1,419	0,411	0,954	0,954	0,986	2,006	0,268	1,231	1,031	1,031	2,457	0,210	1,446	1,070	1,070	2,837	0,178	1,637	1,110	1,110
	500	0,978	0,573	0,855	0,855	1,013	1,384	0,428	0,955	0,955	1,006	1,957	0,280	1,224	1,041	1,041	2,396	0,214	1,402	1,054	1,054	2,767	0,179	1,567	1,079	1,079
	600	1,024	0,525	0,815	0,815	0,952	1,448	0,393	0,945	0,945	0,974	2,048	0,266	1,273	1,052	1,052	2,508	0,207	1,488	1,088	1,088	2,896	0,170	1,623	1,087	1,087
	700	1,041	0,511	0,804	0,804	0,914	1,472	0,382	0,947	0,947	0,960	2,082	0,258	1,276	1,044	1,044	2,550	0,195	1,445	1,045	1,045	2,944	0,162	1,600	1,061	1,061
	800	0,918	0,608	0,865	0,865	0,964	1,298	0,467	0,946	0,946	0,986	1,836	0,299	1,150	1,016	1,016	2,249	0,232	1,335	1,043	1,043	2,597	0,194	1,489	1,066	1,066
L ₅	20/100	1,071	0,643	1,040	1,040	1,040	1,515	0,423	1,106	1,099	1,099	2,142	0,254	1,329	1,070	1,070	2,623	0,194	1,519	1,080	1,080	3,029	0,166	1,736	1,131	1,131
	200	1,065	0,621	0,999	0,999	1,050	1,506	0,416	1,075	1,072	1,072	2,130	0,253	1,307	1,056	1,056	2,609	0,193	1,502	1,072	1,072	3,012	0,166	1,718	1,123	1,123
	300	1,058	0,585	0,934	0,934	1,029	1,496	0,405	1,032	1,032	1,032	2,115	0,255	1,303	1,056	1,056	2,590	0,191	1,459	1,046	1,046	2,991	0,164	1,675	1,100	1,100
	400	1,032	0,540	0,843	0,843	0,967	1,460	0,396	0,967	0,967	0,986	2,064	0,262	1,273	1,048	1,048	2,528	0,204	1,488	1,083	1,083	2,919	0,167	1,624	1,082	1,082
	500	1,007	0,562	0,859	0,859	1,010	1,424	0,413	0,965	0,965	1,004	2,013	0,276	1,275	1,066	1,066	2,466	0,205	1,421	1,049	1,049	2,847	0,177	1,639	1,109	1,109
	600	1,054	0,515	0,820	0,820	0,950	1,490	0,380	0,961	0,961	0,976	2,107	0,261	1,3												

Tabela 8.12: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna **H2** com $\sigma_{v20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.

L	T (°C)	$\sigma_{20}=75$ MPa					$\sigma_{20}=150$ MPa					$\sigma_{20}=300$ MPa					$\sigma_{20}=450$ MPa					$\sigma_{20}=600$ MPa				
		$\lambda_{FT,T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uG,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uFT,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uFT,T}^*}$	$\lambda_{FT,T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uG,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uFT,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uFT,T}^*}$	$\lambda_{FT,T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uG,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uFT,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uFT,T}^*}$	$\lambda_{FT,T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uG,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uFT,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uFT,T}^*}$	$\lambda_{FT,T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uG,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uFT,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uFT,T}^*}$
L ₁	20/100	0,765	0,846	1,082	1,082	1,082	1,082	0,665	1,085	1,085	1,085	1,531	0,421	1,125	1,105	1,105	1,875	0,331	1,328	1,094	1,094	2,165	0,289	1,542	1,122	1,122
	200	0,761	0,794	1,012	1,012	1,093	1,076	0,641	1,042	1,042	1,093	1,522	0,416	1,099	1,085	1,085	1,864	0,329	1,303	1,078	1,078	2,153	0,287	1,519	1,110	1,110
	300	0,756	0,727	0,923	0,923	1,066	1,069	0,614	0,991	0,991	1,089	1,512	0,409	1,064	1,057	1,057	1,851	0,325	1,272	1,059	1,059	2,138	0,286	1,488	1,094	1,094
	400	0,738	0,658	0,826	0,826	1,004	1,043	0,574	0,905	0,905	1,036	1,475	0,406	1,010	1,010	1,026	1,807	0,326	1,214	1,033	1,033	2,086	0,287	1,426	1,071	1,071
	500	0,719	0,678	0,842	0,842	1,052	1,017	0,596	0,919	0,919	1,078	1,439	0,424	1,009	1,009	1,044	1,762	0,335	1,186	1,031	1,031	2,035	0,295	1,392	1,068	1,068
	600	0,753	0,632	0,802	0,802	0,992	1,065	0,550	0,884	0,884	1,022	1,506	0,392	1,013	1,009	1,009	1,844	0,318	1,234	1,031	1,031	2,130	0,281	1,452	1,071	1,071
	700	0,765	0,620	0,792	0,792	0,949	1,082	0,536	0,875	0,875	0,986	1,531	0,382	1,021	1,003	1,003	1,875	0,314	1,258	1,036	1,036	2,165	0,276	1,475	1,072	1,072
	800	0,675	0,710	0,859	0,859	0,988	0,955	0,632	0,926	0,926	1,026	1,350	0,465	0,997	0,997	1,028	1,654	0,360	1,122	1,031	1,031	1,909	0,313	1,303	1,056	1,056
L ₂	20/100	0,851	0,799	1,083	1,083	1,083	1,204	0,579	1,061	1,061	1,061	1,703	0,363	1,200	1,074	1,074	2,085	0,300	1,485	1,116	1,116	2,408	0,252	1,667	1,105	1,105
	200	0,847	0,755	1,020	1,020	1,094	1,197	0,562	1,024	1,024	1,060	1,693	0,358	1,172	1,054	1,054	2,074	0,298	1,460	1,102	1,102	2,395	0,251	1,642	1,094	1,094
	300	0,841	0,696	0,935	0,935	1,067	1,189	0,547	0,989	0,989	1,062	1,681	0,352	1,133	1,026	1,026	2,059	0,295	1,425	1,082	1,082	2,378	0,250	1,610	1,080	1,080
	400	0,820	0,629	0,834	0,834	0,999	1,160	0,523	0,918	0,918	1,021	1,641	0,349	1,070	0,990	0,990	2,009	0,295	1,358	1,053	1,053	2,320	0,252	1,548	1,060	1,060
	500	0,800	0,651	0,851	0,851	1,047	1,132	0,544	0,929	0,929	1,058	1,600	0,364	1,062	1,004	1,004	1,960	0,303	1,327	1,052	1,052	2,263	0,259	1,515	1,060	1,060
	600	0,837	0,603	0,809	0,809	0,985	1,184	0,500	0,900	0,900	1,007	1,675	0,339	1,084	0,985	0,985	2,051	0,288	1,380	1,052	1,052	2,369	0,246	1,572	1,058	1,058
	700	0,851	0,589	0,798	0,798	0,943	1,204	0,486	0,892	0,892	0,976	1,703	0,325	1,075	0,962	0,962	2,085	0,283	1,403	1,054	1,054	2,408	0,241	1,595	1,057	1,057
	800	0,751	0,681	0,863	0,863	0,983	1,062	0,584	0,936	0,936	1,020	1,502	0,398	1,024	1,023	1,023	1,839	0,323	1,244	1,042	1,042	2,124	0,269	1,383	1,022	1,022
L ₃	20/100	0,931	0,748	1,075	1,075	1,075	1,317	0,512	1,058	1,058	1,058	1,862	0,335	1,323	1,096	1,096	2,280	0,274	1,626	1,130	1,130	2,633	0,234	1,852	1,136	1,136
	200	0,926	0,713	1,020	1,020	1,087	1,309	0,503	1,031	1,031	1,052	1,851	0,330	1,291	1,075	1,075	2,268	0,272	1,597	1,115	1,115	2,618	0,233	1,823	1,124	1,124
	300	0,919	0,662	0,943	0,943	1,063	1,300	0,487	0,989	0,989	1,036	1,838	0,325	1,252	1,049	1,049	2,252	0,269	1,556	1,093	1,093	2,600	0,232	1,786	1,108	1,108
	400	0,897	0,603	0,845	0,845	0,997	1,269	0,474	0,931	0,931	1,005	1,794	0,323	1,184	1,013	1,013	2,197	0,270	1,485	1,066	1,066	2,537	0,234	1,717	1,088	1,088
	500	0,875	0,625	0,862	0,862	1,044	1,237	0,495	0,939	0,939	1,037	1,750	0,333	1,162	1,016	1,016	2,143	0,276	1,448	1,062	1,062	2,475	0,241	1,685	1,091	1,091
	600	0,916	0,577	0,820	0,820	0,982	1,295	0,454	0,916	0,916	0,992	1,832	0,314	1,200	1,008	1,008	2,243	0,263	1,508	1,063	1,063	2,590	0,227	1,740	1,083	1,083
	700	0,931	0,561	0,806	0,806	0,938	1,317	0,451	0,932	0,932	0,989	1,862	0,308	1,216	1,008	1,008	2,280	0,258	1,529	1,063	1,063	2,633	0,223	1,760	1,080	1,080
	800	0,821	0,659	0,873	0,873	0,987	1,161	0,536	0,942	0,942	1,008	1,642	0,359	1,103	1,019	1,019	2,011	0,296	1,364	1,057	1,057	2,322	0,249	1,529	1,046	1,046
L ₄	20/100	1,004	0,697	1,063	1,063	1,063	1,420	0,462	1,074	1,074	1,074	2,009	0,308	1,416	1,099	1,099	2,460	0,250	1,725	1,123	1,123	2,841	0,209	1,925	1,106	1,106
	200	0,999	0,670	1,017	1,017	1,076	1,412	0,454	1,047	1,047	1,053	1,997	0,305	1,386	1,081	1,081	2,446	0,248	1,693	1,107	1,107	2,825	0,208	1,895	1,094	1,094
	300	0,992	0,628	0,947	0,947	1,056	1,402	0,442	1,007	1,007	1,031	1,983	0,300	1,345	1,055	1,055	2,429	0,246	1,652	1,087	1,087	2,805	0,207	1,856	1,078	1,078
	400	0,968	0,577	0,855	0,855	0,994	1,369	0,433	0,948	0,948	0,995	1,936	0,298	1,273	1,020	1,020	2,371	0,246	1,578	1,061	1,061	2,737	0,209	1,789	1,061	1,061
	500	0,944	0,600	0,871	0,871	1,039	1,335	0,451	0,952	0,952	1,020	1,888	0,307	1,247	1,021	1,021	2,312	0,254	1,547	1,063	1,063	2,670	0,217	1,760	1,067	1,067
	600	0,988	0,551	0,829	0,829	0,977	1,397	0,411	0,930	0,930	0,975	1,976	0,288	1,284	1,010	1,010	2,420	0,240	1,603	1,058	1,058	2,794	0,204	1,813	1,056	1,056
	700	1,004	0,537	0,818	0,818	0,938	1,420	0,406	0,944	0,944	0,973	2,009	0,284	1,307	1,014	1,014	2,460	0,235	1,623	1,056	1,056	2,841	0,198	1,825	1,048	1,048
	800	0,886	0,635	0,882	0,882	0,987	1,253	0,492	0,949	0,949	0,998	1,771	0,335	1,200	1,038	1,038	2,170	0,272	1,461	1,060	1,060	2,505	0,225	1,610	1,031	1,031
L ₅	20/100	1,072	0,649	1,049	1,049	1,049	1,516	0,423	1,109	1,098	1,098	2,144	0,286	1,496	1,097	1,097	2,625	0,227	1,785	1,098	1,098	3,031	0,186	1,948	1,058	1,058
	200	1,066	0,627	1,009	1,009	1,060	1,507	0,416	1,078	1,073	1,073	2,132	0,282	1,461	1,077	1,077	2,611	0,226	1,755	1,085	1,085	3,014	0,186	1,923	1,050	1,050
	300	1,058	0,593	0,948	0,948	1,044	1,497	0,406	1,036	1,036	1,035	2,117	0,276	1,412	1,047	1,047	2,592	0,224	1,714	1,066	1,066	2,993	0,185	1,885	1,035	1,035
	400	1,033	0,552	0,862	0,862	0,989	1,461	0,399	0,974	0,974	0,994	2,066	0,277	1,346	1,019	1,019	2,530	0,224	1,634	1,038	1,038	2,921	0,188	1,825	1,024	1,024
	500	1,007	0,574	0,877	0,877	1,032	1,425	0,415	0,971	0,971	1,010	2,015	0,285	1,321	1,022	1,022	2,467	0,231	1,602	1,040	1,040	2,849	0,194	1,799	1,031	1,031
	600	1,054	0,526	0,838	0,838	0,972	1,491	0,375	0,951	0,951	0,965	2,109	0,269													

Tabela 8.13: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna H_3 com $\sigma_{v20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

L	T (°C)	$\sigma_{20}=75 \text{ MPa}$					$\sigma_{20}=150 \text{ MPa}$					$\sigma_{20}=300 \text{ MPa}$					$\sigma_{20}=450 \text{ MPa}$					$\sigma_{20}=600 \text{ MPa}$				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,658	0,895	1,073	1,073	1,073	0,931	0,780	1,122	1,122	1,122	1,317	0,523	1,080	1,080	1,080	1,613	0,394	1,168	1,090	1,090	1,862	0,333	1,317	1,074	1,074
	200	0,655	0,837	1,002	1,002	1,091	0,926	0,743	1,064	1,064	1,134	1,309	0,517	1,060	1,060	1,082	1,604	0,390	1,145	1,075	1,075	1,852	0,332	1,296	1,063	1,063
	300	0,650	0,768	0,916	0,916	1,072	0,919	0,694	0,989	0,989	1,115	1,300	0,507	1,028	1,028	1,078	1,592	0,386	1,115	1,053	1,053	1,839	0,330	1,272	1,050	1,050
	400	0,634	0,702	0,831	0,831	1,025	0,897	0,638	0,894	0,894	1,055	1,269	0,498	0,977	0,977	1,056	1,554	0,387	1,065	1,030	1,030	1,794	0,332	1,220	1,031	1,031
	500	0,619	0,720	0,845	0,845	1,072	0,875	0,659	0,907	0,907	1,100	1,237	0,518	0,983	0,983	1,086	1,516	0,402	1,054	1,043	1,043	1,750	0,342	1,193	1,032	1,032
	600	0,648	0,680	0,810	0,810	1,021	0,916	0,614	0,872	0,872	1,045	1,295	0,479	0,966	0,966	1,047	1,586	0,374	1,074	1,018	1,018	1,832	0,325	1,242	1,029	1,029
	700	0,658	0,669	0,802	0,802	0,977	0,931	0,601	0,864	0,864	1,005	1,317	0,466	0,962	0,962	1,021	1,613	0,366	1,086	1,014	1,014	1,862	0,319	1,261	1,028	1,028
	800	0,581	0,744	0,856	0,856	0,994	0,821	0,689	0,914	0,914	1,032	1,161	0,564	0,991	0,991	1,061	1,422	0,442	1,030	1,030	1,045	1,642	0,367	1,128	1,035	1,035
L ₂	20/100	0,693	0,883	1,079	1,079	1,079	0,980	0,744	1,112	1,112	1,112	1,386	0,485	1,084	1,084	1,084	1,698	0,369	1,213	1,079	1,079	1,961	0,317	1,389	1,079	1,079
	200	0,689	0,827	1,008	1,008	1,095	0,975	0,712	1,060	1,060	1,124	1,379	0,480	1,063	1,063	1,075	1,689	0,365	1,185	1,060	1,060	1,950	0,316	1,369	1,069	1,069
	300	0,684	0,757	0,921	0,921	1,073	0,968	0,671	0,992	0,992	1,110	1,369	0,471	1,032	1,032	1,065	1,677	0,361	1,159	1,043	1,043	1,936	0,314	1,342	1,055	1,055
	400	0,668	0,690	0,831	0,831	1,021	0,945	0,619	0,900	0,900	1,052	1,336	0,466	0,984	0,984	1,043	1,636	0,363	1,107	1,020	1,020	1,889	0,316	1,287	1,035	1,035
	500	0,652	0,709	0,846	0,846	1,069	0,921	0,641	0,914	0,914	1,096	1,303	0,484	0,985	0,985	1,067	1,596	0,375	1,090	1,028	1,028	1,843	0,325	1,257	1,035	1,035
	600	0,682	0,667	0,810	0,810	1,014	0,964	0,595	0,878	0,878	1,040	1,364	0,448	0,976	0,976	1,035	1,670	0,352	1,120	1,012	1,012	1,929	0,309	1,309	1,033	1,033
	700	0,693	0,655	0,801	0,801	0,971	0,980	0,581	0,869	0,869	1,001	1,386	0,436	0,974	0,974	1,014	1,698	0,345	1,135	1,010	1,010	1,961	0,304	1,330	1,034	1,034
	800	0,611	0,734	0,859	0,859	0,993	0,865	0,673	0,920	0,920	1,034	1,223	0,530	0,991	0,991	1,049	1,497	0,410	1,049	1,049	1,046	1,729	0,342	1,165	1,019	1,019
L ₃	20/100	0,727	0,868	1,082	1,082	1,082	1,028	0,708	1,102	1,102	1,102	1,454	0,453	1,098	1,098	1,098	1,781	0,351	1,268	1,079	1,079	2,056	0,304	1,463	1,088	1,088
	200	0,723	0,814	1,013	1,013	1,097	1,022	0,684	1,060	1,060	1,119	1,446	0,448	1,075	1,075	1,077	1,771	0,347	1,242	1,062	1,062	2,045	0,302	1,442	1,077	1,077
	300	0,718	0,746	0,925	0,925	1,074	1,015	0,646	0,995	0,995	1,104	1,436	0,440	1,042	1,042	1,058	1,758	0,344	1,212	1,043	1,043	2,030	0,301	1,414	1,063	1,063
	400	0,700	0,678	0,832	0,832	1,017	0,991	0,600	0,905	0,905	1,048	1,401	0,436	0,991	0,991	1,030	1,716	0,344	1,156	1,019	1,019	1,981	0,303	1,354	1,042	1,042
	500	0,683	0,698	0,848	0,848	1,066	0,966	0,622	0,920	0,920	1,092	1,366	0,452	0,987	0,987	1,047	1,674	0,355	1,134	1,023	1,023	1,932	0,310	1,322	1,041	1,041
	600	0,715	0,653	0,809	0,809	1,008	1,011	0,577	0,885	0,885	1,037	1,430	0,420	0,990	0,990	1,026	1,752	0,336	1,175	1,015	1,015	2,023	0,296	1,379	1,041	1,041
	700	0,727	0,641	0,799	0,799	0,964	1,028	0,562	0,875	0,875	0,998	1,454	0,409	0,990	0,990	1,009	1,781	0,342	1,236	1,052	1,052	2,056	0,291	1,401	1,041	1,041
	800	0,641	0,724	0,860	0,860	0,992	0,907	0,657	0,927	0,927	1,035	1,282	0,497	0,989	0,989	1,034	1,570	0,385	1,083	1,037	1,037	1,813	0,330	1,239	1,036	1,036
L ₄	20/100	0,760	0,858	1,093	1,093	1,093	1,074	0,672	1,089	1,089	1,089	1,519	0,426	1,122	1,108	1,108	1,860	0,334	1,319	1,077	1,077	2,148	0,291	1,530	1,091	1,091
	200	0,755	0,805	1,022	1,022	1,105	1,068	0,652	1,051	1,051	1,104	1,511	0,422	1,097	1,089	1,089	1,850	0,332	1,294	1,062	1,062	2,136	0,290	1,508	1,081	1,081
	300	0,750	0,738	0,934	0,934	1,079	1,061	0,622	0,996	0,996	1,096	1,500	0,414	1,061	1,061	1,060	1,837	0,328	1,264	1,044	1,044	2,121	0,288	1,478	1,067	1,067
	400	0,732	0,669	0,837	0,837	1,018	1,035	0,582	0,911	0,911	1,044	1,464	0,411	1,008	1,008	1,026	1,793	0,329	1,205	1,019	1,019	2,070	0,290	1,416	1,045	1,045
	500	0,714	0,690	0,854	0,854	1,067	1,010	0,604	0,925	0,925	1,087	1,428	0,430	1,009	1,009	1,048	1,749	0,338	1,178	1,019	1,019	2,019	0,297	1,382	1,045	1,045
	600	0,747	0,644	0,813	0,813	1,007	1,057	0,558	0,890	0,890	1,031	1,494	0,397	1,011	1,011	1,025	1,830	0,321	1,225	1,016	1,016	2,113	0,283	1,441	1,044	1,044
	700	0,760	0,631	0,803	0,803	0,964	1,074	0,543	0,881	0,881	0,994	1,519	0,383	1,008	0,995	0,995	1,860	0,315	1,244	1,016	1,016	2,148	0,278	1,465	1,045	1,045
	800	0,670	0,718	0,867	0,867	0,997	0,947	0,640	0,932	0,932	1,034	1,340	0,471	0,999	0,999	1,032	1,641	0,366	1,123	1,032	1,032	1,895	0,316	1,294	1,039	1,039
L ₅	20/100	0,791	0,838	1,088	1,088	1,088	1,119	0,639	1,079	1,079	1,079	1,582	0,404	1,153	1,096	1,096	1,937	0,321	1,373	1,079	1,079	2,237	0,280	1,595	1,095	1,095
	200	0,787	0,789	1,023	1,023	1,103	1,112	0,623	1,045	1,045	1,093	1,573	0,399	1,126	1,076	1,076	1,927	0,319	1,349	1,066	1,066	2,225	0,278	1,571	1,084	1,084
	300	0,781	0,725	0,936	0,936	1,078	1,104	0,597	0,995	0,995	1,086	1,562	0,392	1,090	1,049	1,049	1,913	0,316	1,317	1,047	1,047	2,209	0,277	1,540	1,070	1,070
	400	0,762	0,657	0,838	0,838	1,015	1,078	0,563	0,916	0,916	1,039	1,524	0,390	1,033	1,017	1,017	1,867	0,316	1,255	1,021	1,021	2,156	0,278	1,475	1,049	1,049
	500	0,743	0,679	0,855	0,855	1,064	1,051	0,585	0,929	0,929	1,080	1,487	0,407	1,026	1,026	1,043	1,821	0,324	1,227	1,022	1,022	2,103	0,286	1,440	1,048	1,048
	600	0,778	0,632	0,814	0,814	1,003	1,100	0,539	0,895	0,895	1,025	1,556	0,377	1,04												

Tabela 8.14: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna **H4** com $\sigma_{v20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

L	T (°C)	$\sigma_{20}=75 \text{ MPa}$					$\sigma_{20}=150 \text{ MPa}$					$\sigma_{20}=300 \text{ MPa}$					$\sigma_{20}=450 \text{ MPa}$					$\sigma_{20}=600 \text{ MPa}$				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,576	0,924	1,061	1,061	1,061	0,815	0,855	1,129	1,129	1,129	1,153	0,638	1,113	1,113	1,113	1,412	0,475	1,093	1,093	1,093	1,630	0,385	1,166	1,096	1,096
	200	0,573	0,864	0,991	0,991	1,084	0,810	0,807	1,062	1,062	1,143	1,146	0,627	1,087	1,087	1,132	1,404	0,472	1,077	1,077	1,085	1,621	0,383	1,148	1,083	1,083
	300	0,569	0,796	0,912	0,912	1,076	0,805	0,744	0,976	0,976	1,120	1,138	0,606	1,042	1,042	1,130	1,394	0,467	1,053	1,053	1,079	1,610	0,381	1,124	1,066	1,066
	400	0,555	0,739	0,840	0,840	1,048	0,785	0,687	0,889	0,889	1,072	1,111	0,581	0,974	0,974	1,097	1,360	0,467	1,014	1,014	1,067	1,571	0,385	1,084	1,047	1,047
	500	0,542	0,753	0,852	0,852	1,093	0,766	0,705	0,901	0,901	1,115	1,083	0,603	0,985	0,985	1,136	1,327	0,487	1,018	1,018	1,094	1,532	0,400	1,071	1,054	1,054
	600	0,567	0,721	0,825	0,825	1,051	0,802	0,666	0,871	0,871	1,068	1,134	0,559	0,957	0,957	1,087	1,389	0,449	1,007	1,007	1,059	1,604	0,373	1,094	1,040	1,040
	700	0,576	0,712	0,818	0,818	1,007	0,815	0,655	0,865	0,865	1,029	1,153	0,546	0,951	0,951	1,054	1,412	0,451	1,038	1,038	1,072	1,630	0,360	1,090	1,024	1,024
	800	0,508	0,773	0,861	0,861	1,006	0,719	0,731	0,907	0,907	1,038	1,017	0,642	0,990	0,990	1,087	1,245	0,533	1,020	1,020	1,075	1,438	0,434	1,030	1,030	1,042
L ₂	20/100	0,610	0,915	1,069	1,069	1,069	0,863	0,829	1,133	1,133	1,133	1,220	0,588	1,097	1,097	1,097	1,494	0,437	1,113	1,113	1,113	1,725	0,359	1,217	1,096	1,096
	200	0,607	0,855	0,998	0,998	1,090	0,858	0,785	1,068	1,068	1,145	1,213	0,581	1,075	1,075	1,111	1,486	0,434	1,092	1,092	1,087	1,715	0,357	1,198	1,084	1,084
	300	0,602	0,787	0,916	0,916	1,077	0,852	0,727	0,985	0,985	1,122	1,204	0,565	1,038	1,038	1,110	1,475	0,430	1,069	1,069	1,074	1,703	0,355	1,173	1,067	1,067
	400	0,588	0,726	0,839	0,839	1,042	0,831	0,669	0,893	0,893	1,068	1,175	0,549	0,979	0,979	1,084	1,440	0,432	1,029	1,029	1,056	1,662	0,359	1,131	1,047	1,047
	500	0,573	0,742	0,851	0,851	1,088	0,811	0,688	0,906	0,906	1,112	1,146	0,570	0,989	0,989	1,121	1,404	0,444	1,014	1,014	1,062	1,621	0,371	1,113	1,050	1,050
	600	0,600	0,707	0,821	0,821	1,042	0,849	0,647	0,875	0,875	1,063	1,200	0,527	0,962	0,962	1,073	1,470	0,416	1,027	1,027	1,051	1,697	0,348	1,144	1,043	1,043
	700	0,610	0,697	0,814	0,814	0,999	0,863	0,635	0,866	0,866	1,021	1,220	0,514	0,959	0,959	1,045	1,494	0,410	1,043	1,043	1,050	1,725	0,333	1,130	1,018	1,018
	800	0,538	0,764	0,862	0,862	1,004	0,761	0,716	0,912	0,912	1,039	1,076	0,612	0,993	0,993	1,080	1,318	0,513	1,062	1,062	1,102	1,521	0,406	1,073	1,061	1,061
L ₃	20/100	0,642	0,905	1,076	1,076	1,076	0,909	0,801	1,132	1,132	1,132	1,285	0,545	1,088	1,088	1,088	1,574	0,407	1,149	1,149	1,109	1,817	0,337	1,270	1,101	1,101
	200	0,639	0,847	1,005	1,005	1,095	0,903	0,762	1,073	1,073	1,146	1,278	0,539	1,068	1,068	1,094	1,565	0,404	1,129	1,093	1,093	1,807	0,336	1,250	1,088	1,088
	300	0,634	0,778	0,921	0,921	1,079	0,897	0,708	0,992	0,992	1,123	1,269	0,528	1,035	1,035	1,093	1,554	0,400	1,101	1,072	1,072	1,794	0,334	1,225	1,072	1,072
	400	0,619	0,714	0,838	0,838	1,037	0,875	0,652	0,899	0,899	1,066	1,238	0,518	0,983	0,983	1,071	1,516	0,402	1,054	1,045	1,045	1,751	0,338	1,180	1,052	1,052
	500	0,604	0,731	0,852	0,852	1,084	0,854	0,672	0,912	0,912	1,110	1,208	0,539	0,992	0,992	1,105	1,479	0,419	1,046	1,046	1,067	1,708	0,349	1,161	1,054	1,054
	600	0,632	0,693	0,819	0,819	1,034	0,894	0,629	0,879	0,879	1,058	1,264	0,497	0,969	0,969	1,060	1,548	0,388	1,060	1,035	1,035	1,787	0,327	1,193	1,047	1,047
	700	0,642	0,682	0,811	0,811	0,990	0,909	0,616	0,870	0,870	1,017	1,285	0,485	0,967	0,967	1,035	1,574	0,378	1,068	1,030	1,030	1,817	0,320	1,206	1,046	1,046
	800	0,567	0,754	0,862	0,862	1,002	0,801	0,702	0,919	0,919	1,040	1,133	0,583	0,998	0,998	1,074	1,388	0,460	1,030	1,030	1,053	1,602	0,372	1,090	1,037	1,037
L ₄	20/100	0,674	0,895	1,082	1,082	1,082	0,953	0,772	1,129	1,129	1,129	1,348	0,508	1,086	1,086	1,086	1,650	0,382	1,187	1,105	1,105	1,906	0,319	1,321	1,106	1,106
	200	0,670	0,838	1,011	1,011	1,099	0,948	0,738	1,074	1,074	1,142	1,340	0,503	1,066	1,066	1,083	1,641	0,379	1,165	1,089	1,089	1,895	0,318	1,300	1,093	1,093
	300	0,665	0,769	0,926	0,926	1,081	0,941	0,689	0,998	0,998	1,122	1,331	0,493	1,035	1,035	1,077	1,630	0,375	1,136	1,068	1,068	1,882	0,316	1,274	1,076	1,076
	400	0,649	0,703	0,838	0,838	1,032	0,918	0,636	0,905	0,905	1,064	1,299	0,487	0,987	0,987	1,057	1,590	0,377	1,087	1,040	1,040	1,836	0,319	1,226	1,054	1,054
	500	0,633	0,721	0,853	0,853	1,080	0,896	0,657	0,919	0,919	1,108	1,267	0,508	0,995	0,995	1,089	1,551	0,392	1,074	1,047	1,047	1,791	0,330	1,206	1,056	1,056
	600	0,663	0,681	0,818	0,818	1,028	0,937	0,611	0,883	0,883	1,053	1,326	0,468	0,978	0,978	1,049	1,624	0,365	1,098	1,035	1,035	1,875	0,309	1,240	1,050	1,050
	700	0,674	0,669	0,809	0,809	0,984	0,953	0,599	0,875	0,875	1,014	1,348	0,456	0,975	0,975	1,026	1,650	0,351	1,089	1,014	1,014	1,906	0,303	1,253	1,049	1,049
	800	0,594	0,746	0,864	0,864	1,002	0,840	0,689	0,925	0,925	1,043	1,188	0,553	0,998	0,998	1,064	1,456	0,430	1,044	1,044	1,051	1,681	0,357	1,150	1,057	1,057
L ₅	20/100	0,704	0,883	1,087	1,087	1,087	0,996	0,740	1,120	1,120	1,120	1,408	0,476	1,091	1,091	1,091	1,725	0,361	1,225	1,104	1,104	1,991	0,302	1,367	1,107	1,107
	200	0,700	0,828	1,017	1,017	1,104	0,990	0,711	1,072	1,072	1,136	1,400	0,471	1,070	1,070	1,079	1,715	0,358	1,202	1,088	1,088	1,980	0,301	1,345	1,094	1,094
	300	0,695	0,761	0,931	0,931	1,084	0,983	0,668	1,002	1,002	1,118	1,390	0,463	1,039	1,039	1,066	1,703	0,354	1,172	1,066	1,066	1,966	0,299	1,318	1,078	1,078
	400	0,678	0,692	0,840	0,840	1,030	0,959	0,619	0,910	0,910	1,061	1,357	0,459	0,993	0,993	1,046	1,662	0,356	1,121	1,038	1,038	1,919	0,302	1,267	1,055	1,055
	500	0,662	0,712	0,855	0,855	1,078	0,936	0,641	0,924	0,924	1,105	1,323	0,480	0,999	0,999	1,074	1,621	0,368	1,102	1,040	1,040	1,872	0,312	1,248	1,058	1,058
	600	0,693	0,669	0,818	0,818	1,023	0,980	0,595	0,889	0,889	1,050	1,385	0,442	0,												

Tabela 8.15: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna H_5 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.

L	T (°C)	$\sigma_{y20}=75$ MPa					$\sigma_{y20}=150$ MPa					$\sigma_{y20}=300$ MPa					$\sigma_{y20}=450$ MPa					$\sigma_{y20}=600$ MPa				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{UT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{UT}}{f_{NG.T}}$	$\frac{f_{UT}}{f_{NFT.T}}$	$\frac{f_{UT}}{f_{MT.T}}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{UT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{UT}}{f_{NG.T}}$	$\frac{f_{UT}}{f_{NFT.T}}$	$\frac{f_{UT}}{f_{MT.T}}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{UT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{UT}}{f_{NG.T}}$	$\frac{f_{UT}}{f_{NFT.T}}$	$\frac{f_{UT}}{f_{MT.T}}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{UT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{UT}}{f_{NG.T}}$	$\frac{f_{UT}}{f_{NFT.T}}$	$\frac{f_{UT}}{f_{MT.T}}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{UT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{UT}}{f_{NG.T}}$	$\frac{f_{UT}}{f_{NFT.T}}$	$\frac{f_{UT}}{f_{MT.T}}$
L ₁	20/100	0,566	0,926	1,059	1,059	1,059	0,800	0,862	1,127	1,127	1,127	1,131	0,652	1,114	1,114	1,114	1,385	0,487	1,087	1,087	1,087	1,600	0,395	1,153	1,085	1,085
	200	0,562	0,866	0,989	0,989	1,082	0,795	0,811	1,056	1,056	1,138	1,125	0,640	1,087	1,087	1,134	1,378	0,484	1,071	1,071	1,083	1,591	0,393	1,134	1,073	1,073
	300	0,558	0,799	0,910	0,910	1,075	0,790	0,749	0,972	0,972	1,118	1,117	0,617	1,040	1,040	1,133	1,368	0,478	1,046	1,046	1,079	1,580	0,390	1,110	1,057	1,057
	400	0,545	0,741	0,840	0,840	1,048	0,771	0,691	0,886	0,886	1,071	1,090	0,589	0,969	0,969	1,097	1,335	0,478	1,008	1,008	1,068	1,542	0,394	1,068	1,040	1,040
	500	0,532	0,756	0,851	0,851	1,093	0,752	0,709	0,898	0,898	1,115	1,063	0,611	0,980	0,980	1,137	1,302	0,498	1,013	1,013	1,097	1,504	0,410	1,056	1,053	1,053
	600	0,556	0,724	0,824	0,824	1,052	0,787	0,670	0,868	0,868	1,068	1,113	0,567	0,952	0,952	1,087	1,363	0,460	1,000	1,000	1,060	1,574	0,381	1,077	1,029	1,029
	700	0,566	0,715	0,817	0,817	1,008	0,800	0,660	0,862	0,862	1,028	1,131	0,554	0,946	0,946	1,053	1,385	0,447	0,999	0,999	1,040	1,600	0,373	1,088	1,024	1,024
	800	0,499	0,775	0,860	0,860	1,005	0,705	0,734	0,904	0,904	1,036	0,998	0,649	0,985	0,985	1,084	1,222	0,543	1,015	1,015	1,074	1,411	0,448	1,031	1,031	1,049
L ₂	20/100	0,594	0,918	1,065	1,065	1,065	0,841	0,843	1,132	1,132	1,132	1,189	0,608	1,099	1,099	1,099	1,456	0,452	1,098	1,098	1,098	1,681	0,372	1,198	1,076	1,076
	200	0,591	0,859	0,994	0,994	1,087	0,836	0,792	1,062	1,062	1,140	1,182	0,599	1,075	1,075	1,115	1,448	0,449	1,080	1,080	1,082	1,672	0,370	1,179	1,064	1,064
	300	0,587	0,791	0,913	0,913	1,076	0,830	0,734	0,980	0,980	1,120	1,174	0,582	1,036	1,036	1,116	1,438	0,443	1,051	1,051	1,066	1,660	0,367	1,153	1,048	1,048
	400	0,573	0,730	0,838	0,838	1,042	0,810	0,676	0,889	0,889	1,067	1,145	0,562	0,973	0,973	1,086	1,403	0,446	1,017	1,017	1,056	1,620	0,371	1,109	1,031	1,031
	500	0,559	0,746	0,850	0,850	1,088	0,790	0,694	0,902	0,902	1,112	1,117	0,583	0,984	0,984	1,124	1,368	0,465	1,018	1,018	1,079	1,580	0,384	1,092	1,039	1,039
	600	0,585	0,712	0,821	0,821	1,044	0,827	0,654	0,870	0,870	1,062	1,169	0,540	0,956	0,956	1,075	1,432	0,429	1,012	1,012	1,049	1,654	0,360	1,123	1,024	1,024
	700	0,594	0,702	0,814	0,814	1,000	0,841	0,642	0,863	0,863	1,021	1,189	0,526	0,950	0,950	1,043	1,456	0,418	1,016	1,016	1,035	1,681	0,353	1,138	1,022	1,022
	800	0,524	0,767	0,861	0,861	1,004	0,741	0,722	0,909	0,909	1,037	1,048	0,624	0,989	0,989	1,080	1,284	0,510	1,016	1,016	1,062	1,483	0,420	1,054	1,054	1,055
L ₃	20/100	0,622	0,910	1,070	1,070	1,070	0,880	0,817	1,130	1,130	1,130	1,245	0,569	1,088	1,088	1,088	1,524	0,425	1,125	1,108	1,108	1,760	0,353	1,247	1,073	1,073
	200	0,619	0,851	0,999	0,999	1,090	0,875	0,775	1,068	1,068	1,143	1,238	0,562	1,067	1,067	1,099	1,516	0,421	1,104	1,093	1,093	1,750	0,351	1,227	1,061	1,061
	300	0,615	0,782	0,916	0,916	1,076	0,869	0,718	0,985	0,985	1,120	1,229	0,549	1,032	1,032	1,099	1,505	0,417	1,076	1,072	1,072	1,738	0,349	1,201	1,046	1,046
	400	0,600	0,719	0,836	0,836	1,037	0,848	0,661	0,893	0,893	1,065	1,199	0,535	0,976	0,976	1,075	1,469	0,418	1,032	1,032	1,050	1,696	0,352	1,154	1,028	1,028
	500	0,585	0,735	0,849	0,849	1,083	0,827	0,681	0,906	0,906	1,109	1,170	0,556	0,986	0,986	1,111	1,433	0,436	1,029	1,029	1,067	1,654	0,363	1,133	1,033	1,033
	600	0,612	0,699	0,818	0,818	1,035	0,866	0,638	0,873	0,873	1,057	1,224	0,513	0,961	0,961	1,063	1,500	0,403	1,033	1,033	1,045	1,732	0,343	1,171	1,023	1,023
	700	0,622	0,689	0,810	0,810	0,991	0,880	0,626	0,865	0,865	1,017	1,245	0,500	0,956	0,956	1,035	1,524	0,393	1,041	1,024	1,024	1,760	0,336	1,187	1,021	1,021
	800	0,549	0,758	0,860	0,860	1,001	0,776	0,710	0,913	0,913	1,038	1,098	0,600	0,993	0,993	1,076	1,344	0,479	1,020	1,020	1,053	1,552	0,395	1,085	1,050	1,050
L ₄	20/100	0,650	0,897	1,070	1,070	1,070	0,919	0,791	1,126	1,126	1,126	1,299	0,532	1,078	1,078	1,078	1,591	0,398	1,149	1,087	1,087	1,837	0,334	1,286	1,062	1,062
	200	0,646	0,841	1,001	1,001	1,090	0,914	0,753	1,068	1,068	1,140	1,292	0,526	1,058	1,058	1,082	1,582	0,395	1,128	1,072	1,072	1,827	0,333	1,266	1,052	1,052
	300	0,641	0,772	0,918	0,918	1,075	0,907	0,700	0,988	0,988	1,117	1,283	0,516	1,027	1,027	1,080	1,571	0,390	1,099	1,052	1,052	1,814	0,330	1,240	1,037	1,037
	400	0,626	0,708	0,834	0,834	1,030	0,885	0,645	0,895	0,895	1,059	1,252	0,506	0,976	0,976	1,059	1,533	0,392	1,051	1,029	1,029	1,771	0,333	1,191	1,019	1,019
	500	0,611	0,726	0,848	0,848	1,078	0,863	0,665	0,909	0,909	1,104	1,221	0,526	0,982	0,982	1,090	1,496	0,408	1,041	1,041	1,056	1,727	0,343	1,167	1,022	1,022
	600	0,639	0,687	0,814	0,814	1,027	0,904	0,621	0,874	0,874	1,050	1,278	0,487	0,964	0,964	1,050	1,565	0,379	1,058	1,016	1,016	1,808	0,325	1,209	1,015	1,015
	700	0,650	0,676	0,806	0,806	0,983	0,919	0,608	0,866	0,866	1,010	1,299	0,473	0,960	0,960	1,023	1,591	0,370	1,068	1,010	1,010	1,837	0,321	1,236	1,022	1,022
	800	0,573	0,749	0,859	0,859	0,998	0,810	0,696	0,916	0,916	1,036	1,146	0,572	0,991	0,991	1,064	1,403	0,449	1,023	1,023	1,043	1,620	0,371	1,111	1,033	1,033
L ₅	20/100	0,676	0,892	1,080	1,080	1,080	0,956	0,764	1,120	1,120	1,120	1,352	0,502	1,080	1,080	1,080	1,656	0,368	1,151	1,049	1,049	1,912	0,311	1,296	1,032	1,032
	200	0,672	0,836	1,010	1,010	1,098	0,951	0,732	1,069	1,069	1,136	1,345	0,497	1,060	1,060	1,077	1,647	0,366	1,132	1,037	1,037	1,902	0,310	1,278	1,023	1,023
	300	0,668	0,767	0,924	0,924	1,079	0,944	0,685	0,994	0,994	1,117	1,335	0,488	1,029	1,029	1,070	1,635	0,363	1,107	1,020	1,020	1,888	0,309	1,255	1,011	1,011
	400	0,652	0,700	0,836	0,836	1,029	0,921	0,631	0,901	0,901	1,059	1,303	0,482	0,981	0,981	1,049	1,596	0,365	1,061	1,000	1,000	1,843	0,312	1,209	0,996	0,996
	500	0,635	0,718	0,851	0,851	1,077	0,899	0,653	0,915	0,915	1,103	1,271	0,500	0,982	0,982	1,074	1,556	0,379	1,047	1,010	1,010	1,797	0,321	1,183	0,998	0,998
	600	0,665	0,677	0,815	0,815	1,023	0,941	0,607	0,879	0,879	1,047	1,330	0,464	0,972	0,972	1,042	1,629</									

Tabela 8.16: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna **R₁** com $\sigma_{v20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

L	T (°C)	$\sigma_{50}=75 \text{ MPa}$					$\sigma_{50}=150 \text{ MPa}$					$\sigma_{50}=300 \text{ MPa}$					$\sigma_{50}=450 \text{ MPa}$					$\sigma_{50}=600 \text{ MPa}$				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,735	0,842	1,055	1,055	1,055	1,039	0,685	1,077	1,077	1,077	1,470	0,414	1,023	1,023	1,023	1,800	0,299	1,103	0,985	0,985	2,078	0,240	1,183	0,967	0,967
	200	0,731	0,773	0,967	0,967	1,047	1,033	0,627	0,981	0,981	1,034	1,461	0,374	0,914	0,914	0,913	1,790	0,274	1,002	0,898	0,898	2,067	0,218	1,062	0,871	0,871
	300	0,726	0,716	0,892	0,892	1,035	1,026	0,622	0,966	0,966	1,070	1,451	0,410	0,990	0,990	1,001	1,777	0,295	1,061	0,955	0,955	2,052	0,240	1,154	0,950	0,950
	400	0,708	0,640	0,790	0,790	0,964	1,001	0,575	0,874	0,874	1,010	1,416	0,413	0,957	0,957	0,989	1,734	0,300	1,027	0,939	0,939	2,003	0,245	1,122	0,939	0,939
	500	0,691	0,661	0,807	0,807	1,012	0,977	0,596	0,889	0,889	1,053	1,381	0,432	0,960	0,960	1,013	1,692	0,314	1,024	0,950	0,950	1,953	0,256	1,112	0,944	0,944
	600	0,723	0,615	0,766	0,766	0,953	1,022	0,549	0,851	0,851	0,994	1,446	0,396	0,950	0,950	0,979	1,771	0,288	1,028	0,927	0,927	2,044	0,236	1,126	0,929	0,929
	700	0,735	0,603	0,755	0,755	0,910	1,039	0,536	0,842	0,842	0,958	1,470	0,384	0,948	0,948	0,962	1,800	0,280	1,033	0,923	0,923	2,078	0,230	1,132	0,925	0,925
	800	0,648	0,687	0,819	0,819	0,944	0,916	0,631	0,896	0,896	0,999	1,296	0,477	0,963	0,963	1,004	1,587	0,351	1,008	0,973	0,973	1,833	0,279	1,070	0,945	0,945
L ₂	20/100	0,873	0,764	1,051	1,051	1,051	1,234	0,545	1,031	1,031	1,031	1,746	0,320	1,112	1,012	1,012	2,138	0,244	1,274	1,023	1,023	2,469	0,204	1,418	1,042	1,042
	200	0,868	0,701	0,961	0,961	1,030	1,227	0,494	0,928	0,928	0,957	1,736	0,292	1,004	0,917	0,917	2,126	0,226	1,167	0,940	0,940	2,455	0,186	1,275	0,941	0,941
	300	0,862	0,662	0,903	0,903	1,028	1,219	0,517	0,963	0,963	1,028	1,724	0,316	1,070	0,982	0,982	2,111	0,239	1,214	0,983	0,983	2,438	0,202	1,372	1,016	1,016
	400	0,841	0,595	0,800	0,800	0,954	1,189	0,493	0,891	0,891	0,983	1,682	0,319	1,030	0,959	0,959	2,060	0,241	1,167	0,959	0,959	2,379	0,205	1,323	0,994	0,994
	500	0,820	0,616	0,816	0,816	1,000	1,160	0,514	0,904	0,904	1,021	1,641	0,334	1,026	0,971	0,971	2,009	0,250	1,151	0,961	0,961	2,320	0,212	1,301	0,993	0,993
	600	0,859	0,567	0,772	0,772	0,935	1,214	0,471	0,873	0,873	0,969	1,717	0,306	1,029	0,946	0,946	2,103	0,234	1,178	0,956	0,956	2,428	0,199	1,335	0,991	0,991
	700	0,873	0,553	0,760	0,760	0,895	1,234	0,457	0,865	0,865	0,939	1,746	0,297	1,033	0,940	0,940	2,138	0,228	1,191	0,956	0,956	2,469	0,194	1,347	0,990	0,990
	800	0,770	0,646	0,827	0,827	0,941	1,089	0,550	0,903	0,903	0,980	1,539	0,371	1,002	0,986	0,986	1,885	0,274	1,109	0,963	0,963	2,177	0,229	1,237	0,982	0,982
L ₃	20/100	1,010	0,672	1,030	1,030	1,030	1,428	0,437	1,025	1,025	1,025	2,019	0,265	1,233	1,026	1,026	2,473	0,202	1,411	1,036	1,036	2,856	0,176	1,638	1,100	1,100
	200	1,004	0,608	0,928	0,928	0,981	1,420	0,393	0,915	0,915	0,920	2,008	0,243	1,119	0,934	0,934	2,459	0,184	1,269	0,935	0,935	2,840	0,162	1,491	1,005	1,005
	300	0,997	0,599	0,909	0,909	1,012	1,410	0,423	0,971	0,971	0,992	1,994	0,259	1,173	0,983	0,983	2,442	0,201	1,363	1,009	1,009	2,820	0,174	1,577	1,067	1,067
	400	0,973	0,549	0,815	0,815	0,948	1,376	0,414	0,915	0,915	0,958	1,946	0,259	1,117	0,951	0,951	2,383	0,203	1,315	0,988	0,988	2,752	0,176	1,518	1,043	1,043
	500	0,949	0,567	0,827	0,827	0,986	1,342	0,433	0,920	0,920	0,983	1,898	0,270	1,108	0,957	0,957	2,324	0,211	1,299	0,991	0,991	2,684	0,182	1,491	1,041	1,041
	600	0,993	0,519	0,785	0,785	0,924	1,405	0,396	0,903	0,903	0,945	1,986	0,249	1,122	0,943	0,943	2,433	0,196	1,321	0,980	0,980	2,809	0,171	1,536	1,042	1,042
	700	1,010	0,506	0,775	0,775	0,887	1,428	0,384	0,901	0,901	0,926	2,019	0,243	1,130	0,940	0,940	2,473	0,191	1,332	0,978	0,978	2,856	0,167	1,554	1,044	1,044
	800	0,890	0,601	0,838	0,838	0,937	1,259	0,472	0,917	0,917	0,963	1,781	0,297	1,075	0,966	0,966	2,181	0,229	1,240	0,983	0,983	2,518	0,196	1,415	1,027	1,027
L ₄	20/100	1,144	0,579	1,002	1,002	1,002	1,618	0,347	1,035	0,987	0,987	2,288	0,200	1,196	0,921	0,921	2,802	0,183	1,636	1,112	1,112	3,236	0,150	1,796	1,117	1,117
	200	1,138	0,527	0,906	0,906	0,944	1,609	0,329	0,970	0,929	0,929	2,275	0,212	1,254	0,969	0,969	2,787	0,169	1,495	1,020	1,020	3,218	0,140	1,652	1,031	1,031
	300	1,130	0,534	0,911	0,911	0,989	1,598	0,351	1,021	0,982	0,982	2,259	0,222	1,290	1,001	1,001	2,767	0,179	1,562	1,070	1,070	3,195	0,151	1,754	1,099	1,099
	400	1,102	0,495	0,824	0,824	0,930	1,559	0,344	0,954	0,931	0,931	2,205	0,222	1,229	0,968	0,968	2,701	0,179	1,493	1,038	1,038	3,118	0,153	1,692	1,076	1,076
	500	1,075	0,517	0,838	0,838	0,969	1,521	0,364	0,959	0,950	0,950	2,151	0,230	1,213	0,971	0,971	2,634	0,185	1,466	1,035	1,035	3,041	0,158	1,666	1,076	1,076
	600	1,126	0,472	0,802	0,802	0,912	1,592	0,333	0,961	0,926	0,926	2,251	0,213	1,232	0,958	0,958	2,757	0,174	1,510	1,037	1,037	3,183	0,148	1,709	1,074	1,074
	700	1,144	0,457	0,791	0,791	0,878	1,618	0,323	0,963	0,919	0,919	2,288	0,209	1,250	0,962	0,962	2,802	0,171	1,528	1,038	1,038	3,236	0,145	1,726	1,073	1,073
	800	1,009	0,554	0,849	0,849	0,933	1,427	0,400	0,937	0,937	0,950	2,018	0,250	1,163	0,968	0,968	2,472	0,200	1,390	1,021	1,021	2,854	0,171	1,587	1,066	1,066
L ₅	20/100	1,276	0,499	0,987	0,987	0,987	1,804	0,310	1,151	1,026	1,026	2,552	0,205	1,519	1,094	1,094	3,125	0,154	1,710	1,086	1,086	3,609	0,132	1,965	1,142	1,142
	200	1,269	0,453	0,889	0,889	0,912	1,794	0,268	0,983	0,879	0,879	2,537	0,189	1,387	1,002	1,002	3,108	0,148	1,632	1,041	1,041	3,588	0,121	1,775	1,035	1,035
	300	1,260	0,470	0,913	0,913	0,965	1,782	0,298	1,079	0,969	0,969	2,520	0,198	1,433	1,040	1,040	3,086	0,158	1,715	1,098	1,098	3,563	0,131	1,899	1,113	1,113
	400	1,229	0,445	0,838	0,838	0,916	1,739	0,297	1,023	0,933	0,933	2,459	0,197	1,355	0,998	0,998	3,011	0,159	1,642	1,067	1,067	3,477	0,133	1,837	1,093	1,093
	500	1,199	0,465	0,849	0,849	0,948	1,696	0,311	1,019	0,944	0,944	2,398	0,203	1,334	0,998	0,998	2,937	0,164	1,615	1,066	1,066	3,391				

Tabela 8.17: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna **R2** com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

L	T (°C)	$\sigma_{y20}=75 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=150 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=300 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=450 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=600 \text{ MPa}$				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,656	0,874	1,046	1,046	1,046	0,928	0,761	1,090	1,090	1,090	1,312	0,511	1,051	1,051	1,051	1,607	0,369	1,085	1,025	1,025	1,855	0,304	1,193	1,002	1,002
	200	0,652	0,808	0,965	0,965	1,051	0,922	0,699	0,998	0,998	1,063	1,305	0,462	0,942	0,942	0,962	1,598	0,337	0,979	0,930	0,930	1,845	0,282	1,094	0,923	0,923
	300	0,648	0,745	0,888	0,888	1,040	0,916	0,676	0,961	0,961	1,084	1,295	0,495	1,000	1,000	1,049	1,586	0,365	1,047	0,999	0,999	1,832	0,300	1,148	0,974	0,974
	400	0,632	0,675	0,798	0,798	0,985	0,894	0,620	0,866	0,866	1,024	1,264	0,487	0,950	0,950	1,027	1,548	0,370	1,010	0,984	0,984	1,788	0,303	1,103	0,955	0,955
	500	0,616	0,693	0,813	0,813	1,032	0,872	0,640	0,880	0,880	1,068	1,233	0,507	0,957	0,957	1,059	1,510	0,387	1,005	0,999	0,999	1,744	0,313	1,086	0,960	0,960
	600	0,645	0,653	0,778	0,778	0,980	0,913	0,596	0,844	0,844	1,012	1,291	0,466	0,936	0,936	1,016	1,581	0,355	1,011	0,968	0,968	1,825	0,294	1,118	0,952	0,952
	700	0,656	0,642	0,769	0,769	0,937	0,928	0,583	0,835	0,835	0,973	1,312	0,453	0,932	0,932	0,990	1,607	0,345	1,016	0,959	0,959	1,855	0,289	1,132	0,951	0,951
	800	0,578	0,717	0,825	0,825	0,958	0,818	0,671	0,888	0,888	1,003	1,157	0,549	0,961	0,961	1,030	1,417	0,429	0,994	0,994	1,010	1,636	0,344	1,051	0,979	0,979
L ₂	20/100	0,744	0,834	1,051	1,051	1,051	1,052	0,673	1,069	1,069	1,069	1,488	0,422	1,065	1,065	1,065	1,822	0,314	1,190	1,014	1,014	2,104	0,266	1,341	1,016	1,016
	200	0,740	0,769	0,967	0,967	1,047	1,046	0,615	0,972	0,972	1,023	1,480	0,383	0,957	0,957	0,954	1,812	0,290	1,086	0,930	0,930	2,093	0,248	1,238	0,943	0,943
	300	0,735	0,715	0,896	0,896	1,038	1,039	0,614	0,964	0,964	1,065	1,469	0,413	1,019	1,019	1,025	1,799	0,308	1,138	0,980	0,980	2,078	0,262	1,290	0,987	0,987
	400	0,717	0,643	0,798	0,798	0,972	1,014	0,571	0,878	0,878	1,012	1,434	0,411	0,972	0,972	1,000	1,756	0,310	1,091	0,958	0,958	2,028	0,264	1,237	0,966	0,966
	500	0,699	0,663	0,814	0,814	1,020	0,989	0,592	0,891	0,891	1,052	1,398	0,430	0,974	0,974	1,022	1,713	0,323	1,080	0,968	0,968	1,978	0,272	1,213	0,967	0,967
	600	0,732	0,618	0,774	0,774	0,961	1,035	0,546	0,855	0,855	0,996	1,464	0,394	0,966	0,966	0,990	1,793	0,300	1,099	0,949	0,949	2,070	0,258	1,258	0,966	0,966
	700	0,744	0,606	0,764	0,764	0,919	1,052	0,532	0,845	0,845	0,959	1,488	0,384	0,970	0,970	0,979	1,822	0,293	1,110	0,946	0,946	2,104	0,253	1,277	0,967	0,967
	800	0,656	0,690	0,826	0,826	0,952	0,928	0,626	0,898	0,898	0,999	1,312	0,471	0,969	0,969	1,008	1,607	0,356	1,050	0,991	0,991	1,856	0,294	1,153	0,968	0,968
L ₃	20/100	0,820	0,792	1,050	1,050	1,050	1,160	0,597	1,049	1,049	1,049	1,641	0,366	1,123	1,043	1,043	2,010	0,282	1,297	1,020	1,020	2,320	0,241	1,481	1,036	1,036
	200	0,816	0,728	0,962	0,962	1,035	1,154	0,543	0,949	0,949	0,987	1,632	0,333	1,011	0,943	0,943	1,998	0,262	1,192	0,942	0,942	2,308	0,226	1,372	0,964	0,964
	300	0,810	0,686	0,902	0,902	1,035	1,146	0,557	0,964	0,964	1,044	1,620	0,358	1,071	1,005	1,005	1,984	0,275	1,235	0,982	0,982	2,291	0,238	1,425	1,007	1,007
	400	0,791	0,617	0,801	0,801	0,965	1,118	0,524	0,884	0,884	0,994	1,581	0,358	1,019	0,976	0,976	1,937	0,277	1,183	0,959	0,959	2,236	0,240	1,366	0,985	0,985
	500	0,771	0,638	0,818	0,818	1,012	1,090	0,547	0,899	0,899	1,035	1,542	0,374	1,013	0,990	0,990	1,889	0,286	1,164	0,963	0,963	2,181	0,247	1,338	0,985	0,985
	600	0,807	0,591	0,776	0,776	0,951	1,141	0,502	0,865	0,865	0,981	1,614	0,343	1,019	0,959	0,959	1,977	0,269	1,197	0,955	0,955	2,283	0,234	1,392	0,987	0,987
	700	0,820	0,577	0,765	0,765	0,908	1,160	0,489	0,858	0,858	0,949	1,641	0,333	1,024	0,951	0,951	2,010	0,263	1,213	0,954	0,954	2,320	0,230	1,413	0,988	0,988
	800	0,724	0,667	0,830	0,830	0,949	1,023	0,583	0,904	0,904	0,991	1,447	0,412	0,989	0,989	0,998	1,772	0,311	1,115	0,972	0,972	2,046	0,264	1,261	0,977	0,977
L ₄	20/100	0,907	0,739	1,043	1,043	1,043	1,282	0,521	1,036	1,036	1,036	1,813	0,320	1,201	1,028	1,028	2,221	0,254	1,430	1,037	1,037	2,564	0,220	1,646	1,061	1,061
	200	0,902	0,677	0,951	0,951	1,015	1,275	0,473	0,933	0,933	0,957	1,803	0,294	1,089	0,936	0,936	2,208	0,238	1,322	0,963	0,963	2,550	0,205	1,522	0,986	0,986
	300	0,895	0,648	0,907	0,907	1,026	1,266	0,494	0,966	0,966	1,020	1,790	0,312	1,141	0,987	0,987	2,193	0,249	1,366	1,000	1,000	2,532	0,217	1,585	1,032	1,032
	400	0,874	0,586	0,807	0,807	0,957	1,236	0,474	0,898	0,898	0,979	1,747	0,311	1,083	0,956	0,956	2,140	0,249	1,302	0,973	0,973	2,471	0,218	1,520	1,010	1,010
	500	0,852	0,608	0,824	0,824	1,003	1,205	0,494	0,908	0,908	1,012	1,704	0,324	1,074	0,967	0,967	2,087	0,257	1,276	0,973	0,973	2,410	0,225	1,488	1,009	1,009
	600	0,892	0,560	0,781	0,781	0,941	1,261	0,455	0,886	0,886	0,970	1,784	0,300	1,087	0,943	0,943	2,185	0,243	1,323	0,972	0,972	2,523	0,213	1,548	1,011	1,011
	700	0,907	0,546	0,771	0,771	0,901	1,282	0,441	0,877	0,877	0,940	1,813	0,292	1,096	0,938	0,938	2,221	0,239	1,343	0,973	0,973	2,564	0,210	1,572	1,013	1,013
	800	0,800	0,639	0,836	0,836	0,946	1,131	0,534	0,911	0,911	0,981	1,599	0,358	1,043	0,989	0,989	1,959	0,276	1,208	0,971	0,971	2,262	0,239	1,396	0,997	0,997
L ₅	20/100	0,991	0,684	1,032	1,032	1,032	1,402	0,457	1,041	1,041	1,041	1,983	0,289	1,293	1,029	1,029	2,428	0,233	1,569	1,058	1,058	2,804	0,191	1,710	1,025	1,025
	200	0,986	0,624	0,938	0,938	0,993	1,394	0,416	0,938	0,938	0,946	1,971	0,268	1,186	0,948	0,948	2,415	0,218	1,452	0,983	0,983	2,788	0,188	1,665	1,002	1,002
	300	0,979	0,610	0,911	0,911	1,017	1,384	0,438	0,977	0,977	1,004	1,958	0,280	1,224	0,984	0,984	2,398	0,228	1,496	1,019	1,019	2,768	0,199	1,739	1,053	1,053
	400	0,955	0,556	0,815	0,815	0,951	1,351	0,426	0,915	0,915	0,966	1,910	0,278	1,159	0,950	0,950	2,340	0,229	1,430	0,994	0,994	2,702	0,201	1,671	1,032	1,032
	500	0,932	0,578	0,831	0,831	0,994	1,318	0,445	0,920	0,920	0,991	1,863	0,289	1,144	0,957	0,957										

Tabela 8.18: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna **R3** com $\sigma_{v20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

L	T (°C)	$\sigma_{20}=75 \text{ MPa}$					$\sigma_{20}=150 \text{ MPa}$					$\sigma_{20}=300 \text{ MPa}$					$\sigma_{20}=450 \text{ MPa}$					$\sigma_{20}=600 \text{ MPa}$				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT}^*}$
L ₁	20/100	0,797	0,815	1,064	1,064	1,064	1,127	0,620	1,055	1,055	1,055	1,594	0,364	1,053	1,013	1,013	1,952	0,272	1,180	0,999	0,999	2,254	0,219	1,271	0,983	0,983
	200	0,792	0,747	0,971	0,971	1,047	1,121	0,563	0,953	0,953	0,995	1,585	0,330	0,944	0,912	0,912	1,941	0,250	1,076	0,915	0,915	2,241	0,198	1,132	0,879	0,879
	300	0,787	0,695	0,900	0,900	1,035	1,113	0,578	0,970	0,970	1,057	1,574	0,361	1,019	0,988	0,988	1,927	0,267	1,130	0,965	0,965	2,226	0,220	1,242	0,969	0,969
	400	0,768	0,622	0,796	0,796	0,963	1,086	0,542	0,888	0,888	1,006	1,536	0,366	0,983	0,968	0,968	1,881	0,269	1,083	0,939	0,939	2,172	0,224	1,206	0,955	0,955
	500	0,749	0,644	0,814	0,814	1,011	1,059	0,563	0,901	0,901	1,046	1,498	0,383	0,979	0,979	0,991	1,835	0,279	1,070	0,943	0,943	2,118	0,233	1,194	0,961	0,961
	600	0,784	0,596	0,770	0,770	0,948	1,109	0,517	0,865	0,865	0,988	1,568	0,356	0,997	0,969	0,969	1,920	0,260	1,092	0,935	0,935	2,217	0,216	1,212	0,948	0,948
	700	0,797	0,582	0,760	0,760	0,906	1,127	0,504	0,857	0,857	0,956	1,594	0,340	0,984	0,946	0,946	1,952	0,254	1,103	0,934	0,934	2,254	0,210	1,218	0,943	0,943
	800	0,703	0,672	0,826	0,826	0,947	0,994	0,601	0,908	0,908	1,001	1,406	0,424	0,969	0,969	0,987	1,721	0,308	1,042	0,955	0,955	1,988	0,254	1,145	0,959	0,959
L ₂	20/100	0,920	0,737	1,051	1,051	1,051	1,302	0,504	1,025	1,025	1,025	1,841	0,300	1,158	1,017	1,017	2,255	0,233	1,348	1,043	1,043	2,604	0,193	1,490	1,053	1,053
	200	0,915	0,672	0,954	0,954	1,018	1,295	0,457	0,921	0,921	0,942	1,831	0,274	1,047	0,924	0,924	2,242	0,215	1,235	0,959	0,959	2,589	0,175	1,338	0,949	0,949
	300	0,909	0,644	0,909	0,909	1,027	1,285	0,483	0,965	0,965	1,015	1,818	0,293	1,105	0,979	0,979	2,226	0,228	1,287	1,004	1,004	2,571	0,192	1,447	1,030	1,030
	400	0,887	0,581	0,807	0,807	0,955	1,254	0,467	0,903	0,903	0,980	1,774	0,295	1,059	0,952	0,952	2,173	0,228	1,229	0,973	0,973	2,509	0,194	1,395	1,009	1,009
	500	0,865	0,603	0,825	0,825	1,002	1,223	0,488	0,913	0,913	1,012	1,730	0,309	1,054	0,963	0,963	2,119	0,236	1,210	0,973	0,973	2,447	0,201	1,374	1,010	1,010
	600	0,906	0,554	0,780	0,780	0,937	1,281	0,446	0,887	0,887	0,965	1,811	0,284	1,060	0,941	0,941	2,218	0,221	1,242	0,970	0,970	2,561	0,188	1,407	1,004	1,004
	700	0,920	0,539	0,769	0,769	0,896	1,302	0,434	0,881	0,881	0,939	1,841	0,275	1,065	0,935	0,935	2,255	0,217	1,256	0,972	0,972	2,604	0,183	1,418	1,002	1,002
	800	0,812	0,634	0,836	0,836	0,945	1,148	0,528	0,917	0,917	0,985	1,624	0,342	1,027	0,976	0,976	1,988	0,256	1,156	0,968	0,968	2,296	0,217	1,306	0,999	0,999
L ₃	20/100	1,043	0,651	1,027	1,027	1,027	1,474	0,417	1,036	1,036	1,036	2,085	0,258	1,278	1,039	1,039	2,554	0,204	1,516	1,084	1,084	2,949	0,170	1,687	1,102	1,102
	200	1,037	0,593	0,930	0,930	0,981	1,466	0,379	0,931	0,931	0,930	2,074	0,238	1,167	0,951	0,951	2,540	0,189	1,387	0,995	0,995	2,933	0,156	1,526	1,000	1,000
	300	1,030	0,588	0,916	0,916	1,014	1,456	0,404	0,981	0,981	0,991	2,059	0,251	1,212	0,993	0,993	2,522	0,199	1,445	1,042	1,042	2,912	0,168	1,628	1,072	1,072
	400	1,005	0,537	0,820	0,820	0,947	1,421	0,398	0,927	0,927	0,957	2,009	0,250	1,151	0,957	0,957	2,461	0,200	1,379	1,010	1,010	2,842	0,170	1,568	1,049	1,049
	500	0,980	0,560	0,836	0,836	0,990	1,386	0,416	0,930	0,930	0,980	1,960	0,260	1,138	0,962	0,962	2,400	0,206	1,355	1,008	1,008	2,772	0,176	1,543	1,048	1,048
	600	1,026	0,511	0,794	0,794	0,928	1,451	0,381	0,919	0,919	0,946	2,051	0,241	1,157	0,950	0,950	2,512	0,194	1,395	1,008	1,008	2,901	0,165	1,586	1,047	1,047
	700	1,043	0,497	0,784	0,784	0,891	1,474	0,369	0,918	0,918	0,930	2,085	0,235	1,167	0,948	0,948	2,554	0,190	1,412	1,010	1,010	2,949	0,162	1,602	1,046	1,046
	800	0,920	0,594	0,845	0,845	0,942	1,300	0,456	0,925	0,925	0,964	1,839	0,285	1,100	0,967	0,967	2,252	0,223	1,288	0,997	0,997	2,601	0,190	1,467	1,038	1,038
L ₄	20/100	1,162	0,569	1,003	1,003	1,003	1,644	0,355	1,095	1,033	1,033	2,325	0,229	1,410	1,070	1,070	2,847	0,181	1,671	1,116	1,116	3,288	0,150	1,843	1,125	1,125
	200	1,156	0,518	0,906	0,906	0,942	1,635	0,308	0,939	0,889	0,889	2,312	0,211	1,288	0,981	0,981	2,832	0,167	1,523	1,021	1,021	3,270	0,137	1,665	1,020	1,020
	300	1,148	0,527	0,915	0,915	0,991	1,623	0,344	1,034	0,983	0,983	2,296	0,222	1,331	1,018	1,018	2,812	0,177	1,593	1,073	1,073	3,247	0,148	1,777	1,093	1,093
	400	1,120	0,491	0,831	0,831	0,934	1,584	0,341	0,976	0,943	0,943	2,240	0,220	1,259	0,977	0,977	2,744	0,177	1,523	1,041	1,041	3,168	0,150	1,715	1,071	1,071
	500	1,093	0,513	0,846	0,846	0,973	1,545	0,356	0,970	0,952	0,952	2,185	0,228	1,242	0,979	0,979	2,676	0,183	1,497	1,040	1,040	3,090	0,155	1,691	1,073	1,073
	600	1,144	0,468	0,810	0,810	0,917	1,617	0,327	0,974	0,928	0,928	2,287	0,213	1,268	0,972	0,972	2,801	0,172	1,540	1,039	1,039	3,235	0,145	1,730	1,067	1,067
	700	1,162	0,455	0,801	0,801	0,885	1,644	0,317	0,977	0,922	0,922	2,325	0,208	1,281	0,972	0,972	2,847	0,164	1,513	1,010	1,010	3,288	0,142	1,745	1,065	1,065
	800	1,025	0,549	0,853	0,853	0,935	1,450	0,392	0,945	0,945	0,953	2,050	0,248	1,187	0,975	0,975	2,511	0,198	1,421	1,027	1,027	2,900	0,172	1,647	1,088	1,088
L ₅	20/100	1,280	0,498	0,989	0,989	0,989	1,810	0,300	1,119	0,994	0,994	2,559	0,206	1,538	1,098	1,098	3,134	0,153	1,710	1,075	1,075	3,619	0,114	1,708	0,981	0,981
	200	1,272	0,453	0,892	0,892	0,915	1,800	0,271	1,000	0,891	0,891	2,545	0,190	1,403	1,005	1,005	3,117	0,148	1,636	1,033	1,033	3,599	0,119	1,764	1,017	1,017
	300	1,264	0,470	0,917	0,917	0,969	1,787	0,300	1,091	0,977	0,977	2,527	0,199	1,449	1,043	1,043	3,095	0,158	1,723	1,092	1,092	3,574	0,130	1,895	1,097	1,097
	400	1,233	0,447	0,845	0,845	0,922	1,744	0,297	1,030	0,936	0,936	2,466	0,197	1,369	1,001	1,001	3,020	0,159	1,650	1,062	1,062	3,488	0,132	1,834	1,078	1,078
	500	1,203	0,467	0,855	0,855	0,955	1,701	0,310	1,023	0,945	0,945	2,405	0,204	1,349	1,002	1,002	2,946	0,164	1,625	1,063	1,063	3,402	0,137	1,813	1,083	1,083
	600	1,259	0,426	0,827	0,827	0,906	1,780	0,28																		

Tabela 8.19: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna **R4** com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

L	T (°C)	$\sigma_{y20}=75 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=150 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=300 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=450 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=600 \text{ MPa}$				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,800	0,810	1,060	1,060	1,060	1,132	0,617	1,054	1,054	1,054	1,601	0,365	1,065	1,025	1,025	1,961	0,265	1,162	0,994	0,994	2,264	0,216	1,264	0,995	0,995
	200	0,796	0,743	0,969	0,969	1,044	1,126	0,561	0,953	0,953	0,995	1,592	0,330	0,954	0,921	0,921	1,950	0,243	1,053	0,903	0,903	2,251	0,197	1,136	0,897	0,897
	300	0,790	0,695	0,902	0,902	1,037	1,118	0,574	0,968	0,968	1,054	1,581	0,361	1,029	0,998	0,998	1,936	0,262	1,120	0,965	0,965	2,235	0,215	1,225	0,971	0,971
	400	0,771	0,621	0,797	0,797	0,963	1,091	0,538	0,885	0,885	1,002	1,543	0,366	0,992	0,976	0,976	1,889	0,266	1,082	0,946	0,946	2,181	0,218	1,182	0,951	0,951
	500	0,752	0,642	0,814	0,814	1,011	1,064	0,561	0,901	0,901	1,044	1,504	0,383	0,988	0,986	0,986	1,843	0,278	1,076	0,954	0,954	2,128	0,226	1,168	0,953	0,953
	600	0,787	0,595	0,771	0,771	0,948	1,113	0,514	0,864	0,864	0,987	1,575	0,350	0,990	0,962	0,962	1,929	0,256	1,086	0,938	0,938	2,227	0,211	1,192	0,947	0,947
	700	0,800	0,581	0,760	0,760	0,906	1,132	0,501	0,856	0,856	0,954	1,601	0,340	0,993	0,955	0,955	1,961	0,249	1,092	0,934	0,934	2,264	0,206	1,201	0,945	0,945
	800	0,706	0,671	0,826	0,826	0,947	0,998	0,597	0,906	0,906	0,997	1,412	0,423	0,974	0,974	0,991	1,729	0,309	1,054	0,970	0,970	1,996	0,248	1,127	0,954	0,954
L ₂	20/100	0,868	0,769	1,054	1,054	1,054	1,228	0,550	1,035	1,035	1,035	1,737	0,323	1,110	1,019	1,019	2,127	0,240	1,238	1,010	1,010	2,456	0,198	1,362	1,022	1,022
	200	0,864	0,705	0,964	0,964	1,032	1,221	0,499	0,931	0,931	0,961	1,727	0,293	0,998	0,919	0,919	2,116	0,220	1,125	0,921	0,921	2,443	0,181	1,229	0,926	0,926
	300	0,858	0,667	0,907	0,907	1,033	1,213	0,522	0,966	0,966	1,032	1,715	0,319	1,069	0,988	0,988	2,101	0,236	1,189	0,977	0,977	2,426	0,196	1,312	0,992	0,992
	400	0,837	0,598	0,802	0,802	0,958	1,184	0,498	0,895	0,895	0,990	1,674	0,322	1,029	0,965	0,965	2,050	0,239	1,144	0,953	0,953	2,367	0,198	1,264	0,970	0,970
	500	0,816	0,620	0,820	0,820	1,006	1,154	0,519	0,907	0,907	1,026	1,633	0,337	1,023	0,974	0,974	1,999	0,248	1,132	0,958	0,958	2,309	0,205	1,248	0,971	0,971
	600	0,854	0,572	0,776	0,776	0,942	1,208	0,476	0,876	0,876	0,974	1,709	0,309	1,028	0,953	0,953	2,093	0,230	1,150	0,947	0,947	2,417	0,192	1,276	0,967	0,967
	700	0,868	0,557	0,764	0,764	0,900	1,228	0,463	0,870	0,870	0,946	1,737	0,300	1,031	0,947	0,947	2,127	0,224	1,158	0,945	0,945	2,456	0,187	1,288	0,967	0,967
	800	0,766	0,650	0,831	0,831	0,946	1,083	0,558	0,912	0,912	0,991	1,532	0,374	1,000	0,988	0,988	1,876	0,274	1,100	0,965	0,965	2,166	0,224	1,200	0,969	0,969
L ₃	20/100	0,936	0,726	1,048	1,048	1,048	1,324	0,491	1,022	1,022	1,022	1,872	0,290	1,159	1,019	1,019	2,292	0,220	1,316	1,028	1,028	2,647	0,171	1,366	0,982	0,982
	200	0,931	0,664	0,954	0,954	1,017	1,316	0,446	0,920	0,920	0,938	1,861	0,265	1,045	0,921	0,921	2,280	0,202	1,196	0,937	0,937	2,632	0,166	1,314	0,947	0,947
	300	0,924	0,638	0,912	0,912	1,027	1,307	0,472	0,965	0,965	1,010	1,848	0,285	1,110	0,983	0,983	2,264	0,216	1,260	0,992	0,992	2,614	0,179	1,395	1,010	1,010
	400	0,902	0,574	0,807	0,807	0,952	1,275	0,457	0,904	0,904	0,975	1,804	0,287	1,066	0,957	0,957	2,209	0,217	1,208	0,964	0,964	2,551	0,181	1,345	0,987	0,987
	500	0,880	0,598	0,826	0,826	1,000	1,244	0,478	0,913	0,913	1,007	1,759	0,300	1,060	0,966	0,966	2,155	0,226	1,195	0,968	0,968	2,488	0,188	1,326	0,988	0,988
	600	0,921	0,548	0,782	0,782	0,936	1,302	0,437	0,889	0,889	0,961	1,841	0,276	1,067	0,947	0,947	2,255	0,210	1,216	0,959	0,959	2,604	0,175	1,357	0,984	0,984
	700	0,936	0,534	0,771	0,771	0,896	1,324	0,427	0,890	0,890	0,943	1,872	0,268	1,071	0,941	0,941	2,292	0,205	1,226	0,958	0,958	2,647	0,174	1,390	0,999	0,999
	800	0,825	0,629	0,837	0,837	0,945	1,167	0,518	0,916	0,916	0,980	1,651	0,333	1,034	0,978	0,978	2,022	0,247	1,153	0,969	0,969	2,335	0,205	1,272	0,984	0,984
L ₄	20/100	1,002	0,679	1,035	1,035	1,035	1,418	0,442	1,025	1,025	1,025	2,005	0,264	1,212	1,023	1,023	2,456	0,202	1,391	1,044	1,044	2,835	0,155	1,421	0,981	0,981
	200	0,997	0,620	0,940	0,940	0,994	1,410	0,401	0,921	0,921	0,927	1,994	0,242	1,097	0,929	0,929	2,442	0,186	1,264	0,952	0,952	2,820	0,152	1,381	0,957	0,957
	300	0,990	0,607	0,915	0,915	1,020	1,400	0,428	0,971	0,971	0,994	1,980	0,259	1,156	0,984	0,984	2,425	0,198	1,330	1,006	1,006	2,800	0,165	1,471	1,023	1,023
	400	0,966	0,552	0,816	0,816	0,950	1,366	0,419	0,916	0,916	0,962	1,932	0,260	1,106	0,955	0,955	2,366	0,199	1,274	0,977	0,977	2,732	0,167	1,419	1,001	1,001
	500	0,942	0,574	0,832	0,832	0,994	1,332	0,438	0,922	0,922	0,988	1,884	0,271	1,099	0,962	0,962	2,308	0,207	1,258	0,979	0,979	2,665	0,173	1,401	1,003	1,003
	600	0,986	0,526	0,790	0,790	0,931	1,395	0,401	0,905	0,905	0,949	1,972	0,250	1,109	0,946	0,946	2,416	0,193	1,283	0,973	0,973	2,789	0,161	1,431	0,998	0,998
	700	1,002	0,512	0,780	0,780	0,894	1,418	0,389	0,902	0,902	0,930	2,005	0,243	1,115	0,942	0,942	2,456	0,188	1,295	0,972	0,972	2,835	0,157	1,444	0,997	0,997
	800	0,884	0,605	0,839	0,839	0,939	1,250	0,478	0,920	0,920	0,968	1,768	0,300	1,069	0,971	0,971	2,166	0,226	1,210	0,977	0,977	2,501	0,188	1,344	0,998	0,998
L ₅	20/100	1,068	0,633	1,020	1,020	1,020	1,511	0,401	1,042	1,037	1,037	2,136	0,244	1,268	1,032	1,032	2,616	0,187	1,461	1,057	1,057	3,021	0,137	1,425	0,949	0,949
	200	1,062	0,576	0,924	0,924	0,971	1,502	0,363	0,935	0,933	0,933	2,124	0,224	1,151	0,940	0,940	2,602	0,172	1,326	0,962	0,962	3,004	0,140	1,440	0,962	0,962
	300	1,055	0,575	0,915	0,915	1,009	1,492	0,389	0,987	0,987	0,988	2,109	0,238	1,207	0,990	0,990	2,584	0,184	1,397	1,018	1,018	2,983	0,152	1,539	1,032	1,032
	400	1,029	0,528	0,823	0,823	0,945	1,456	0,385	0,935	0,935	0,955	2,059	0,238	1,151	0,957	0,957	2,521	0,185	1,338	0,989	0,989	2,911	0,153	1,479	1,006	1,006
	500	1,004	0,550	0,838	0,838	0,986	1,420	0,402	0,935	0,935	0,974	2,008	0,248	1,141	0,962	0,962										

Tabela 8.20: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna **R_s** com $\sigma_{v20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

L	T (°C)	$\sigma_{20}=75 \text{ MPa}$					$\sigma_{20}=150 \text{ MPa}$					$\sigma_{20}=300 \text{ MPa}$					$\sigma_{20}=450 \text{ MPa}$					$\sigma_{20}=600 \text{ MPa}$				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,917	0,728	1,036	1,036	1,036	1,297	0,511	1,032	1,032	1,032	1,834	0,319	1,224	1,020	1,020	2,246	0,258	1,481	1,027	1,027	2,593	0,226	1,731	1,054	1,054
	200	0,912	0,667	0,944	0,944	1,007	1,289	0,464	0,931	0,931	0,953	1,823	0,295	1,117	0,936	0,936	2,233	0,242	1,376	0,959	0,959	2,579	0,212	1,611	0,986	0,986
	300	0,905	0,641	0,903	0,903	1,021	1,280	0,485	0,963	0,963	1,013	1,810	0,310	1,157	0,975	0,975	2,217	0,253	1,416	0,993	0,993	2,560	0,223	1,667	1,027	1,027
	400	0,883	0,581	0,805	0,805	0,953	1,249	0,466	0,895	0,895	0,973	1,767	0,308	1,095	0,943	0,943	2,164	0,253	1,349	0,968	0,968	2,499	0,224	1,597	1,005	1,005
	500	0,862	0,602	0,821	0,821	0,998	1,219	0,486	0,905	0,905	1,006	1,723	0,320	1,085	0,956	0,956	2,111	0,259	1,317	0,966	0,966	2,437	0,230	1,560	1,004	1,004
	600	0,902	0,554	0,779	0,779	0,936	1,275	0,446	0,880	0,880	0,960	1,804	0,297	1,101	0,931	0,931	2,209	0,247	1,374	0,967	0,967	2,551	0,220	1,632	1,008	1,008
	700	0,917	0,541	0,768	0,768	0,897	1,297	0,433	0,875	0,875	0,934	1,834	0,290	1,112	0,927	0,927	2,246	0,243	1,398	0,969	0,969	2,593	0,216	1,659	1,010	1,010
	800	0,809	0,633	0,833	0,833	0,942	1,143	0,524	0,906	0,906	0,973	1,617	0,351	1,047	0,977	0,977	1,980	0,276	1,236	0,961	0,961	2,287	0,244	1,453	0,991	0,991
L ₂	20/100	0,987	0,682	1,026	1,026	1,026	1,396	0,460	1,040	1,040	1,040	1,974	0,294	1,307	1,019	1,019	2,418	0,241	1,609	1,044	1,044	2,792	0,212	1,882	1,071	1,071
	200	0,982	0,625	0,936	0,936	0,992	1,388	0,418	0,936	0,936	0,945	1,963	0,273	1,199	0,939	0,939	2,404	0,227	1,497	0,976	0,976	2,776	0,199	1,748	1,000	1,000
	300	0,975	0,608	0,905	0,905	1,011	1,378	0,440	0,974	0,974	1,003	1,949	0,285	1,233	0,972	0,972	2,387	0,237	1,540	1,010	1,010	2,757	0,209	1,813	1,044	1,044
	400	0,951	0,555	0,810	0,810	0,946	1,345	0,427	0,911	0,911	0,963	1,902	0,282	1,164	0,938	0,938	2,330	0,237	1,467	0,984	0,984	2,690	0,211	1,741	1,025	1,025
	500	0,928	0,577	0,827	0,827	0,991	1,312	0,446	0,916	0,916	0,989	1,855	0,292	1,147	0,945	0,945	2,272	0,243	1,430	0,981	0,981	2,624	0,216	1,698	1,023	1,023
	600	0,971	0,529	0,785	0,785	0,929	1,373	0,408	0,899	0,899	0,950	1,942	0,273	1,175	0,929	0,929	2,378	0,232	1,496	0,985	0,985	2,746	0,206	1,774	1,026	1,026
	700	0,987	0,515	0,775	0,775	0,891	1,396	0,398	0,900	0,900	0,933	1,974	0,268	1,189	0,927	0,927	2,418	0,228	1,523	0,988	0,988	2,792	0,203	1,803	1,027	1,027
	800	0,870	0,610	0,837	0,837	0,939	1,231	0,484	0,912	0,912	0,964	1,741	0,318	1,099	0,960	0,960	2,132	0,257	1,334	0,969	0,969	2,462	0,229	1,582	1,009	1,009
L ₃	20/100	1,056	0,637	1,016	1,016	1,016	1,494	0,418	1,063	1,063	1,063	2,113	0,275	1,397	1,024	1,024	2,587	0,228	1,740	1,061	1,061	2,988	0,199	2,027	1,085	1,085
	200	1,050	0,581	0,921	0,921	0,970	1,485	0,380	0,957	0,957	0,953	2,101	0,256	1,289	0,950	0,950	2,573	0,215	1,621	0,994	0,994	2,971	0,186	1,876	1,010	1,010
	300	1,043	0,575	0,907	0,907	1,001	1,475	0,401	0,996	0,996	1,001	2,086	0,265	1,316	0,976	0,976	2,555	0,224	1,665	1,028	1,028	2,950	0,197	1,954	1,059	1,059
	400	1,018	0,529	0,816	0,816	0,939	1,439	0,392	0,932	0,932	0,957	2,036	0,263	1,241	0,941	0,941	2,493	0,224	1,588	1,002	1,002	2,879	0,198	1,875	1,039	1,039
	500	0,993	0,550	0,832	0,832	0,981	1,404	0,409	0,933	0,933	0,977	1,986	0,271	1,219	0,945	0,945	2,432	0,229	1,547	0,998	0,998	2,808	0,204	1,833	1,038	1,038
	600	1,039	0,504	0,792	0,792	0,922	1,470	0,374	0,925	0,925	0,946	2,078	0,255	1,257	0,935	0,935	2,545	0,219	1,619	1,003	1,003	2,939	0,194	1,912	1,039	1,039
	700	1,056	0,490	0,782	0,782	0,886	1,494	0,364	0,925	0,925	0,932	2,113	0,251	1,277	0,936	0,936	2,587	0,216	1,648	1,005	1,005	2,988	0,191	1,941	1,040	1,040
	800	0,932	0,585	0,841	0,841	0,936	1,317	0,446	0,923	0,923	0,958	1,863	0,293	1,158	0,951	0,951	2,282	0,242	1,439	0,984	0,984	2,635	0,216	1,711	1,027	1,027
L ₄	20/100	1,124	0,593	1,007	1,007	1,007	1,590	0,383	1,104	1,104	1,104	2,249	0,259	1,492	1,034	1,034	2,754	0,216	1,867	1,076	1,076	3,181	0,188	2,163	1,095	1,095
	200	1,118	0,539	0,910	0,910	0,951	1,581	0,349	0,995	0,948	0,948	2,236	0,242	1,383	0,962	0,962	2,739	0,203	1,735	1,005	1,005	3,163	0,175	1,997	1,015	1,015
	300	1,110	0,542	0,907	0,907	0,989	1,570	0,367	1,033	0,990	0,990	2,221	0,250	1,407	0,986	0,986	2,720	0,212	1,789	1,043	1,043	3,141	0,186	2,086	1,068	1,068
	400	1,084	0,503	0,822	0,822	0,932	1,532	0,361	0,966	0,947	0,947	2,167	0,248	1,326	0,950	0,950	2,654	0,212	1,707	1,017	1,017	3,065	0,187	2,004	1,049	1,049
	500	1,057	0,524	0,836	0,836	0,971	1,495	0,377	0,959	0,959	0,973	2,114	0,255	1,297	0,950	0,950	2,589	0,218	1,663	1,014	1,014	2,989	0,193	1,961	1,050	1,050
	600	1,106	0,479	0,800	0,800	0,915	1,564	0,345	0,963	0,926	0,926	2,212	0,242	1,348	0,948	0,948	2,710	0,208	1,739	1,018	1,018	3,129	0,183	2,040	1,048	1,048
	700	1,124	0,466	0,791	0,791	0,882	1,590	0,335	0,966	0,916	0,916	2,249	0,238	1,371	0,950	0,950	2,754	0,204	1,769	1,020	1,020	3,181	0,179	2,069	1,047	1,047
	800	0,992	0,559	0,844	0,844	0,930	1,402	0,412	0,939	0,939	0,958	1,983	0,273	1,223	0,949	0,949	2,429	0,230	1,547	0,999	0,999	2,805	0,205	1,836	1,041	1,041
L ₅	20/100	1,192	0,552	1,001	1,001	1,001	1,685	0,354	1,148	1,148	1,148	2,383	0,246	1,591	1,046	1,046	2,919	0,205	1,991	1,089	1,089	3,370	0,176	2,279	1,094	1,094
	200	1,185	0,502	0,904	0,904	0,937	1,676	0,324	1,038	0,938	0,938	2,370	0,231	1,477	0,976	0,976	2,902	0,192	1,845	1,014	1,014	3,351	0,164	2,105	1,016	1,016
	300	1,177	0,510	0,910	0,910	0,980	1,664	0,340	1,073	0,976	0,976	2,353	0,238	1,502	0,998	0,998	2,882	0,201	1,907	1,055	1,055	3,328	0,175	2,208	1,073	1,073
	400	1,148	0,478	0,830	0,830	0,926	1,624	0,334	1,003	0,933	0,933	2,296	0,236	1,416	0,963	0,963	2,812	0,202	1,821	1,030	1,030	3,248	0,177	2,126	1,056	1,056
	500	1,120	0,498	0,842	0,842	0,962	1,584	0,348	0,997	0,948	0,948	2,240	0,242	1,383	0,961	0,961	2,743	0								

Tabela 8.21: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna **RLC₁** com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.

L	T (°C)	$\sigma_{20}=75$ MPa					$\sigma_{20}=150$ MPa					$\sigma_{20}=300$ MPa					$\sigma_{20}=450$ MPa					$\sigma_{20}=600$ MPa				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,989	0,665	1,002	1,002	1,002	1,399	0,431	0,978	0,978	0,978	1,979	0,270	1,206	1,060	1,060	2,502	0,185	1,318	1,040	1,040	2,798	0,151	1,345	1,007	1,007
	200	0,984	0,619	0,928	0,928	0,984	1,391	0,391	0,880	0,880	0,888	1,968	0,262	1,159	1,021	1,021	2,488	0,182	1,288	1,018	1,018	2,783	0,148	1,307	0,982	0,982
	300	0,977	0,578	0,862	0,862	0,963	1,381	0,418	0,929	0,929	0,956	1,954	0,260	1,132	1,001	1,001	2,471	0,184	1,278	1,014	1,014	2,763	0,154	1,344	1,013	1,013
	400	0,953	0,546	0,799	0,799	0,932	1,348	0,410	0,877	0,877	0,926	1,907	0,268	1,112	0,995	0,995	2,411	0,188	1,243	0,998	0,998	2,696	0,160	1,326	1,010	1,010
	500	0,930	0,564	0,810	0,810	0,969	1,315	0,427	0,880	0,880	0,949	1,860	0,287	1,132	1,025	1,025	2,352	0,199	1,252	1,016	1,016	2,630	0,165	1,304	1,005	1,005
	600	0,973	0,538	0,800	0,800	0,946	1,376	0,393	0,868	0,868	0,917	1,946	0,269	1,163	1,030	1,030	2,462	0,176	1,213	0,964	0,964	2,753	0,157	1,355	1,023	1,023
	700	0,989	0,511	0,770	0,770	0,886	1,399	0,382	0,867	0,867	0,899	1,979	0,257	1,149	1,010	1,010	2,502	0,199	1,421	1,121	1,121	2,798	0,149	1,329	0,995	0,995
	800	0,872	0,580	0,797	0,797	0,895	1,234	0,463	0,876	0,876	0,925	1,745	0,318	1,103	1,028	1,028	2,207	0,222	1,233	1,031	1,031	2,468	0,180	1,253	0,994	0,994
L ₂	20/100	1,117	0,598	1,007	1,007	1,007	1,580	0,356	1,013	0,988	0,988	2,234	0,230	1,307	1,086	1,086	2,736	0,165	1,407	1,064	1,064	3,159	0,128	1,462	1,035	1,035
	200	1,111	0,521	0,873	0,873	0,913	1,571	0,322	0,906	0,887	0,887	2,222	0,224	1,259	1,049	1,049	2,721	0,162	1,371	1,040	1,040	3,142	0,120	1,349	0,957	0,957
	300	1,103	0,531	0,884	0,884	0,966	1,560	0,348	0,966	0,948	0,948	2,206	0,235	1,302	1,089	1,089	2,702	0,168	1,398	1,064	1,064	3,120	0,126	1,399	0,996	0,996
	400	1,076	0,521	0,846	0,846	0,960	1,522	0,347	0,916	0,909	0,909	2,153	0,237	1,255	1,061	1,061	2,637	0,169	1,337	1,030	1,030	3,045	0,132	1,399	1,007	1,007
	500	1,050	0,523	0,830	0,830	0,965	1,485	0,362	0,911	0,911	0,928	2,100	0,239	1,200	1,026	1,026	2,572	0,175	1,319	1,027	1,027	2,969	0,139	1,395	1,016	1,016
	600	1,099	0,509	0,845	0,845	0,968	1,554	0,332	0,914	0,899	0,899	2,198	0,225	1,241	1,039	1,039	2,692	0,168	1,387	1,058	1,058	3,108	0,129	1,419	1,012	1,012
	700	1,117	0,492	0,829	0,829	0,926	1,580	0,322	0,917	0,895	0,895	2,234	0,224	1,276	1,060	1,060	2,736	0,176	1,502	1,136	1,136	3,159	0,126	1,438	1,018	1,018
	800	0,985	0,530	0,796	0,796	0,879	1,393	0,398	0,896	0,896	0,915	1,970	0,262	1,160	1,022	1,022	2,413	0,191	1,270	1,018	1,018	2,786	0,154	1,365	1,024	1,024
L ₃	20/100	1,240	0,508	0,967	0,967	0,967	1,754	0,300	1,054	0,979	0,979	2,480	0,194	1,359	1,076	1,076	3,038	0,142	1,500	1,081	1,081	3,508	0,113	1,584	1,069	1,069
	200	1,233	0,466	0,880	0,880	0,907	1,744	0,272	0,944	0,880	0,880	2,467	0,187	1,294	1,027	1,027	3,021	0,142	1,474	1,065	1,065	3,488	0,107	1,491	1,008	1,008
	300	1,225	0,469	0,879	0,879	0,937	1,732	0,295	1,009	0,944	0,944	2,449	0,191	1,308	1,042	1,042	3,000	0,141	1,443	1,046	1,046	3,464	0,110	1,511	1,025	1,025
	400	1,195	0,444	0,807	0,807	0,889	1,690	0,296	0,964	0,911	0,911	2,390	0,197	1,281	1,032	1,032	2,927	0,143	1,402	1,028	1,028	3,380	0,121	1,573	1,079	1,079
	500	1,166	0,468	0,826	0,826	0,931	1,648	0,310	0,959	0,918	0,918	2,331	0,203	1,257	1,024	1,024	2,855	0,151	1,406	1,043	1,043	3,297	0,121	1,502	1,043	1,043
	600	1,220	0,432	0,805	0,805	0,892	1,725	0,312	1,060	0,993	0,993	2,440	0,191	1,300	1,037	1,037	2,989	0,141	1,436	1,043	1,043	3,451	0,118	1,598	1,086	1,086
	700	1,240	0,418	0,797	0,797	0,863	1,754	0,282	0,988	0,918	0,918	2,480	0,184	1,293	1,024	1,024	3,038	0,139	1,465	1,056	1,056	3,508	0,107	1,506	1,016	1,016
	800	1,094	0,506	0,835	0,835	0,904	1,547	0,342	0,933	0,919	0,919	2,188	0,228	1,245	1,045	1,045	2,679	0,160	1,313	1,003	1,003	3,094	0,130	1,414	1,011	1,011
L ₄	20/100	1,359	0,446	0,967	0,967	0,967	1,921	0,260	1,096	0,976	0,976	2,717	0,170	1,429	1,085	1,085	3,328	0,123	1,556	1,075	1,075	3,843	0,094	1,576	1,019	1,019
	200	1,351	0,408	0,875	0,875	0,888	1,911	0,248	1,033	0,923	0,923	2,702	0,167	1,390	1,058	1,058	3,310	0,122	1,529	1,059	1,059	3,822	0,091	1,509	0,978	0,978
	300	1,342	0,404	0,858	0,858	0,891	1,897	0,261	1,072	0,961	0,961	2,683	0,164	1,347	1,029	1,029	3,286	0,124	1,525	1,060	1,060	3,795	0,095	1,568	1,020	1,020
	400	1,309	0,418	0,858	0,858	0,916	1,852	0,257	1,004	0,910	0,910	2,619	0,172	1,348	1,041	1,041	3,207	0,125	1,462	1,028	1,028	3,703	0,105	1,636	1,076	1,076
	500	1,277	0,438	0,867	0,867	0,946	1,806	0,269	0,999	0,916	0,916	2,554	0,181	1,348	1,053	1,053	3,128	0,130	1,445	1,028	1,028	3,612	0,109	1,624	1,081	1,081
	600	1,337	0,432	0,912	0,912	0,975	1,890	0,275	1,119	1,005	1,005	2,673	0,164	1,337	1,023	1,023	3,274	0,133	1,624	1,131	1,131	3,781	0,104	1,701	1,108	1,108
	700	1,359	0,392	0,849	0,849	0,890	1,921	0,249	1,046	0,932	0,932	2,717	0,160	1,350	1,025	1,025	3,328	0,127	1,599	1,105	1,105	3,843	0,098	1,650	1,067	1,067
	800	1,198	0,481	0,878	0,878	0,933	1,695	0,298	0,975	0,921	0,921	2,397	0,213	1,394	1,121	1,121	2,935	0,143	1,405	1,029	1,029	3,389	0,113	1,474	1,010	1,010
L ₅	20/100	1,472	0,396	0,982	0,982	0,982	2,082	0,224	1,108	0,952	0,952	2,945	0,158	1,567	1,146	1,146	3,606	0,102	1,513	1,008	1,008	4,164	0,080	1,579	0,984	0,984
	200	1,464	0,362	0,888	0,888	0,887	2,071	0,218	1,066	0,918	0,918	2,928	0,158	1,544	1,132	1,132	3,586	0,097	1,421	0,948	0,948	4,141	0,080	1,565	0,978	0,978
	300	1,454	0,384	0,930	0,930	0,940	2,056	0,231	1,111	0,960	0,960	2,908	0,154	1,489	1,095	1,095	3,561	0,109	1,579	1,058	1,058	4,112	0,080	1,547	0,970	0,970
	400	1,419	0,377	0,876	0,876	0,905	2,006	0,239	1,096	0,957	0,957	2,837	0,154	1,418	1,055	1,055	3,475	0,116	1,592	1,078	1,078	4,013	0,083	1,522	0,964	0,964
	500	1,384	0,396	0,882	0,882	0,930	1,957	0,237	1,034	0,913	0,913	2,767	0,165	1,437	1,082	1,082	3,38									

Tabela 8.22: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna RLC₂ com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.

L	T (°C)	$\sigma_{y20}=75$ MPa					$\sigma_{y20}=150$ MPa					$\sigma_{y20}=300$ MPa					$\sigma_{y20}=450$ MPa					$\sigma_{y20}=600$ MPa				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,862	0,759	1,036	1,036	1,036	1,220	0,546	1,018	1,018	1,018	1,725	0,322	1,093	1,016	1,016	2,112	0,236	1,200	1,006	1,006	2,439	0,191	1,297	1,009	1,009
	200	0,858	0,694	0,944	0,944	1,012	1,213	0,496	0,919	0,919	0,949	1,715	0,292	0,980	0,914	0,914	2,101	0,216	1,084	0,911	0,911	2,426	0,176	1,182	0,922	0,922
	300	0,852	0,657	0,890	0,890	1,015	1,204	0,518	0,950	0,950	1,016	1,703	0,319	1,055	0,987	0,987	2,086	0,233	1,158	0,977	0,977	2,409	0,191	1,263	0,989	0,989
	400	0,831	0,590	0,788	0,788	0,942	1,175	0,492	0,878	0,878	0,973	1,662	0,322	1,014	0,962	0,962	2,036	0,237	1,120	0,956	0,956	2,351	0,194	1,224	0,970	0,970
	500	0,811	0,611	0,805	0,805	0,989	1,146	0,513	0,889	0,889	1,009	1,621	0,337	1,010	0,969	0,969	1,985	0,247	1,112	0,961	0,961	2,293	0,202	1,209	0,971	0,971
	600	0,848	0,564	0,762	0,762	0,926	1,200	0,470	0,858	0,858	0,956	1,697	0,306	1,005	0,942	0,942	2,078	0,228	1,124	0,950	0,950	2,400	0,188	1,234	0,968	0,968
	700	0,862	0,550	0,750	0,750	0,885	1,220	0,457	0,851	0,851	0,927	1,725	0,300	1,017	0,946	0,946	2,112	0,222	1,130	0,947	0,947	2,439	0,183	1,243	0,967	0,967
	800	0,761	0,641	0,817	0,817	0,930	1,076	0,549	0,892	0,892	0,969	1,521	0,373	0,984	0,977	0,977	1,863	0,274	1,084	0,969	0,969	2,151	0,222	1,169	0,970	0,970
L ₂	20/100	0,964	0,691	1,019	1,019	1,019	1,364	0,461	1,003	1,003	1,003	1,928	0,272	1,152	1,012	1,012	2,362	0,203	1,289	1,020	1,020	2,727	0,166	1,407	1,034	1,034
	200	0,959	0,631	0,928	0,928	0,985	1,356	0,418	0,903	0,903	0,915	1,918	0,247	1,038	0,914	0,914	2,349	0,186	1,171	0,929	0,929	2,712	0,155	1,300	0,958	0,958
	300	0,952	0,611	0,893	0,893	1,002	1,346	0,444	0,948	0,948	0,984	1,904	0,267	1,106	0,977	0,977	2,332	0,200	1,241	0,988	0,988	2,693	0,167	1,385	1,024	1,024
	400	0,929	0,554	0,795	0,795	0,933	1,314	0,432	0,891	0,891	0,950	1,858	0,270	1,063	0,951	0,951	2,276	0,202	1,196	0,964	0,964	2,628	0,172	1,355	1,014	1,014
	500	0,906	0,575	0,811	0,811	0,976	1,282	0,452	0,898	0,898	0,979	1,812	0,282	1,057	0,958	0,958	2,220	0,210	1,182	0,966	0,966	2,563	0,179	1,342	1,018	1,018
	600	0,949	0,528	0,769	0,769	0,915	1,341	0,413	0,877	0,877	0,936	1,897	0,259	1,064	0,942	0,942	2,323	0,196	1,204	0,961	0,961	2,683	0,171	1,407	1,042	1,042
	700	0,964	0,514	0,758	0,758	0,876	1,364	0,401	0,873	0,873	0,915	1,928	0,252	1,068	0,938	0,938	2,362	0,191	1,214	0,960	0,960	2,727	0,167	1,416	1,040	1,040
	800	0,850	0,607	0,822	0,822	0,925	1,203	0,491	0,899	0,899	0,955	1,701	0,313	1,031	0,966	0,966	2,083	0,231	1,145	0,966	0,966	2,405	0,194	1,283	1,005	1,005
L ₃	20/100	1,064	0,622	0,999	0,999	0,999	1,505	0,395	1,021	1,018	1,018	2,128	0,236	1,219	1,017	1,017	2,607	0,179	1,385	1,041	1,041	3,010	0,146	1,512	1,056	1,056
	200	1,058	0,567	0,906	0,906	0,952	1,497	0,358	0,915	0,915	0,910	2,117	0,224	1,146	0,959	0,959	2,592	0,183	1,400	1,055	1,055	2,993	0,139	1,415	0,991	0,991
	300	1,051	0,564	0,895	0,895	0,987	1,486	0,384	0,967	0,967	0,969	2,102	0,222	1,119	0,940	0,940	2,574	0,171	1,290	0,976	0,976	2,972	0,138	1,392	0,978	0,978
	400	1,026	0,518	0,804	0,804	0,924	1,450	0,379	0,914	0,914	0,935	2,051	0,233	1,116	0,949	0,949	2,512	0,178	1,283	0,983	0,983	2,901	0,155	1,488	1,059	1,059
	500	1,000	0,539	0,820	0,820	0,965	1,415	0,396	0,915	0,915	0,955	2,000	0,243	1,108	0,955	0,955	2,450	0,185	1,266	0,983	0,983	2,829	0,158	1,442	1,039	1,039
	600	1,047	0,493	0,780	0,780	0,906	1,481	0,362	0,907	0,907	0,924	2,094	0,224	1,119	0,942	0,942	2,564	0,173	1,294	0,981	0,981	2,961	0,158	1,583	1,114	1,114
	700	1,064	0,479	0,770	0,770	0,871	1,505	0,351	0,907	0,905	0,905	2,128	0,218	1,125	0,939	0,939	2,607	0,182	1,409	1,059	1,059	3,010	0,153	1,584	1,106	1,106
	800	0,939	0,573	0,828	0,828	0,920	1,327	0,434	0,907	0,907	0,939	1,877	0,268	1,078	0,960	0,960	2,299	0,202	1,217	0,976	0,976	2,655	0,174	1,398	1,041	1,041
L ₄	20/100	1,162	0,556	0,978	0,978	0,978	1,644	0,344	1,061	1,011	1,011	2,325	0,209	1,290	1,029	1,029	2,847	0,160	1,476	1,060	1,060	3,288	0,130	1,601	1,068	1,068
	200	1,156	0,506	0,885	0,885	0,920	1,635	0,312	0,952	0,910	0,910	2,312	0,192	1,170	0,936	0,936	2,831	0,147	1,340	0,965	0,965	3,269	0,119	1,445	0,967	0,967
	300	1,148	0,515	0,893	0,893	0,967	1,623	0,335	1,008	0,967	0,967	2,295	0,205	1,231	0,988	0,988	2,811	0,158	1,421	1,027	1,027	3,246	0,129	1,556	1,044	1,044
	400	1,120	0,480	0,812	0,812	0,913	1,584	0,333	0,953	0,926	0,926	2,240	0,205	1,176	0,956	0,956	2,744	0,159	1,368	1,002	1,002	3,168	0,132	1,510	1,027	1,027
	500	1,092	0,501	0,826	0,826	0,950	1,545	0,348	0,948	0,934	0,934	2,185	0,214	1,164	0,958	0,958	2,676	0,165	1,350	1,001	1,001	3,090	0,137	1,493	1,028	1,028
	600	1,143	0,458	0,791	0,791	0,896	1,617	0,319	0,951	0,914	0,914	2,287	0,198	1,181	0,950	0,950	2,801	0,154	1,379	0,999	0,999	3,234	0,128	1,521	1,023	1,023
	700	1,162	0,445	0,784	0,784	0,866	1,644	0,309	0,953	0,909	0,909	2,325	0,193	1,189	0,948	0,948	2,847	0,150	1,391	0,999	0,999	3,288	0,124	1,532	1,022	1,022
	800	1,025	0,536	0,833	0,833	0,913	1,450	0,383	0,924	0,924	0,932	2,050	0,235	1,127	0,959	0,959	2,511	0,180	1,294	0,992	0,992	2,899	0,150	1,438	1,023	1,023
L ₅	20/100	1,258	0,498	0,967	0,967	0,967	1,780	0,305	1,101	1,008	1,008	2,517	0,182	1,314	1,005	1,005	3,083	0,142	1,542	1,063	1,063	3,559	0,107	1,542	0,987	0,987
	200	1,251	0,452	0,871	0,871	0,896	1,770	0,277	0,989	0,908	0,908	2,503	0,173	1,237	0,950	0,950	3,065	0,131	1,408	0,974	0,974	3,540	0,105	1,503	0,965	0,965
	300	1,243	0,468	0,894	0,894	0,949	1,757	0,297	1,044	0,962	0,962	2,485	0,184	1,298	1,000	1,000	3,044	0,142	1,499	1,041	1,041	3,515	0,116	1,627	1,049	1,049
	400	1,213	0,443	0,821	0,821	0,900	1,715	0,296	0,992	0,925	0,925	2,425	0,185	1,239	0,967	0,967	2,970	0,144	1,445	1,015	1,015	3,430	0,122	1,639	1,069	1,069
	500	1,183	0,463	0,832	0,832	0,934	1,673	0,309	0,986	0,932	0,932	2,366	0,192	1,225	0,968	0,968										

Tabela 8.23: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna **RLC₃** com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.

L	T (°C)	$\sigma_{y20}=75$ MPa					$\sigma_{y20}=150$ MPa					$\sigma_{y20}=300$ MPa					$\sigma_{y20}=450$ MPa					$\sigma_{y20}=600$ MPa				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,927	0,716	1,027	1,027	1,027	1,311	0,500	1,026	1,026	1,026	1,854	0,312	1,224	1,011	1,011	2,271	0,251	1,476	1,017	1,017	2,623	0,202	1,587	0,961	0,961
	200	0,922	0,656	0,936	0,936	0,998	1,304	0,454	0,926	0,926	0,945	1,844	0,288	1,116	0,927	0,927	2,259	0,236	1,372	0,950	0,950	2,608	0,206	1,601	0,975	0,975
	300	0,916	0,632	0,897	0,897	1,013	1,295	0,475	0,958	0,958	1,005	1,831	0,303	1,157	0,967	0,967	2,243	0,247	1,415	0,986	0,986	2,590	0,203	1,552	0,951	0,951
	400	0,893	0,574	0,801	0,801	0,947	1,264	0,457	0,892	0,892	0,965	1,787	0,301	1,096	0,936	0,936	2,189	0,247	1,350	0,961	0,961	2,527	0,214	1,560	0,977	0,977
	500	0,871	0,595	0,818	0,818	0,991	1,232	0,477	0,901	0,901	0,996	1,743	0,313	1,084	0,947	0,947	2,135	0,254	1,318	0,960	0,960	2,465	0,219	1,518	0,972	0,972
	600	0,912	0,547	0,775	0,775	0,930	1,290	0,437	0,877	0,877	0,951	1,824	0,290	1,101	0,924	0,924	2,234	0,241	1,374	0,961	0,961	2,580	0,214	1,626	1,000	1,000
	700	0,927	0,533	0,764	0,764	0,890	1,311	0,425	0,872	0,872	0,927	1,854	0,284	1,113	0,920	0,920	2,271	0,238	1,397	0,963	0,963	2,623	0,211	1,653	1,002	1,002
	800	0,818	0,626	0,828	0,828	0,936	1,156	0,515	0,902	0,902	0,967	1,635	0,344	1,048	0,969	0,969	2,003	0,271	1,238	0,954	0,954	2,313	0,238	1,452	0,985	0,985
L ₂	20/100	0,998	0,671	1,018	1,018	1,018	1,412	0,449	1,035	1,035	1,035	1,996	0,287	1,303	1,008	1,008	2,445	0,235	1,602	1,033	1,033	2,823	0,200	1,814	1,028	1,028
	200	0,993	0,613	0,925	0,925	0,980	1,404	0,409	0,932	0,932	0,939	1,985	0,266	1,197	0,931	0,931	2,431	0,222	1,494	0,968	0,968	2,807	0,189	1,696	0,967	0,967
	300	0,986	0,599	0,899	0,899	1,003	1,394	0,430	0,971	0,971	0,995	1,971	0,278	1,232	0,964	0,964	2,414	0,231	1,536	1,002	1,002	2,788	0,200	1,768	1,014	1,014
	400	0,962	0,547	0,806	0,806	0,939	1,360	0,418	0,907	0,907	0,954	1,924	0,276	1,164	0,931	0,931	2,356	0,232	1,466	0,977	0,977	2,720	0,200	1,685	0,988	0,988
	500	0,938	0,569	0,823	0,823	0,983	1,327	0,437	0,912	0,912	0,980	1,876	0,286	1,147	0,938	0,938	2,298	0,237	1,429	0,975	0,975	2,653	0,208	1,673	1,003	1,003
	600	0,982	0,522	0,781	0,781	0,922	1,389	0,400	0,896	0,896	0,942	1,964	0,267	1,176	0,923	0,923	2,405	0,226	1,494	0,978	0,978	2,777	0,195	1,715	0,987	0,987
	700	0,998	0,508	0,771	0,771	0,885	1,412	0,388	0,894	0,894	0,923	1,996	0,262	1,191	0,921	0,921	2,445	0,223	1,520	0,980	0,980	2,823	0,179	1,623	0,920	0,920
	800	0,880	0,602	0,832	0,832	0,932	1,245	0,475	0,909	0,909	0,958	1,761	0,311	1,098	0,951	0,951	2,156	0,252	1,334	0,963	0,963	2,490	0,227	1,603	1,017	1,017
L ₃	20/100	1,068	0,625	1,007	1,007	1,007	1,510	0,408	1,061	1,054	1,054	2,136	0,268	1,392	1,013	1,013	2,616	0,222	1,730	1,050	1,050	3,021	0,182	1,890	1,009	1,009
	200	1,062	0,569	0,912	0,912	0,958	1,502	0,371	0,955	0,954	0,954	2,124	0,250	1,286	0,941	0,941	2,601	0,209	1,611	0,983	0,983	3,004	0,178	1,832	0,983	0,983
	300	1,055	0,565	0,900	0,900	0,992	1,491	0,392	0,994	0,994	0,994	2,109	0,259	1,316	0,969	0,969	2,583	0,218	1,659	1,019	1,019	2,983	0,183	1,851	0,999	0,999
	400	1,029	0,521	0,811	0,811	0,932	1,455	0,383	0,930	0,930	0,950	2,058	0,257	1,242	0,935	0,935	2,521	0,219	1,584	0,994	0,994	2,911	0,182	1,761	0,972	0,972
	500	1,004	0,542	0,827	0,827	0,973	1,420	0,400	0,931	0,931	0,969	2,007	0,265	1,218	0,938	0,938	2,459	0,224	1,544	0,991	0,991	2,839	0,194	1,782	1,005	1,005
	600	1,051	0,496	0,788	0,788	0,914	1,486	0,367	0,924	0,924	0,939	2,101	0,250	1,259	0,930	0,930	2,573	0,214	1,614	0,994	0,994	2,972	0,181	1,819	0,985	0,985
	700	1,068	0,483	0,778	0,778	0,879	1,510	0,356	0,927	0,920	0,920	2,136	0,246	1,278	0,931	0,931	2,616	0,210	1,642	0,997	0,997	3,021	0,168	1,743	0,930	0,930
	800	0,942	0,576	0,835	0,835	0,928	1,332	0,437	0,919	0,919	0,952	1,884	0,286	1,155	0,942	0,942	2,307	0,237	1,438	0,977	0,977	2,664	0,211	1,708	1,020	1,020
L ₄	20/100	1,137	0,581	0,998	0,998	0,998	1,607	0,374	1,101	1,035	1,035	2,273	0,252	1,486	1,023	1,023	2,784	0,210	1,854	1,064	1,064	3,215	0,172	2,026	1,023	1,023
	200	1,130	0,529	0,903	0,903	0,942	1,598	0,341	0,994	0,938	0,938	2,261	0,237	1,378	0,954	0,954	2,769	0,197	1,723	0,994	0,994	3,197	0,164	1,917	0,972	0,972
	300	1,122	0,532	0,901	0,901	0,981	1,587	0,359	1,032	0,980	0,980	2,245	0,245	1,405	0,978	0,978	2,749	0,206	1,779	1,033	1,033	3,174	0,173	1,993	1,017	1,017
	400	1,095	0,495	0,817	0,817	0,924	1,549	0,353	0,965	0,937	0,937	2,191	0,242	1,326	0,944	0,944	2,683	0,207	1,699	1,008	1,008	3,098	0,174	1,902	0,992	0,992
	500	1,068	0,515	0,831	0,831	0,962	1,511	0,369	0,959	0,952	0,952	2,137	0,249	1,297	0,944	0,944	2,617	0,212	1,657	1,006	1,006	3,021	0,186	1,934	1,032	1,032
	600	1,118	0,471	0,796	0,796	0,907	1,581	0,337	0,962	0,917	0,917	2,236	0,236	1,348	0,942	0,942	2,739	0,202	1,731	1,009	1,009	3,163	0,168	1,914	0,980	0,980
	700	1,137	0,458	0,786	0,786	0,875	1,607	0,328	0,965	0,907	0,907	2,273	0,233	1,371	0,944	0,944	2,784	0,199	1,760	1,010	1,010	3,215	0,165	1,942	0,980	0,980
	800	1,002	0,551	0,839	0,839	0,923	1,418	0,406	0,941	0,941	0,956	2,005	0,267	1,222	0,941	0,941	2,455	0,224	1,543	0,991	0,991	2,835	0,200	1,834	1,036	1,036
L ₅	20/100	1,204	0,541	0,992	0,992	0,992	1,703	0,346	1,144	1,021	1,021	2,408	0,240	1,584	1,035	1,035	2,949	0,199	1,971	1,075	1,075	3,405	0,156	2,067	0,990	0,990
	200	1,197	0,492	0,896	0,896	0,927	1,693	0,316	1,034	0,927	0,927	2,395	0,225	1,470	0,966	0,966	2,933	0,186	1,828	1,002	1,002	3,386	0,154	2,013	0,970	0,970
	300	1,189	0,500	0,904	0,904	0,970	1,681	0,332	1,071	0,966	0,966	2,378	0,232	1,498	0,990	0,990	2,912	0,188	1,819	1,003	1,003	3,363	0,162	2,092	1,014	1,014
	400	1,160	0,469	0,825	0,825	0,917	1,641	0,326	1,002	0,924	0,924	2,320	0,230	1,414	0,956	0,956	2,842	0,196	1,809	1,020	1,020	3,282	0,166	2,043	1,012	1,012
	500	1,132	0,489	0,837	0,837	0,952	1,600	0,341	0,995	0,939	0,939	2,263	0,236	1,381	0,955	0,955	2,77									

Tabela 8.24: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna **RLC4** com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.

L	T (°C)	$\sigma_{20}=75$ MPa					$\sigma_{20}=150$ MPa					$\sigma_{20}=300$ MPa					$\sigma_{20}=450$ MPa					$\sigma_{20}=600$ MPa				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,890	0,745	1,038	1,038	1,038	1,259	0,530	1,030	1,030	1,030	1,781	0,325	1,174	1,022	1,022	2,181	0,254	1,378	1,020	1,020	2,518	0,212	1,531	1,010	1,010
	200	0,885	0,683	0,948	0,948	1,014	1,252	0,482	0,929	0,929	0,955	1,771	0,298	1,064	0,931	0,931	2,169	0,237	1,271	0,945	0,945	2,504	0,204	1,457	0,965	0,965
	300	0,879	0,652	0,900	0,900	1,022	1,243	0,502	0,959	0,959	1,017	1,758	0,317	1,117	0,982	0,982	2,153	0,250	1,319	0,986	0,986	2,486	0,216	1,521	1,013	1,013
	400	0,858	0,589	0,801	0,801	0,953	1,213	0,480	0,890	0,890	0,976	1,716	0,316	1,062	0,953	0,953	2,101	0,250	1,260	0,961	0,961	2,427	0,218	1,463	0,994	0,994
	500	0,837	0,610	0,818	0,818	1,000	1,183	0,500	0,899	0,899	1,009	1,674	0,331	1,057	0,967	0,967	2,050	0,258	1,236	0,962	0,962	2,367	0,224	1,431	0,992	0,992
	600	0,876	0,562	0,775	0,775	0,936	1,239	0,459	0,873	0,873	0,962	1,752	0,304	1,063	0,938	0,938	2,145	0,244	1,279	0,959	0,959	2,477	0,213	1,487	0,993	0,993
	700	0,890	0,548	0,764	0,764	0,896	1,259	0,446	0,866	0,866	0,934	1,781	0,296	1,070	0,932	0,932	2,181	0,239	1,296	0,959	0,959	2,518	0,209	1,509	0,995	0,995
	800	0,785	0,641	0,830	0,830	0,941	1,110	0,539	0,903	0,903	0,976	1,570	0,364	1,022	0,985	0,985	1,923	0,278	1,174	0,961	0,961	2,221	0,239	1,346	0,982	0,982
L ₂	20/100	0,945	0,709	1,030	1,030	1,030	1,336	0,487	1,027	1,027	1,027	1,889	0,301	1,226	1,018	1,018	2,314	0,239	1,461	1,031	1,031	2,672	0,199	1,623	1,021	1,021
	200	0,939	0,649	0,939	0,939	0,999	1,328	0,442	0,925	0,925	0,942	1,879	0,277	1,116	0,931	0,931	2,301	0,224	1,351	0,957	0,957	2,657	0,192	1,545	0,976	0,976
	300	0,933	0,627	0,903	0,903	1,016	1,319	0,464	0,961	0,961	1,003	1,865	0,293	1,162	0,975	0,975	2,285	0,235	1,399	0,998	0,998	2,638	0,204	1,616	1,027	1,027
	400	0,910	0,569	0,805	0,805	0,949	1,287	0,449	0,898	0,898	0,966	1,820	0,292	1,104	0,945	0,945	2,229	0,236	1,336	0,972	0,972	2,574	0,206	1,555	1,007	1,007
	500	0,888	0,591	0,821	0,821	0,993	1,255	0,468	0,906	0,906	0,995	1,775	0,304	1,092	0,954	0,954	2,174	0,243	1,308	0,971	0,971	2,511	0,212	1,521	1,005	1,005
	600	0,929	0,543	0,780	0,780	0,931	1,314	0,429	0,884	0,884	0,952	1,858	0,282	1,109	0,933	0,933	2,276	0,230	1,357	0,970	0,970	2,628	0,201	1,580	1,007	1,007
	700	0,945	0,529	0,769	0,769	0,892	1,336	0,417	0,880	0,880	0,929	1,889	0,275	1,118	0,929	0,929	2,314	0,226	1,377	0,972	0,972	2,672	0,197	1,603	1,008	1,008
	800	0,833	0,623	0,832	0,832	0,939	1,178	0,507	0,906	0,906	0,968	1,666	0,334	1,057	0,971	0,971	2,040	0,260	1,236	0,965	0,965	2,356	0,226	1,430	0,994	0,994
L ₃	20/100	0,998	0,674	1,022	1,022	1,022	1,411	0,450	1,035	1,035	1,035	1,996	0,282	1,282	1,019	1,019	2,445	0,226	1,543	1,042	1,042	2,823	0,188	1,712	1,030	1,030
	200	0,992	0,616	0,930	0,930	0,984	1,404	0,408	0,930	0,930	0,937	1,985	0,261	1,172	0,935	0,935	2,431	0,212	1,429	0,969	0,969	2,807	0,181	1,630	0,985	0,985
	300	0,985	0,601	0,903	0,903	1,007	1,394	0,431	0,972	0,972	0,996	1,971	0,274	1,213	0,973	0,973	2,414	0,223	1,480	1,010	1,010	2,787	0,192	1,704	1,036	1,036
	400	0,962	0,549	0,809	0,809	0,942	1,360	0,419	0,909	0,909	0,957	1,923	0,273	1,150	0,942	0,942	2,356	0,223	1,414	0,983	0,983	2,720	0,195	1,644	1,019	1,019
	500	0,938	0,571	0,826	0,826	0,987	1,326	0,440	0,919	0,919	0,987	1,876	0,283	1,135	0,948	0,948	2,298	0,230	1,383	0,982	0,982	2,653	0,200	1,609	1,017	1,017
	600	0,982	0,524	0,784	0,784	0,925	1,388	0,401	0,899	0,899	0,945	1,964	0,264	1,159	0,933	0,933	2,405	0,218	1,437	0,983	0,983	2,777	0,190	1,669	1,017	1,017
	700	0,998	0,510	0,774	0,774	0,888	1,411	0,389	0,897	0,897	0,926	1,996	0,258	1,171	0,930	0,930	2,445	0,214	1,458	0,984	0,984	2,823	0,186	1,692	1,018	1,018
	800	0,880	0,604	0,836	0,836	0,937	1,245	0,477	0,912	0,912	0,961	1,760	0,309	1,092	0,960	0,960	2,156	0,246	1,301	0,972	0,972	2,489	0,214	1,513	1,007	1,007
L ₄	20/100	1,051	0,639	1,015	1,015	1,015	1,486	0,416	1,048	1,048	1,048	2,101	0,266	1,342	1,023	1,023	2,574	0,216	1,629	1,055	1,055	2,972	0,173	1,747	1,008	1,008
	200	1,045	0,582	0,919	0,919	0,968	1,478	0,378	0,943	0,943	0,940	2,090	0,247	1,231	0,942	0,942	2,559	0,201	1,505	0,979	0,979	2,955	0,171	1,706	0,989	0,989
	300	1,037	0,576	0,904	0,904	1,000	1,467	0,401	0,986	0,986	0,993	2,075	0,258	1,269	0,977	0,977	2,541	0,212	1,560	1,021	1,021	2,934	0,183	1,793	1,046	1,046
	400	1,012	0,530	0,814	0,814	0,938	1,432	0,392	0,925	0,925	0,953	2,025	0,257	1,202	0,944	0,944	2,480	0,213	1,490	0,995	0,995	2,864	0,185	1,727	1,027	1,027
	500	0,987	0,551	0,829	0,829	0,980	1,397	0,410	0,928	0,928	0,974	1,975	0,266	1,183	0,948	0,948	2,419	0,219	1,458	0,993	0,993	2,793	0,190	1,692	1,027	1,027
	600	1,034	0,505	0,790	0,790	0,920	1,462	0,375	0,918	0,918	0,941	2,067	0,249	1,213	0,937	0,937	2,532	0,207	1,514	0,994	0,994	2,923	0,180	1,752	1,025	1,025
	700	1,051	0,491	0,779	0,779	0,884	1,486	0,364	0,918	0,918	0,927	2,101	0,244	1,228	0,936	0,936	2,574	0,203	1,537	0,996	0,996	2,972	0,164	1,654	0,955	0,955
	800	0,927	0,585	0,838	0,838	0,933	1,310	0,449	0,922	0,922	0,958	1,853	0,289	1,131	0,954	0,954	2,270	0,233	1,370	0,982	0,982	2,621	0,204	1,595	1,018	1,018
L ₅	20/100	1,103	0,605	1,006	1,006	1,006	1,559	0,388	1,076	1,042	1,042	2,205	0,253	1,403	1,029	1,029	2,701	0,205	1,708	1,065	1,065	3,118	0,165	1,833	1,018	1,018
	200	1,096	0,551	0,911	0,911	0,954	1,551	0,353	0,969	0,943	0,943	2,193	0,235	1,291	0,951	0,951	2,686	0,192	1,576	0,987	0,987	3,101	0,162	1,775	0,990	0,990
	300	1,089	0,551	0,905	0,905	0,991	1,540	0,374	1,011	0,990	0,990	2,177	0,246	1,328	0,984	0,984	2,667	0,202	1,637	1,030	1,030	3,079	0,173	1,872	1,050	1,050
	400	1,062	0,511	0,819	0,819	0,933	1,502	0,368	0,947	0,945	0,945	2,125	0,244	1,255	0,949	0,949	2,602	0,203	1,564	1,005	1,005	3,005	0,175	1,804	1,032	1,032
	500	1,036	0,531	0,832	0,832	0,971	1,465	0,385</																		

Tabela 8.25: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna **RLC₅** com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.

L	T (°C)	$\sigma_{20}=75$ MPa					$\sigma_{20}=150$ MPa					$\sigma_{20}=300$ MPa					$\sigma_{20}=450$ MPa					$\sigma_{20}=600$ MPa				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,759	0,832	1,059	1,059	1,059	1,074	0,659	1,068	1,068	1,068	1,519	0,406	1,067	1,059	1,059	1,860	0,297	1,174	1,037	1,037	2,148	0,255	1,341	1,091	1,091
	200	0,755	0,766	0,972	0,972	1,051	1,068	0,601	0,969	0,969	1,018	1,510	0,369	0,959	0,955	0,955	1,850	0,288	1,124	0,996	0,996	2,136	0,251	1,303	1,063	1,063
	300	0,750	0,713	0,902	0,902	1,042	1,060	0,606	0,970	0,970	1,067	1,500	0,399	1,022	1,022	1,021	1,837	0,311	1,195	1,063	1,063	2,121	0,252	1,295	1,061	1,061
	400	0,732	0,641	0,802	0,802	0,975	1,035	0,565	0,885	0,885	1,014	1,464	0,399	0,978	0,978	0,997	1,792	0,317	1,162	1,048	1,048	2,070	0,266	1,298	1,079	1,079
	500	0,714	0,661	0,818	0,818	1,023	1,009	0,562	0,861	0,861	1,012	1,427	0,417	0,978	0,978	1,016	1,748	0,333	1,162	1,064	1,064	2,019	0,276	1,284	1,082	1,082
	600	0,747	0,616	0,778	0,778	0,964	1,056	0,541	0,864	0,864	1,001	1,494	0,383	0,975	0,975	0,988	1,830	0,293	1,117	0,996	0,996	2,113	0,259	1,316	1,081	1,081
	700	0,759	0,603	0,768	0,768	0,922	1,074	0,527	0,854	0,854	0,964	1,519	0,372	0,978	0,970	0,970	1,860	0,290	1,144	1,010	1,010	2,148	0,243	1,280	1,041	1,041
	800	0,670	0,688	0,830	0,830	0,955	0,947	0,621	0,905	0,905	1,004	1,339	0,443	0,939	0,939	0,970	1,640	0,360	1,105	1,049	1,049	1,894	0,304	1,244	1,087	1,087
L ₂	20/100	0,809	0,806	1,059	1,059	1,059	1,144	0,611	1,056	1,056	1,056	1,618	0,372	1,111	1,063	1,063	1,982	0,277	1,242	1,058	1,058	2,289	0,212	1,267	0,994	0,994
	200	0,805	0,740	0,970	0,970	1,044	1,138	0,554	0,953	0,953	0,993	1,609	0,339	1,001	0,961	0,961	1,971	0,269	1,191	1,018	1,018	2,276	0,216	1,278	1,006	1,006
	300	0,799	0,693	0,906	0,906	1,040	1,130	0,568	0,970	0,970	1,054	1,598	0,365	1,061	1,023	1,023	1,957	0,282	1,233	1,058	1,058	2,260	0,222	1,293	1,021	1,021
	400	0,780	0,624	0,805	0,805	0,971	1,103	0,535	0,891	0,891	1,005	1,559	0,365	1,012	0,989	0,989	1,910	0,286	1,191	1,037	1,037	2,205	0,230	1,277	1,023	1,023
	500	0,760	0,645	0,822	0,822	1,019	1,075	0,532	0,863	0,863	0,997	1,521	0,381	1,006	0,997	0,997	1,863	0,299	1,182	1,044	1,044	2,151	0,242	1,277	1,038	1,038
	600	0,796	0,598	0,780	0,780	0,957	1,126	0,512	0,870	0,870	0,990	1,592	0,350	1,012	0,978	0,978	1,950	0,286	1,240	1,066	1,066	2,251	0,228	1,319	1,045	1,045
	700	0,809	0,585	0,769	0,769	0,915	1,144	0,498	0,862	0,862	0,957	1,618	0,340	1,017	0,973	0,973	1,982	0,269	1,203	1,024	1,024	2,289	0,215	1,283	1,006	1,006
	800	0,714	0,674	0,834	0,834	0,954	1,009	0,594	0,910	0,910	1,000	1,427	0,421	0,988	0,988	1,001	1,748	0,324	1,127	1,032	1,032	2,018	0,272	1,263	1,065	1,065
L ₃	20/100	0,858	0,776	1,057	1,057	1,057	1,214	0,508	0,940	0,940	0,940	1,716	0,344	1,157	1,070	1,070	2,102	0,261	1,314	1,082	1,082	2,427	0,201	1,350	1,024	1,024
	200	0,853	0,712	0,965	0,965	1,035	1,207	0,511	0,941	0,941	0,973	1,707	0,315	1,047	0,972	0,972	2,091	0,258	1,283	1,060	1,060	2,414	0,196	1,301	0,990	0,990
	300	0,847	0,675	0,911	0,911	1,039	1,198	0,531	0,969	0,969	1,038	1,695	0,336	1,102	1,026	1,026	2,076	0,271	1,331	1,104	1,104	2,397	0,210	1,373	1,048	1,048
	400	0,827	0,608	0,809	0,809	0,968	1,170	0,506	0,897	0,897	0,996	1,654	0,336	1,050	0,992	0,992	2,026	0,268	1,256	1,056	1,056	2,339	0,217	1,354	1,049	1,049
	500	0,807	0,629	0,826	0,826	1,015	1,141	0,527	0,908	0,908	1,032	1,613	0,351	1,042	0,999	0,999	1,976	0,280	1,244	1,062	1,062	2,281	0,220	1,303	1,024	1,024
	600	0,844	0,582	0,784	0,784	0,954	1,194	0,484	0,879	0,879	0,981	1,689	0,323	1,052	0,982	0,982	2,068	0,268	1,305	1,085	1,085	2,388	0,215	1,397	1,069	1,069
	700	0,858	0,567	0,772	0,772	0,911	1,214	0,470	0,872	0,872	0,951	1,716	0,315	1,058	0,979	0,979	2,102	0,263	1,325	1,091	1,091	2,427	0,202	1,359	1,030	1,030
	800	0,757	0,659	0,837	0,837	0,954	1,070	0,565	0,913	0,913	0,994	1,514	0,387	1,010	1,004	1,004	1,854	0,301	1,180	1,044	1,044	2,141	0,255	1,334	1,087	1,087
L ₄	20/100	0,907	0,746	1,052	1,052	1,052	1,282	0,521	1,037	1,037	1,037	1,813	0,322	1,207	1,082	1,082	2,221	0,247	1,387	1,106	1,106	2,565	0,192	1,437	1,056	1,056
	200	0,902	0,683	0,960	0,960	1,025	1,275	0,474	0,937	0,937	0,961	1,803	0,296	1,097	0,986	0,986	2,209	0,229	1,276	1,021	1,021	2,550	0,191	1,420	1,047	1,047
	300	0,895	0,654	0,914	0,914	1,035	1,266	0,496	0,969	0,969	1,024	1,791	0,314	1,146	1,035	1,035	2,193	0,250	1,372	1,102	1,102	2,532	0,199	1,455	1,077	1,077
	400	0,874	0,591	0,814	0,814	0,965	1,236	0,477	0,904	0,904	0,986	1,748	0,313	1,090	0,998	0,998	2,140	0,251	1,312	1,069	1,069	2,471	0,206	1,433	1,076	1,076
	500	0,852	0,613	0,830	0,830	1,011	1,205	0,497	0,914	0,914	1,019	1,704	0,326	1,080	1,003	1,003	2,087	0,263	1,307	1,081	1,081	2,410	0,216	1,431	1,089	1,089
	600	0,892	0,564	0,788	0,788	0,948	1,261	0,456	0,888	0,888	0,972	1,784	0,302	1,095	0,991	0,991	2,185	0,252	1,372	1,105	1,105	2,523	0,214	1,550	1,150	1,150
	700	0,907	0,550	0,776	0,776	0,908	1,282	0,443	0,882	0,882	0,946	1,813	0,294	1,104	0,989	0,989	2,221	0,236	1,327	1,059	1,059	2,565	0,192	1,441	1,059	1,059
	800	0,800	0,644	0,841	0,841	0,953	1,131	0,537	0,917	0,917	0,988	1,599	0,358	1,044	1,006	1,006	1,959	0,282	1,232	1,056	1,056	2,262	0,249	1,452	1,146	1,146
L ₅	20/100	0,955	0,714	1,045	1,045	1,045	1,350	0,484	1,037	1,037	1,037	1,909	0,303	1,260	1,097	1,097	2,338	0,234	1,460	1,131	1,131	2,700	0,183	1,520	1,084	1,084
	200	0,949	0,652	0,951	0,951	1,011	1,342	0,440	0,935	0,935	0,950	1,898	0,279	1,148	1,003	1,003	2,325	0,219	1,347	1,047	1,047	2,685	0,183	1,503	1,075	1,075
	300	0,943	0,632	0,916	0,916	1,030	1,333	0,463	0,975	0,975	1,014	1,885	0,295	1,195	1,048	1,048	2,309	0,237	1,439	1,123	1,123	2,666	0,190	1,536	1,104	1,104
	400	0,920	0,574	0,818	0,818	0,962	1,301	0,450	0,914	0,914	0,978	1,840	0,294	1,134	1,008	1,008	2,253	0,239	1,383	1,094	1,094	2,602	0,189	1,462	1,065	1,065
	500	0,897	0,596	0,835	0,835	1,007	1,269	0,473	0,927	0,927	1,014	1,794	0,305	1,12												

Tabela 8.26: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna WSC₁ com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.

L	T (°C)	$\sigma_{20}=75$ MPa					$\sigma_{20}=150$ MPa					$\sigma_{20}=300$ MPa					$\sigma_{20}=450$ MPa					$\sigma_{20}=600$ MPa				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT}^*}$
L ₁	20/100	0,810	0,826	1,087	1,087	1,087	1,145	0,619	1,072	1,072	1,072	1,620	0,385	1,153	1,063	1,063	1,984	0,302	1,356	1,010	1,010	2,291	0,259	1,549	0,991	0,991
	200	0,805	0,760	0,997	0,997	1,074	1,139	0,564	0,970	0,970	1,011	1,611	0,342	1,012	0,938	0,938	1,973	0,281	1,249	0,935	0,935	2,278	0,242	1,432	0,922	0,922
	300	0,800	0,721	0,942	0,942	1,082	1,131	0,580	0,991	0,991	1,077	1,599	0,376	1,096	1,024	1,024	1,959	0,296	1,297	0,979	0,979	2,262	0,258	1,504	0,976	0,976
	400	0,780	0,656	0,847	0,847	1,022	1,104	0,551	0,918	0,918	1,036	1,561	0,375	1,042	0,998	0,998	1,912	0,297	1,239	0,960	0,960	2,208	0,259	1,438	0,957	0,957
	500	0,761	0,678	0,864	0,864	1,071	1,077	0,573	0,930	0,930	1,075	1,522	0,391	1,033	1,016	1,016	1,865	0,307	1,215	0,966	0,966	2,153	0,274	1,447	0,989	0,989
	600	0,797	0,666	0,868	0,868	1,066	1,127	0,529	0,900	0,900	1,023	1,594	0,361	1,044	0,979	0,979	1,952	0,282	1,226	0,929	0,929	2,254	0,253	1,463	0,953	0,953
	700	0,810	0,616	0,811	0,811	0,965	1,145	0,515	0,891	0,891	0,989	1,620	0,351	1,051	0,969	0,969	1,984	0,284	1,275	0,950	0,950	2,291	0,248	1,485	0,951	0,951
	800	0,714	0,708	0,876	0,876	1,003	1,010	0,613	0,940	0,940	1,033	1,429	0,429	1,008	1,008	1,021	1,750	0,331	1,155	0,982	0,982	2,020	0,284	1,323	0,967	0,967
L ₂	20/100	0,857	0,799	1,086	1,086	1,086	1,212	0,573	1,060	1,060	1,060	1,714	0,357	1,196	1,039	1,039	2,099	0,281	1,412	0,991	0,991	2,424	0,240	1,607	0,970	0,970
	200	0,852	0,733	0,993	0,993	1,065	1,205	0,521	0,958	0,958	0,990	1,704	0,328	1,088	0,951	0,951	2,087	0,262	1,301	0,919	0,919	2,410	0,224	1,481	0,899	0,899
	300	0,846	0,702	0,947	0,947	1,080	1,197	0,544	0,990	0,990	1,061	1,692	0,347	1,135	0,999	0,999	2,073	0,276	1,353	0,963	0,963	2,393	0,241	1,574	0,963	0,963
	400	0,826	0,640	0,852	0,852	1,019	1,168	0,522	0,924	0,924	1,026	1,652	0,346	1,077	0,973	0,973	2,023	0,277	1,295	0,945	0,945	2,336	0,240	1,496	0,938	0,938
	500	0,805	0,662	0,869	0,869	1,068	1,139	0,543	0,935	0,935	1,062	1,611	0,361	1,067	0,990	0,990	1,973	0,286	1,269	0,951	0,951	2,278	0,248	1,465	0,943	0,943
	600	0,843	0,649	0,873	0,873	1,063	1,192	0,500	0,906	0,906	1,012	1,686	0,331	1,074	0,949	0,949	2,065	0,270	1,314	0,938	0,938	2,384	0,234	1,519	0,933	0,933
	700	0,857	0,599	0,814	0,814	0,961	1,212	0,486	0,899	0,899	0,982	1,714	0,317	1,062	0,922	0,922	2,099	0,265	1,332	0,935	0,935	2,461	0,230	1,588	0,943	0,943
	800	0,756	0,694	0,881	0,881	1,003	1,069	0,584	0,943	0,943	1,026	1,512	0,396	1,032	1,023	1,023	1,851	0,308	1,202	0,963	0,963	2,138	0,265	1,381	0,951	0,951
L ₃	20/100	0,901	0,771	1,082	1,082	1,082	1,274	0,534	1,053	1,053	1,053	1,801	0,334	1,234	1,017	1,017	2,206	0,263	1,458	0,972	0,972	2,547	0,217	1,604	0,919	0,919
	200	0,896	0,705	0,987	0,987	1,054	1,266	0,485	0,950	0,950	0,975	1,791	0,307	1,124	0,932	0,932	2,194	0,244	1,340	0,898	0,898	2,533	0,209	1,530	0,881	0,881
	300	0,889	0,684	0,953	0,953	1,080	1,258	0,510	0,989	0,989	1,046	1,778	0,324	1,170	0,977	0,977	2,178	0,258	1,397	0,943	0,943	2,515	0,225	1,626	0,944	0,944
	400	0,868	0,625	0,856	0,856	1,017	1,227	0,494	0,927	0,927	1,013	1,736	0,323	1,109	0,951	0,951	2,126	0,260	1,338	0,927	0,927	2,454	0,223	1,533	0,913	0,913
	500	0,846	0,647	0,873	0,873	1,065	1,197	0,516	0,939	0,939	1,050	1,693	0,336	1,098	0,966	0,966	2,073	0,268	1,313	0,934	0,934	2,394	0,240	1,570	0,960	0,960
	600	0,886	0,633	0,879	0,879	1,060	1,253	0,475	0,915	0,915	1,005	1,772	0,312	1,116	0,936	0,936	2,170	0,253	1,357	0,920	0,920	2,506	0,217	1,555	0,906	0,906
	700	0,901	0,583	0,818	0,818	0,958	1,274	0,457	0,901	0,901	0,968	1,801	0,304	1,126	0,928	0,928	2,206	0,248	1,375	0,916	0,916	2,591	0,213	1,628	0,916	0,916
	800	0,794	0,680	0,885	0,885	1,004	1,123	0,557	0,945	0,945	1,019	1,588	0,369	1,061	0,998	0,998	1,945	0,285	1,232	0,937	0,937	2,246	0,248	1,424	0,931	0,931
L ₄	20/100	0,941	0,743	1,076	1,076	1,076	1,331	0,501	1,051	1,051	1,051	1,882	0,313	1,266	0,996	0,996	2,305	0,246	1,489	0,947	0,947	2,662	0,212	1,714	0,937	0,937
	200	0,936	0,682	0,983	0,983	1,047	1,323	0,455	0,947	0,947	0,965	1,872	0,288	1,152	0,912	0,912	2,292	0,228	1,363	0,872	0,872	2,647	0,200	1,600	0,880	0,880
	300	0,929	0,665	0,954	0,954	1,074	1,314	0,480	0,990	0,990	1,034	1,858	0,305	1,200	0,957	0,957	2,276	0,242	1,428	0,920	0,920	2,628	0,214	1,688	0,935	0,935
	400	0,907	0,610	0,860	0,860	1,014	1,282	0,466	0,928	0,928	0,998	1,814	0,303	1,138	0,931	0,931	2,221	0,243	1,369	0,906	0,906	2,565	0,217	1,630	0,927	0,927
	500	0,884	0,632	0,877	0,877	1,061	1,251	0,490	0,942	0,942	1,037	1,769	0,316	1,127	0,947	0,947	2,166	0,251	1,344	0,913	0,913	2,502	0,224	1,599	0,933	0,933
	600	0,926	0,618	0,885	0,885	1,057	1,309	0,450	0,921	0,921	0,994	1,851	0,293	1,146	0,918	0,918	2,268	0,242	1,421	0,920	0,920	2,618	0,210	1,642	0,913	0,913
	700	0,941	0,568	0,822	0,822	0,955	1,331	0,436	0,916	0,916	0,968	1,882	0,286	1,157	0,911	0,911	2,432	0,232	1,563	0,939	0,939	2,786	0,197	1,741	0,907	0,907
	800	0,830	0,666	0,889	0,889	1,003	1,174	0,532	0,946	0,946	1,011	1,660	0,346	1,087	0,977	0,977	2,033	0,271	1,277	0,927	0,927	2,398	0,231	1,516	0,925	0,925
L ₅	20/100	0,979	0,715	1,068	1,068	1,068	1,384	0,472	1,052	1,052	1,052	1,958	0,295	1,291	0,975	0,975	2,398	0,237	1,552	0,947	0,947	2,769	0,197	1,718	0,901	0,901
	200	0,973	0,656	0,975	0,975	1,034	1,377	0,428	0,946	0,946	0,957	1,947	0,272	1,175	0,893	0,893	2,384	0,212	1,374	0,843	0,843	2,753	0,191	1,652	0,872	0,872
	300	0,967	0,646	0,955	0,955	1,069	1,367	0,454	0,991	0,991	1,023	1,933	0,288	1,225	0,938	0,938	2,368	0,226	1,446	0,894	0,894	2,734	0,201	1,711	0,910	0,910
	400	0,943	0,595	0,863	0,863	1,010	1,334	0,444	0,935	0,935	0,991	1,887	0,287	1,164	0,914	0,914	2,311	0,228	1,388	0,881	0,881	2,668	0,206	1,675	0,913	0,913
	500	0,920	0,618	0,881	0,881	1,0																				

Tabela 8.27: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna WSC₂ com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.

L	T (°C)	$\sigma_{20}=75$ MPa					$\sigma_{20}=150$ MPa					$\sigma_{20}=300$ MPa					$\sigma_{20}=450$ MPa					$\sigma_{20}=600$ MPa				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,606	0,899	1,049	1,049	1,049	0,857	0,815	1,108	1,108	1,108	1,211	0,585	1,082	1,082	1,082	1,484	0,434	1,091	1,091	1,091	1,713	0,350	1,171	1,030	1,030
	200	0,602	0,856	0,997	0,997	1,089	0,852	0,751	1,018	1,018	1,092	1,205	0,532	0,976	0,976	1,009	1,475	0,395	0,981	0,981	0,978	1,704	0,322	1,065	0,941	0,941
	300	0,598	0,824	0,957	0,957	1,126	0,846	0,718	0,969	0,969	1,105	1,196	0,559	1,017	1,017	1,090	1,465	0,426	1,045	1,045	1,053	1,692	0,347	1,131	1,006	1,006
	400	0,584	0,776	0,894	0,894	1,112	0,825	0,662	0,881	0,881	1,054	1,167	0,542	0,959	0,959	1,065	1,430	0,428	1,006	1,006	1,036	1,651	0,351	1,091	0,994	0,994
	500	0,569	0,778	0,891	0,891	1,139	0,805	0,681	0,893	0,893	1,098	1,139	0,563	0,969	0,969	1,101	1,394	0,440	0,993	0,993	1,043	1,610	0,365	1,078	1,006	1,006
	600	0,596	0,736	0,854	0,854	1,085	0,843	0,640	0,862	0,862	1,048	1,192	0,521	0,944	0,944	1,054	1,460	0,402	0,980	0,980	1,006	1,685	0,339	1,098	0,980	0,980
	700	0,606	0,710	0,828	0,828	1,016	0,857	0,629	0,856	0,856	1,010	1,211	0,507	0,938	0,938	1,024	1,484	0,395	0,993	0,993	1,003	1,713	0,303	1,015	0,892	0,892
	800	0,534	0,761	0,858	0,858	1,000	0,755	0,710	0,902	0,902	1,027	1,068	0,604	0,974	0,974	1,060	1,308	0,489	1,001	1,001	1,042	1,511	0,401	1,045	1,037	1,037
L ₂	20/100	0,676	0,865	1,048	1,048	1,048	0,956	0,749	1,099	1,099	1,099	1,352	0,497	1,068	1,068	1,068	1,656	0,367	1,145	1,041	1,041	1,912	0,302	1,260	0,996	0,996
	200	0,672	0,792	0,957	0,957	1,041	0,950	0,687	1,003	1,003	1,066	1,344	0,451	0,961	0,961	0,976	1,646	0,336	1,039	0,950	0,950	1,901	0,280	1,153	0,917	0,917
	300	0,667	0,807	0,972	0,972	1,135	0,944	0,673	0,978	0,978	1,098	1,335	0,481	1,014	1,014	1,055	1,635	0,362	1,102	1,014	1,014	1,888	0,299	1,214	0,972	0,972
	400	0,651	0,717	0,857	0,857	1,055	0,921	0,623	0,889	0,889	1,045	1,303	0,475	0,967	0,967	1,034	1,595	0,364	1,057	0,995	0,995	1,842	0,302	1,170	0,959	0,959
	500	0,635	0,721	0,853	0,853	1,080	0,898	0,644	0,903	0,903	1,089	1,270	0,495	0,973	0,973	1,064	1,556	0,380	1,048	1,011	1,011	1,797	0,314	1,155	0,970	0,970
	600	0,665	0,708	0,852	0,852	1,070	0,940	0,599	0,868	0,868	1,034	1,330	0,456	0,955	0,955	1,023	1,629	0,352	1,065	0,983	0,983	1,881	0,289	1,167	0,938	0,938
	700	0,676	0,673	0,815	0,815	0,991	0,956	0,586	0,860	0,860	0,995	1,352	0,446	0,958	0,958	1,007	1,656	0,342	1,068	0,970	0,970	1,912	0,287	1,194	0,945	0,945
	800	0,596	0,729	0,846	0,846	0,980	0,843	0,676	0,910	0,910	1,025	1,192	0,538	0,976	0,976	1,039	1,460	0,418	1,020	1,020	1,026	1,686	0,342	1,109	0,990	0,990
L ₃	20/100	0,742	0,829	1,044	1,044	1,044	1,049	0,682	1,081	1,081	1,081	1,483	0,431	1,081	1,081	1,081	1,817	0,322	1,213	1,007	1,007	2,098	0,269	1,348	0,975	0,975
	200	0,738	0,760	0,954	0,954	1,033	1,043	0,622	0,981	0,981	1,034	1,475	0,391	0,973	0,973	0,970	1,807	0,297	1,105	0,923	0,923	2,086	0,249	1,235	0,898	0,898
	300	0,732	0,785	0,983	0,983	1,138	1,036	0,626	0,980	0,980	1,084	1,465	0,420	1,031	1,031	1,039	1,794	0,317	1,164	0,979	0,979	2,071	0,265	1,298	0,950	0,950
	400	0,715	0,675	0,836	0,836	1,020	1,011	0,585	0,897	0,897	1,034	1,429	0,419	0,984	0,984	1,014	1,751	0,307	1,075	0,925	0,925	2,021	0,268	1,250	0,936	0,936
	500	0,697	0,680	0,833	0,833	1,045	0,986	0,604	0,908	0,908	1,073	1,394	0,437	0,985	0,985	1,035	1,707	0,332	1,103	0,973	0,973	1,972	0,277	1,229	0,944	0,944
	600	0,730	0,686	0,857	0,857	1,066	1,032	0,562	0,877	0,877	1,022	1,459	0,402	0,979	0,979	1,005	1,787	0,309	1,124	0,949	0,949	2,064	0,261	1,265	0,929	0,929
	700	0,742	0,630	0,793	0,793	0,954	1,049	0,547	0,868	0,868	0,985	1,483	0,394	0,988	0,988	0,998	1,817	0,301	1,133	0,941	0,941	2,098	0,255	1,281	0,926	0,926
	800	0,654	0,690	0,825	0,825	0,950	0,925	0,643	0,919	0,919	1,024	1,308	0,475	0,972	0,972	1,011	1,602	0,365	1,067	1,001	1,001	1,850	0,301	1,176	0,960	0,960
L ₄	20/100	0,803	0,785	1,028	1,028	1,028	1,136	0,620	1,063	1,063	1,063	1,606	0,381	1,122	1,049	1,049	1,967	0,289	1,277	0,983	0,983	2,272	0,242	1,424	0,953	0,953
	200	0,799	0,758	0,990	0,990	1,067	1,129	0,564	0,961	0,961	1,003	1,597	0,348	1,011	0,951	0,951	1,956	0,267	1,166	0,902	0,902	2,259	0,224	1,302	0,876	0,876
	300	0,793	0,751	0,978	0,978	1,123	1,122	0,578	0,979	0,979	1,065	1,586	0,373	1,070	1,013	1,013	1,943	0,284	1,224	0,953	0,953	2,243	0,239	1,371	0,929	0,929
	400	0,774	0,644	0,828	0,828	1,000	1,095	0,546	0,902	0,902	1,020	1,548	0,373	1,019	0,988	0,988	1,896	0,286	1,173	0,935	0,935	2,189	0,242	1,320	0,916	0,916
	500	0,755	0,649	0,824	0,824	1,023	1,068	0,570	0,919	0,919	1,064	1,510	0,389	1,011	1,004	1,004	1,849	0,297	1,158	0,946	0,946	2,135	0,250	1,298	0,923	0,923
	600	0,790	0,654	0,850	0,850	1,044	1,117	0,513	0,865	0,865	0,986	1,580	0,358	1,021	0,970	0,970	1,935	0,277	1,183	0,924	0,924	2,235	0,235	1,338	0,910	0,910
	700	0,803	0,610	0,799	0,799	0,951	1,136	0,511	0,877	0,877	0,976	1,606	0,348	1,025	0,959	0,959	1,967	0,271	1,194	0,919	0,919	2,272	0,230	1,354	0,906	0,906
	800	0,708	0,684	0,844	0,844	0,967	1,002	0,608	0,925	0,925	1,018	1,417	0,429	0,993	0,993	1,009	1,735	0,325	1,115	0,969	0,969	2,003	0,271	1,239	0,937	0,937
L ₅	20/100	0,861	0,785	1,070	1,070	1,070	1,217	0,564	1,049	1,049	1,049	1,721	0,342	1,154	1,010	1,010	2,108	0,263	1,333	0,959	0,959	2,434	0,219	1,480	0,927	0,927
	200	0,856	0,722	0,981	0,981	1,052	1,210	0,512	0,946	0,946	0,977	1,711	0,315	1,051	0,925	0,925	2,096	0,243	1,216	0,880	0,880	2,420	0,211	1,410	0,888	0,888
	300	0,850	0,690	0,934	0,934	1,064	1,202	0,533	0,976	0,976	1,045	1,699	0,336	1,108	0,982	0,982	2,081	0,259	1,277	0,931	0,931	2,403	0,219	1,443	0,915	0,915
	400	0,829	0,628	0,837	0,837	1,002	1,173	0,511	0,909	0,909	1,008	1,658	0,337	1,057	0,959	0,959	2,031	0,260	1,224	0,913	0,913	2,345	0,219	1,377	0,894	0,894
	500	0,809	0,680	0,894	0,894	1,099	1,144	0,534	0,923	0,923	1,04															

Tabela 8.28: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna **WSC₃** com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.

L	T (°C)	$\sigma_{20}=75\text{ MPa}$					$\sigma_{20}=150\text{ MPa}$					$\sigma_{20}=300\text{ MPa}$					$\sigma_{20}=450\text{ MPa}$					$\sigma_{20}=600\text{ MPa}$				
		$\lambda_{FT,T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT,1}}$	$\lambda_{FT,T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT,1}}$	$\lambda_{FT,T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT,1}}$	$\lambda_{FT,T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT,1}}$	$\lambda_{FT,T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT,T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT,1}}$
L ₁	20/100	0,663	0,880	1,058	1,058	1,058	0,938	0,757	1,093	1,093	1,093	1,326	0,506	1,055	1,055	1,055	1,624	0,370	1,113	1,047	1,047	1,875	0,299	1,200	1,013	1,013
	200	0,659	0,813	0,976	0,976	1,062	0,932	0,694	0,999	0,999	1,063	1,318	0,458	0,948	0,948	0,967	1,615	0,337	1,001	0,946	0,946	1,865	0,274	1,088	0,922	0,922
	300	0,655	0,799	0,956	0,956	1,118	0,926	0,677	0,969	0,969	1,092	1,309	0,489	1,001	1,001	1,047	1,603	0,363	1,065	1,012	1,012	1,851	0,297	1,162	0,990	0,990
	400	0,639	0,742	0,880	0,880	1,086	0,903	0,624	0,878	0,878	1,035	1,278	0,482	0,954	0,954	1,029	1,565	0,368	1,029	0,996	0,996	1,807	0,301	1,122	0,974	0,974
	500	0,623	0,739	0,870	0,870	1,103	0,881	0,644	0,892	0,892	1,079	1,246	0,502	0,962	0,962	1,059	1,526	0,384	1,021	1,007	1,007	1,762	0,317	1,124	0,995	0,995
	600	0,652	0,724	0,866	0,866	1,089	0,922	0,600	0,857	0,857	1,025	1,304	0,463	0,943	0,943	1,018	1,597	0,355	1,032	0,984	0,984	1,845	0,291	1,130	0,966	0,966
	700	0,663	0,682	0,820	0,820	0,998	0,938	0,588	0,849	0,849	0,986	1,326	0,450	0,939	0,939	0,994	1,624	0,345	1,038	0,977	0,977	1,875	0,290	1,162	0,981	0,981
	800	0,585	0,731	0,843	0,843	0,978	0,827	0,676	0,900	0,900	1,016	1,169	0,545	0,966	0,966	1,033	1,432	0,424	1,001	1,001	1,013	1,654	0,338	1,054	0,979	0,979
L ₂	20/100	0,726	0,828	1,033	1,033	1,033	1,027	0,678	1,053	1,053	1,053	1,452	0,436	1,054	1,054	1,054	1,778	0,324	1,169	1,027	1,027	2,053	0,270	1,296	1,022	1,022
	200	0,722	0,767	0,955	0,955	1,034	1,021	0,621	0,960	0,960	1,013	1,434	0,424	1,003	1,003	1,018	1,768	0,297	1,060	0,935	0,935	2,042	0,244	1,159	0,918	0,918
	300	0,717	0,764	0,947	0,947	1,099	1,014	0,620	0,953	0,953	1,058	1,399	0,416	0,943	0,943	0,980	1,756	0,320	1,124	0,998	0,998	2,027	0,263	1,234	0,982	0,982
	400	0,699	0,683	0,838	0,838	1,025	0,989	0,579	0,872	0,872	1,010	1,364	0,440	0,960	0,960	1,018	1,713	0,323	1,080	0,976	0,976	1,978	0,267	1,191	0,966	0,966
	500	0,682	0,708	0,860	0,860	1,081	0,965	0,599	0,884	0,884	1,050	1,428	0,406	0,952	0,952	0,988	1,671	0,336	1,069	0,985	0,985	1,930	0,281	1,193	0,986	0,986
	600	0,714	0,691	0,856	0,856	1,066	1,010	0,556	0,852	0,852	0,999	1,452	0,396	0,957	0,957	0,977	1,749	0,311	1,086	0,966	0,966	2,020	0,258	1,201	0,959	0,959
	700	0,726	0,648	0,808	0,808	0,975	1,027	0,543	0,845	0,845	0,963	1,280	0,481	0,955	0,955	1,000	1,778	0,303	1,093	0,961	0,961	2,053	0,269	1,291	1,018	1,018
	800	0,640	0,700	0,831	0,831	0,959	0,905	0,632	0,891	0,891	0,995	1,571	0,388	1,093	1,055	1,055	1,568	0,369	1,034	1,000	1,000	1,811	0,303	1,132	0,982	0,982
L ₃	20/100	0,786	0,809	1,048	1,048	1,048	1,111	0,626	1,049	1,049	1,049	1,571	0,388	1,093	1,055	1,055	1,924	0,290	1,226	1,015	1,015	2,222	0,249	1,401	1,041	1,041
	200	0,781	0,749	0,967	0,967	1,044	1,105	0,570	0,951	0,951	0,995	1,562	0,353	0,983	0,952	0,952	1,913	0,256	1,069	0,889	0,889	2,210	0,219	1,217	0,908	0,908
	300	0,776	0,730	0,939	0,939	1,082	1,097	0,582	0,964	0,964	1,054	1,551	0,379	1,041	1,015	1,015	1,900	0,285	1,174	0,981	0,981	2,194	0,235	1,289	0,967	0,967
	400	0,757	0,643	0,818	0,818	0,991	1,071	0,549	0,888	0,888	1,009	1,514	0,380	0,992	0,985	0,985	1,854	0,289	1,134	0,966	0,966	2,141	0,243	1,271	0,971	0,971
	500	0,738	0,697	0,875	0,875	1,090	1,044	0,572	0,902	0,902	1,051	1,477	0,396	0,986	0,986	1,006	1,808	0,301	1,122	0,974	0,974	2,088	0,253	1,258	0,979	0,979
	600	0,773	0,676	0,868	0,868	1,070	1,093	0,527	0,869	0,869	0,998	1,546	0,365	0,994	0,971	0,971	1,893	0,279	1,141	0,957	0,957	2,186	0,232	1,264	0,951	0,951
	700	0,786	0,632	0,818	0,818	0,977	1,111	0,514	0,861	0,861	0,964	1,571	0,353	0,994	0,959	0,959	1,924	0,272	1,149	0,952	0,952	2,222	0,243	1,368	1,017	1,017
	800	0,693	0,693	0,847	0,847	0,971	0,980	0,608	0,909	0,909	1,004	1,386	0,436	0,974	0,974	0,996	1,697	0,331	1,085	0,988	0,988	1,960	0,272	1,191	0,973	0,973
L ₄	20/100	0,843	0,790	1,063	1,063	1,063	1,192	0,575	1,041	1,041	1,041	1,685	0,351	1,135	1,039	1,039	2,064	0,264	1,282	1,007	1,007	2,383	0,226	1,466	1,033	1,033
	200	0,838	0,726	0,973	0,973	1,045	1,185	0,522	0,939	0,939	0,974	1,676	0,320	1,024	0,941	0,941	2,052	0,242	1,164	0,918	0,918	2,370	0,197	1,263	0,894	0,894
	300	0,832	0,712	0,951	0,951	1,087	1,177	0,541	0,965	0,965	1,039	1,664	0,343	1,083	1,001	1,001	2,038	0,261	1,234	0,979	0,979	2,353	0,214	1,353	0,962	0,962
	400	0,812	0,626	0,825	0,825	0,990	1,148	0,518	0,900	0,900	1,004	1,624	0,344	1,034	0,974	0,974	1,989	0,263	1,185	0,957	0,957	2,296	0,217	1,307	0,947	0,947
	500	0,792	0,680	0,885	0,885	1,090	1,120	0,539	0,911	0,911	1,041	1,584	0,358	1,024	0,982	0,982	1,940	0,273	1,171	0,964	0,964	2,240	0,230	1,313	0,970	0,970
	600	0,829	0,658	0,877	0,877	1,070	1,172	0,496	0,881	0,881	0,990	1,658	0,331	1,037	0,961	0,961	2,030	0,254	1,193	0,949	0,949	2,344	0,218	1,363	0,973	0,973
	700	0,843	0,613	0,825	0,825	0,976	1,192	0,482	0,874	0,874	0,959	1,685	0,339	0,996	1,004	1,004	2,064	0,259	1,256	0,987	0,987	2,383	0,244	1,579	1,112	1,112
	800	0,743	0,678	0,855	0,855	0,975	1,051	0,578	0,918	0,918	1,003	1,486	0,395	0,996	0,996	0,996	1,820	0,299	1,131	0,977	0,977	2,102	0,247	1,246	0,965	0,965
L ₅	20/100	0,897	0,756	1,059	1,059	1,059	1,269	0,526	1,033	1,033	1,033	1,794	0,303	1,112	0,971	0,971	2,198	0,241	1,327	0,994	0,994	2,538	0,213	1,562	1,049	1,049
	200	0,892	0,692	0,966	0,966	1,033	1,262	0,477	0,929	0,929	0,954	1,784	0,293	1,062	0,931	0,931	2,185	0,221	1,202	0,905	0,905	2,523	0,183	1,328	0,896	0,896
	300	0,886	0,667	0,926	0,926	1,050	1,253	0,500	0,965	0,965	1,022	1,772	0,313	1,122	0,989	0,989	2,170	0,246	1,318	0,997	0,997	2,506	0,194	1,392	0,944	0,944
	400	0,865	0,607	0,830	0,830	0,987	1,223	0,485	0,906	0,906	0,991	1,729	0,314	1,072	0,962	0,962	2,118	0,240	1,229	0,947	0,947	2,445	0,199	1,354	0,936	0,936
	500	0,843	0,662	0,891	0,891	1,087	1,193	0,505	0,916	0,916	1,025	1,686	0,328	1,063	0,973	0,973	2									

Tabela 8.29: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna WSC4 com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.

L	T (°C)	$\sigma_{20}=75$ MPa					$\sigma_{20}=150$ MPa					$\sigma_{20}=300$ MPa					$\sigma_{20}=450$ MPa					$\sigma_{20}=600$ MPa				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT}^*}$
L ₁	20/100	0,834	0,793	1,062	1,062	1,062	1,180	0,585	1,047	1,047	1,047	1,669	0,368	1,169	1,049	1,049	2,044	0,294	1,403	1,026	1,026	2,360	0,261	1,655	1,047	1,047
	200	0,830	0,728	0,972	0,972	1,044	1,173	0,531	0,945	0,945	0,981	1,659	0,342	1,075	0,971	0,971	2,032	0,280	1,320	0,971	0,971	2,347	0,234	1,468	0,934	0,934
	300	0,824	0,716	0,951	0,951	1,088	1,165	0,548	0,967	0,967	1,043	1,648	0,358	1,107	1,006	1,006	2,018	0,289	1,342	0,994	0,994	2,330	0,244	1,512	0,969	0,969
	400	0,804	0,654	0,857	0,857	1,030	1,137	0,522	0,896	0,896	1,003	1,608	0,355	1,046	0,975	0,975	1,969	0,281	1,245	0,945	0,945	2,274	0,255	1,502	0,986	0,986
	500	0,784	0,683	0,884	0,884	1,091	1,109	0,543	0,908	0,908	1,040	1,568	0,369	1,035	0,989	0,989	1,921	0,300	1,264	0,984	0,984	2,218	0,264	1,479	0,996	0,996
	600	0,821	0,652	0,865	0,865	1,056	1,161	0,499	0,876	0,876	0,988	1,642	0,334	1,025	0,935	0,935	2,011	0,277	1,278	0,950	0,950	2,322	0,251	1,540	0,990	0,990
	700	0,834	0,598	0,800	0,800	0,948	1,180	0,485	0,869	0,869	0,956	1,669	0,336	1,066	0,957	0,957	2,044	0,264	1,257	0,919	0,919	2,360	0,244	1,551	0,981	0,981
	800	0,736	0,703	0,882	0,882	1,007	1,041	0,581	0,914	0,914	0,999	1,472	0,404	1,000	1,000	1,003	1,802	0,323	1,197	0,994	0,994	2,081	0,273	1,347	0,968	0,968
L ₂	20/100	0,893	0,755	1,055	1,055	1,055	1,263	0,533	1,040	1,040	1,040	1,787	0,344	1,254	1,050	1,050	2,188	0,277	1,515	1,034	1,034	2,527	0,246	1,789	1,056	1,056
	200	0,888	0,692	0,963	0,963	1,029	1,256	0,484	0,937	0,937	0,963	1,777	0,321	1,157	0,975	0,975	2,176	0,266	1,438	0,987	0,987	2,513	0,223	1,608	0,955	0,955
	300	0,882	0,677	0,937	0,937	1,063	1,248	0,504	0,967	0,967	1,025	1,764	0,333	1,180	1,002	1,002	2,161	0,275	1,463	1,011	1,011	2,495	0,226	1,603	0,959	0,959
	400	0,861	0,633	0,863	0,863	1,026	1,218	0,486	0,903	0,903	0,990	1,722	0,330	1,114	0,969	0,969	2,109	0,262	1,327	0,941	0,941	2,435	0,231	1,564	0,959	0,959
	500	0,840	0,663	0,890	0,890	1,087	1,187	0,506	0,913	0,913	1,024	1,679	0,340	1,094	0,976	0,976	2,057	0,282	1,361	0,989	0,989	2,375	0,250	1,611	1,012	1,012
	600	0,879	0,627	0,867	0,867	1,047	1,243	0,465	0,887	0,887	0,976	1,758	0,312	1,100	0,937	0,937	2,153	0,258	1,361	0,945	0,945	2,486	0,229	1,611	0,967	0,967
	700	0,893	0,577	0,805	0,805	0,944	1,263	0,452	0,881	0,881	0,949	1,787	0,316	1,151	0,964	0,964	2,188	0,250	1,367	0,933	0,933	2,527	0,227	1,653	0,976	0,976
	800	0,788	0,684	0,887	0,887	1,007	1,114	0,546	0,918	0,918	0,991	1,576	0,369	1,046	0,994	0,994	1,930	0,281	1,193	0,924	0,924	2,229	0,259	1,468	0,984	0,984
L ₃	20/100	0,951	0,716	1,045	1,045	1,045	1,345	0,489	1,042	1,042	1,042	1,902	0,317	1,308	1,029	1,029	2,329	0,265	1,639	1,051	1,051	2,690	0,231	1,903	1,055	1,055
	200	0,946	0,654	0,952	0,952	1,012	1,337	0,444	0,939	0,939	0,954	1,891	0,291	1,185	0,938	0,938	2,316	0,246	1,508	0,972	0,972	2,675	0,208	1,695	0,945	0,945
	300	0,939	0,664	0,960	0,960	1,079	1,328	0,465	0,972	0,972	1,013	1,878	0,315	1,266	1,008	1,008	2,300	0,256	1,542	1,001	1,001	2,656	0,210	1,691	0,949	0,949
	400	0,916	0,613	0,871	0,871	1,024	1,296	0,452	0,913	0,913	0,978	1,833	0,304	1,165	0,951	0,951	2,245	0,258	1,482	0,986	0,986	2,592	0,217	1,664	0,957	0,957
	500	0,894	0,642	0,897	0,897	1,083	1,264	0,471	0,919	0,919	1,007	1,788	0,320	1,166	0,976	0,976	2,189	0,270	1,474	1,006	1,006	2,528	0,238	1,737	1,025	1,025
	600	0,935	0,600	0,865	0,865	1,032	1,323	0,432	0,900	0,900	0,966	1,871	0,297	1,184	0,947	0,947	2,291	0,252	1,506	0,981	0,981	2,646	0,221	1,763	0,994	0,994
	700	0,951	0,556	0,812	0,812	0,941	1,345	0,420	0,896	0,896	0,943	1,902	0,301	1,243	0,977	0,977	2,329	0,238	1,475	0,946	0,946	2,690	0,209	1,722	0,955	0,955
	800	0,839	0,665	0,893	0,893	1,006	1,186	0,511	0,920	0,920	0,981	1,677	0,343	1,100	0,982	0,982	2,054	0,280	1,348	0,981	0,981	2,372	0,247	1,586	0,998	0,998
L ₄	20/100	1,007	0,676	1,034	1,034	1,034	1,424	0,452	1,056	1,056	1,056	2,014	0,299	1,383	1,027	1,027	2,466	0,247	1,710	1,035	1,035	2,848	0,219	2,024	1,059	1,059
	200	1,001	0,617	0,939	0,939	0,994	1,416	0,411	0,951	0,951	0,956	2,003	0,278	1,272	0,950	0,950	2,453	0,233	1,598	0,972	0,972	2,832	0,190	1,735	0,913	0,913
	300	0,994	0,636	0,963	0,963	1,072	1,406	0,431	0,986	0,986	1,008	1,988	0,288	1,297	0,976	0,976	2,435	0,240	1,623	0,994	0,994	2,812	0,197	1,775	0,941	0,941
	400	0,970	0,592	0,878	0,878	1,021	1,372	0,421	0,926	0,926	0,971	1,941	0,291	1,250	0,963	0,963	2,377	0,239	1,537	0,966	0,966	2,744	0,206	1,767	0,960	0,960
	500	0,946	0,621	0,904	0,904	1,079	1,338	0,439	0,929	0,929	0,995	1,893	0,306	1,250	0,988	0,988	2,318	0,252	1,544	0,995	0,995	2,677	0,227	1,854	1,033	1,033
	600	0,991	0,587	0,885	0,885	1,042	1,401	0,403	0,917	0,917	0,960	1,981	0,284	1,273	0,961	0,961	2,426	0,240	1,613	0,992	0,992	2,802	0,205	1,833	0,975	0,975
	700	1,007	0,536	0,819	0,819	0,938	1,424	0,392	0,916	0,916	0,942	2,014	0,289	1,338	0,993	0,993	2,466	0,227	1,577	0,954	0,954	2,848	0,192	1,775	0,929	0,929
	800	0,888	0,646	0,898	0,898	1,006	1,256	0,479	0,926	0,926	0,974	1,776	0,323	1,162	0,979	0,979	2,175	0,256	1,381	0,948	0,948	2,512	0,236	1,697	1,008	1,008
L ₅	20/100	1,061	0,639	1,024	1,024	1,024	1,501	0,421	1,081	1,079	1,079	2,122	0,289	1,487	1,047	1,047	2,599	0,220	1,694	0,972	0,972	3,002	0,210	2,157	1,071	1,071
	200	1,055	0,582	0,928	0,928	0,976	1,492	0,384	0,976	0,976	0,970	2,111	0,270	1,373	0,972	0,972	2,585	0,222	1,691	0,976	0,976	2,985	0,181	1,839	0,918	0,918
	300	1,048	0,608	0,963	0,963	1,063	1,482	0,402	1,008	1,008	1,011	2,096	0,277	1,385	0,988	0,988	2,567	0,218	1,637	0,951	0,951	2,964	0,189	1,892	0,951	0,951
	400	1,023	0,572	0,885	0,885	1,018	1,446	0,394	0,945	0,945	0,968	2,045	0,280	1,336	0,977	0,977	2,505	0,228	1,633	0,972	0,972	2,892	0,197	1,876	0,966	0,966
	500	0,997	0,601	0,911	0,911																					

Tabela 8.30: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna WSC₅ com $\sigma_{y20}=75, 150, 300, 450$ e 600 MPa e $T=20/100$ a $T=800$ °C.

L	T (°C)	$\sigma_{20}=75$ MPa					$\sigma_{20}=150$ MPa					$\sigma_{20}=300$ MPa					$\sigma_{20}=450$ MPa					$\sigma_{20}=600$ MPa				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,791	0,820	1,065	1,065	1,065	1,118	0,625	1,054	1,054	1,054	1,581	0,388	1,106	1,072	1,072	1,937	0,295	1,261	1,085	1,085	2,236	0,242	1,381	1,093	1,093
	200	0,786	0,754	0,976	0,976	1,053	1,112	0,568	0,953	0,953	0,996	1,572	0,354	0,997	0,969	0,969	1,926	0,271	1,145	0,989	0,989	2,224	0,221	1,247	0,990	0,990
	300	0,781	0,707	0,913	0,913	1,051	1,104	0,581	0,967	0,967	1,056	1,561	0,378	1,050	1,025	1,025	1,912	0,290	1,211	1,050	1,050	2,208	0,240	1,332	1,062	1,062
	400	0,762	0,683	0,871	0,871	1,054	1,077	0,547	0,888	0,888	1,009	1,524	0,378	1,001	0,991	0,991	1,866	0,292	1,161	1,021	1,021	2,155	0,243	1,287	1,041	1,041
	500	0,743	0,661	0,832	0,832	1,035	1,051	0,570	0,905	0,905	1,052	1,486	0,394	0,993	0,993	1,010	1,820	0,304	1,147	1,024	1,024	2,102	0,237	1,194	0,980	0,980
	600	0,778	0,662	0,852	0,852	1,050	1,100	0,525	0,871	0,871	0,998	1,555	0,349	0,964	0,943	0,943	1,905	0,283	1,169	1,016	1,016	2,200	0,235	1,296	1,036	1,036
	700	0,791	0,601	0,781	0,781	0,933	1,118	0,511	0,863	0,863	0,964	1,581	0,354	1,010	0,979	0,979	1,937	0,276	1,179	1,014	1,014	2,236	0,229	1,306	1,034	1,034
	800	0,697	0,689	0,845	0,845	0,969	0,986	0,607	0,912	0,912	1,006	1,394	0,433	0,977	0,977	0,997	1,708	0,331	1,102	1,021	1,021	1,972	0,266	1,181	1,005	1,005
L ₂	20/100	0,842	0,790	1,063	1,063	1,063	1,191	0,575	1,041	1,041	1,041	1,685	0,356	1,153	1,076	1,076	2,063	0,273	1,325	1,099	1,099	2,382	0,223	1,445	1,102	1,102
	200	0,838	0,725	0,972	0,972	1,044	1,185	0,522	0,939	0,939	0,973	1,675	0,327	1,045	0,979	0,979	2,052	0,251	1,203	1,001	1,001	2,369	0,203	1,301	0,996	0,996
	300	0,832	0,687	0,918	0,918	1,049	1,176	0,541	0,965	0,965	1,039	1,663	0,348	1,098	1,033	1,033	2,037	0,269	1,272	1,063	1,063	2,353	0,221	1,394	1,071	1,071
	400	0,812	0,666	0,877	0,877	1,052	1,148	0,517	0,897	0,897	1,001	1,623	0,348	1,045	0,997	0,997	1,988	0,270	1,219	1,033	1,033	2,296	0,224	1,349	1,051	1,051
	500	0,792	0,644	0,837	0,837	1,031	1,120	0,538	0,908	0,908	1,038	1,583	0,362	1,034	1,002	1,002	1,939	0,281	1,204	1,036	1,036	2,239	0,237	1,352	1,069	1,069
	600	0,829	0,643	0,858	0,858	1,046	1,172	0,495	0,879	0,879	0,988	1,657	0,335	1,049	0,989	0,989	2,030	0,261	1,227	1,028	1,028	2,344	0,217	1,358	1,045	1,045
	700	0,842	0,583	0,785	0,785	0,928	1,191	0,481	0,872	0,872	0,957	1,685	0,326	1,056	0,986	0,986	2,063	0,255	1,237	1,026	1,026	2,382	0,211	1,367	1,042	1,042
	800	0,743	0,674	0,849	0,849	0,968	1,051	0,577	0,916	0,916	1,000	1,486	0,396	0,999	0,999	0,999	1,820	0,306	1,156	1,032	1,032	2,101	0,260	1,309	1,074	1,074
L ₃	20/100	0,941	0,725	1,050	1,050	1,050	1,331	0,491	1,032	1,032	1,032	1,883	0,309	1,250	1,094	1,094	2,306	0,245	1,487	1,155	1,155	2,662	0,185	1,496	1,069	1,069
	200	0,936	0,663	0,957	0,957	1,018	1,324	0,446	0,928	0,928	0,945	1,872	0,284	1,135	0,997	0,997	2,293	0,216	1,292	1,008	1,008	2,647	0,171	1,370	0,982	0,982
	300	0,929	0,645	0,925	0,925	1,042	1,314	0,468	0,965	0,965	1,008	1,859	0,302	1,190	1,049	1,049	2,277	0,232	1,373	1,075	1,075	2,629	0,188	1,485	1,069	1,069
	400	0,907	0,631	0,891	0,891	1,050	1,283	0,458	0,912	0,912	0,981	1,814	0,301	1,130	1,011	1,011	2,222	0,234	1,318	1,047	1,047	2,565	0,192	1,442	1,053	1,053
	500	0,885	0,610	0,846	0,846	1,024	1,251	0,477	0,919	0,919	1,011	1,769	0,313	1,116	1,013	1,013	2,167	0,243	1,304	1,051	1,051	2,502	0,213	1,522	1,128	1,128
	600	0,926	0,609	0,872	0,872	1,042	1,310	0,438	0,897	0,897	0,967	1,852	0,291	1,137	1,004	1,004	2,268	0,226	1,326	1,041	1,041	2,619	0,185	1,448	1,045	1,045
	700	0,941	0,548	0,793	0,793	0,921	1,331	0,426	0,894	0,894	0,945	1,883	0,283	1,145	1,002	1,002	2,306	0,220	1,336	1,038	1,038	2,662	0,180	1,456	1,040	1,040
	800	0,830	0,643	0,858	0,858	0,968	1,174	0,518	0,922	0,922	0,984	1,660	0,342	1,075	1,012	1,012	2,033	0,266	1,254	1,049	1,049	2,348	0,220	1,384	1,064	1,064
L ₄	20/100	0,988	0,692	1,042	1,042	1,042	1,398	0,459	1,039	1,039	1,039	1,977	0,290	1,294	1,100	1,100	2,421	0,220	1,470	1,111	1,111	2,796	0,177	1,581	1,098	1,098
	200	0,983	0,632	0,947	0,947	1,004	1,390	0,416	0,935	0,935	0,943	1,966	0,266	1,174	1,002	1,002	2,408	0,200	1,323	1,002	1,002	2,780	0,161	1,421	0,990	0,990
	300	0,976	0,622	0,927	0,927	1,036	1,380	0,437	0,971	0,971	0,998	1,952	0,284	1,232	1,055	1,055	2,391	0,217	1,411	1,074	1,074	2,760	0,174	1,513	1,059	1,059
	400	0,952	0,615	0,899	0,899	1,049	1,347	0,431	0,922	0,922	0,974	1,905	0,283	1,170	1,017	1,017	2,333	0,219	1,358	1,048	1,048	2,694	0,183	1,517	1,077	1,077
	500	0,929	0,593	0,851	0,851	1,019	1,314	0,450	0,927	0,927	1,000	1,858	0,293	1,154	1,017	1,017	2,275	0,227	1,342	1,051	1,051	2,627	0,202	1,592	1,146	1,146
	600	0,972	0,592	0,880	0,880	1,040	1,375	0,413	0,911	0,911	0,962	1,945	0,273	1,176	1,010	1,010	2,382	0,211	1,365	1,041	1,041	2,750	0,193	1,666	1,168	1,168
	700	0,988	0,531	0,799	0,799	0,919	1,398	0,401	0,909	0,909	0,943	1,977	0,266	1,185	1,008	1,008	2,421	0,206	1,374	1,038	1,038	2,796	0,167	1,484	1,031	1,031
	800	0,872	0,627	0,862	0,862	0,967	1,233	0,490	0,925	0,925	0,977	1,743	0,321	1,112	1,018	1,018	2,135	0,249	1,295	1,053	1,053	2,465	0,208	1,439	1,075	1,075
L ₅	20/100	1,034	0,660	1,033	1,033	1,033	1,462	0,429	1,050	1,050	1,050	2,068	0,273	1,333	1,104	1,104	2,533	0,209	1,531	1,126	1,126	2,924	0,169	1,643	1,111	1,111
	200	1,028	0,602	0,937	0,937	0,989	1,454	0,390	0,945	0,945	0,945	2,056	0,250	1,207	1,003	1,003	2,518	0,197	1,428	1,054	1,054	2,908	0,169	1,625	1,103	1,103
	300	1,021	0,600	0,928	0,928	1,029	1,444	0,409	0,980	0,980	0,992	2,042	0,264	1,256	1,048	1,048	2,501	0,201	1,436	1,064	1,064	2,888	0,172	1,636	1,115	1,115
	400	0,996	0,598	0,906	0,906	1,048	1,409	0,407	0,935	0,935	0,969	1,993	0,264	1,193	1,010	1,010	2,440	0,205								

Tabela 8.31: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna WFSC₁ com σ_{y20} =75, 150, 300, 450 e 600 MPa e T=20/100 a T=800 °C

L	T (°C)	$\sigma_{y20}=75 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=150 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=300 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=450 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=600 \text{ MPa}$				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,729	0,852	1,064	1,064	1,064	1,032	0,688	1,074	1,074	1,074	1,459	0,439	1,070	1,070	1,070	1,787	0,334	1,215	1,028	1,028	2,063	0,292	1,416	1,044	1,044
	200	0,725	0,784	0,978	0,978	1,059	1,026	0,628	0,975	0,975	1,029	1,451	0,398	0,961	0,961	0,962	1,777	0,314	1,129	0,960	0,960	2,052	0,276	1,323	0,981	0,981
	300	0,720	0,732	0,910	0,910	1,056	1,019	0,629	0,971	0,971	1,077	1,441	0,425	1,013	1,013	1,027	1,765	0,329	1,168	0,999	0,999	2,037	0,288	1,364	1,018	1,018
	400	0,703	0,663	0,815	0,815	0,996	0,994	0,585	0,885	0,885	1,024	1,406	0,423	0,968	0,968	1,004	1,722	0,330	1,115	0,977	0,977	1,988	0,289	1,304	0,996	0,996
	500	0,686	0,683	0,831	0,831	1,044	0,970	0,606	0,899	0,899	1,066	1,371	0,441	0,969	0,969	1,026	1,680	0,340	1,094	0,982	0,982	1,939	0,298	1,276	0,999	0,999
	600	0,718	0,639	0,792	0,792	0,986	1,015	0,561	0,863	0,863	1,010	1,435	0,405	0,959	0,959	0,993	1,758	0,321	1,131	0,972	0,972	2,030	0,284	1,336	1,001	1,001
	700	0,729	0,626	0,782	0,782	0,943	1,032	0,547	0,854	0,854	0,973	1,459	0,395	0,963	0,963	0,980	1,787	0,315	1,148	0,971	0,971	2,063	0,280	1,359	1,003	1,003
	800	0,643	0,709	0,844	0,844	0,973	0,910	0,643	0,909	0,909	1,014	1,287	0,483	0,966	0,966	1,009	1,576	0,370	1,047	0,998	0,998	1,820	0,316	1,193	0,992	0,992
L ₂	20/100	0,781	0,825	1,065	1,065	1,065	1,105	0,635	1,058	1,058	1,058	1,562	0,399	1,109	1,067	1,067	1,913	0,313	1,308	1,037	1,037	2,209	0,275	1,533	1,059	1,059
	200	0,777	0,758	0,976	0,976	1,054	1,098	0,578	0,957	0,957	1,002	1,553	0,363	0,999	0,966	0,966	1,903	0,295	1,217	0,970	0,970	2,197	0,261	1,434	0,997	0,997
	300	0,771	0,713	0,914	0,914	1,054	1,091	0,589	0,969	0,969	1,060	1,542	0,386	1,047	1,019	1,019	1,889	0,308	1,253	1,005	1,005	2,181	0,272	1,477	1,033	1,033
	400	0,753	0,645	0,818	0,818	0,991	1,064	0,554	0,890	0,890	1,014	1,505	0,385	0,995	0,991	0,991	1,844	0,309	1,196	0,982	0,982	2,129	0,274	1,418	1,015	1,015
	500	0,734	0,666	0,834	0,834	1,039	1,038	0,576	0,904	0,904	1,054	1,468	0,401	0,989	0,989	1,013	1,798	0,317	1,169	0,983	0,983	2,076	0,281	1,381	1,012	1,012
	600	0,768	0,620	0,794	0,794	0,979	1,087	0,530	0,869	0,869	1,000	1,537	0,370	0,997	0,973	0,973	1,882	0,301	1,217	0,980	0,980	2,173	0,269	1,447	1,016	1,016
	700	0,781	0,606	0,783	0,783	0,936	1,105	0,517	0,861	0,861	0,965	1,562	0,361	1,004	0,965	0,965	1,913	0,296	1,237	0,980	0,980	2,209	0,265	1,473	1,018	1,018
	800	0,689	0,695	0,847	0,847	0,972	0,974	0,612	0,910	0,910	1,006	1,378	0,440	0,974	0,974	0,999	1,687	0,340	1,105	0,987	0,987	1,948	0,297	1,286	1,002	1,002
L ₃	20/100	0,831	0,795	1,062	1,062	1,062	1,176	0,586	1,045	1,045	1,045	1,663	0,367	1,156	1,047	1,047	2,036	0,297	1,404	1,048	1,048	2,351	0,250	1,574	1,025	1,025
	200	0,827	0,730	0,972	0,972	1,045	1,169	0,532	0,943	0,943	0,979	1,653	0,338	1,055	0,961	0,961	2,025	0,280	1,309	0,983	0,983	2,338	0,244	1,520	0,995	0,995
	300	0,821	0,692	0,917	0,917	1,050	1,161	0,549	0,965	0,965	1,042	1,642	0,356	1,094	1,003	1,003	2,011	0,292	1,344	1,016	1,016	2,322	0,259	1,591	1,049	1,049
	400	0,801	0,628	0,821	0,821	0,987	1,133	0,523	0,895	0,895	1,003	1,602	0,355	1,038	0,974	0,974	1,962	0,292	1,282	0,992	0,992	2,266	0,260	1,523	1,028	1,028
	500	0,781	0,649	0,838	0,838	1,035	1,105	0,544	0,907	0,907	1,040	1,563	0,369	1,027	0,987	0,987	1,914	0,299	1,251	0,991	0,991	2,210	0,267	1,484	1,025	1,025
	600	0,818	0,602	0,796	0,796	0,973	1,157	0,500	0,876	0,876	0,988	1,636	0,342	1,043	0,960	0,960	2,003	0,285	1,306	0,991	0,991	2,313	0,255	1,557	1,030	1,030
	700	0,831	0,590	0,788	0,788	0,935	1,176	0,487	0,868	0,868	0,956	1,663	0,334	1,053	0,954	0,954	2,036	0,281	1,329	0,993	0,993	2,351	0,251	1,585	1,032	1,032
	800	0,733	0,679	0,850	0,850	0,971	1,037	0,583	0,914	0,914	1,001	1,466	0,404	0,994	0,994	0,999	1,796	0,318	1,171	0,985	0,985	2,074	0,282	1,382	1,014	1,014
L ₄	20/100	0,880	0,764	1,056	1,056	1,056	1,245	0,542	1,037	1,037	1,037	1,761	0,343	1,214	1,041	1,041	2,156	0,283	1,498	1,059	1,059	2,490	0,245	1,733	1,068	1,068
	200	0,875	0,701	0,965	0,965	1,033	1,238	0,492	0,934	0,934	0,962	1,751	0,319	1,116	0,962	0,962	2,144	0,267	1,400	0,995	0,995	2,476	0,235	1,640	1,017	1,017
	300	0,869	0,670	0,920	0,920	1,045	1,229	0,512	0,964	0,964	1,026	1,738	0,333	1,148	0,997	0,997	2,129	0,278	1,437	1,028	1,028	2,459	0,247	1,699	1,061	1,061
	400	0,848	0,610	0,825	0,825	0,983	1,200	0,493	0,900	0,900	0,991	1,697	0,331	1,086	0,965	0,965	2,078	0,278	1,370	1,003	1,003	2,399	0,248	1,630	1,041	1,041
	500	0,827	0,632	0,842	0,842	1,030	1,170	0,513	0,910	0,910	1,025	1,655	0,343	1,071	0,975	0,975	2,027	0,285	1,335	1,001	1,001	2,340	0,254	1,588	1,039	1,039
	600	0,866	0,584	0,800	0,800	0,968	1,225	0,472	0,884	0,884	0,978	1,732	0,320	1,096	0,955	0,955	2,121	0,272	1,395	1,002	1,002	2,449	0,243	1,662	1,041	1,041
	700	0,880	0,570	0,788	0,788	0,926	1,245	0,443	0,847	0,847	0,917	1,761	0,314	1,110	0,953	0,953	2,156	0,268	1,421	1,005	1,005	2,490	0,239	1,690	1,042	1,042
	800	0,776	0,664	0,854	0,854	0,971	1,098	0,553	0,917	0,917	0,993	1,553	0,374	1,028	0,994	0,994	1,902	0,302	1,244	0,991	0,991	2,196	0,269	1,478	1,027	1,027
L ₅	20/100	0,974	0,699	1,040	1,040	1,040	1,377	0,470	1,040	1,040	1,040	1,947	0,310	1,343	1,046	1,046	2,385	0,259	1,678	1,078	1,078	2,754	0,218	1,881	1,054	1,054
	200	0,968	0,639	0,946	0,946	1,003	1,369	0,427	0,936	0,936	0,947	1,937	0,291	1,242	0,973	0,973	2,372	0,244	1,565	1,010	1,010	2,739	0,211	1,805	1,017	1,017
	300	0,961	0,627	0,924	0,924	1,035	1,360	0,448	0,972	0,972	1,005	1,923	0,301	1,268	1,001	1,001	2,355	0,255	1,611	1,048	1,048	2,719	0,224	1,885	1,069	1,069
	400	0,938	0,576	0,833	0,833	0,975	1,327	0,438	0,914	0,914	0,972	1,877	0,299	1,200	0,969	0,969	2,298	0,255	1,537	1,023	1,023	2,654	0,226	1,812	1,052	

Tabela 8.32: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna WFSC₂ com σ_{y20} =75, 150, 300, 450 e 600 MPa e T=20/100 a T=800 °C

L	T (°C)	$\sigma_{y20}=75 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=150 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=300 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=450 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=600 \text{ MPa}$				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,894	0,749	1,046	1,046	1,046	1,264	0,528	1,030	1,030	1,030	1,787	0,334	1,215	1,040	1,040	2,189	0,274	1,498	1,071	1,071	2,528	0,235	1,709	1,075	1,075
	200	0,889	0,686	0,954	0,954	1,020	1,257	0,479	0,927	0,927	0,953	1,777	0,310	1,117	0,960	0,960	2,177	0,259	1,397	1,003	1,003	2,513	0,226	1,628	1,030	1,030
	300	0,882	0,658	0,911	0,911	1,034	1,248	0,499	0,958	0,958	1,015	1,765	0,324	1,149	0,994	0,994	2,161	0,269	1,435	1,037	1,037	2,496	0,238	1,691	1,076	1,076
	400	0,861	0,598	0,816	0,816	0,970	1,218	0,481	0,895	0,895	0,981	1,722	0,321	1,086	0,960	0,960	2,109	0,270	1,368	1,010	1,010	2,436	0,240	1,622	1,055	1,055
	500	0,840	0,620	0,833	0,833	1,017	1,188	0,501	0,904	0,904	1,013	1,680	0,333	1,072	0,969	0,969	2,057	0,276	1,333	1,007	1,007	2,376	0,246	1,582	1,052	1,052
	600	0,879	0,572	0,790	0,790	0,954	1,243	0,460	0,879	0,879	0,968	1,758	0,311	1,096	0,952	0,952	2,153	0,264	1,394	1,011	1,011	2,486	0,234	1,653	1,055	1,055
	700	0,894	0,558	0,780	0,780	0,914	1,264	0,430	0,838	0,838	0,903	1,787	0,305	1,110	0,950	0,950	2,189	0,260	1,418	1,014	1,014	2,528	0,231	1,680	1,057	1,057
	800	0,788	0,652	0,845	0,845	0,959	1,115	0,540	0,909	0,909	0,982	1,576	0,363	1,029	0,984	0,984	1,930	0,293	1,243	0,993	0,993	2,229	0,260	1,474	1,037	1,037
L ₂	20/100	0,953	0,725	1,060	1,060	1,060	1,348	0,486	1,039	1,039	1,039	1,906	0,312	1,294	1,046	1,046	2,334	0,259	1,608	1,086	1,086	2,695	0,225	1,868	1,110	1,110
	200	0,948	0,661	0,963	0,963	1,024	1,340	0,440	0,933	0,933	0,949	1,895	0,292	1,194	0,970	0,970	2,321	0,244	1,497	1,016	1,016	2,680	0,211	1,729	1,033	1,033
	300	0,941	0,637	0,923	0,923	1,037	1,331	0,463	0,971	0,971	1,011	1,882	0,302	1,221	0,998	0,998	2,305	0,254	1,540	1,052	1,052	2,662	0,223	1,803	1,084	1,084
	400	0,918	0,578	0,823	0,823	0,968	1,299	0,451	0,913	0,913	0,978	1,837	0,300	1,153	0,963	0,963	2,249	0,255	1,469	1,025	1,025	2,597	0,225	1,733	1,064	1,064
	500	0,896	0,599	0,839	0,839	1,012	1,267	0,470	0,921	0,921	1,008	1,791	0,310	1,133	0,967	0,967	2,194	0,261	1,432	1,022	1,022	2,533	0,231	1,692	1,063	1,063
	600	0,937	0,553	0,799	0,799	0,952	1,326	0,431	0,899	0,899	0,965	1,875	0,291	1,167	0,957	0,957	2,296	0,249	1,497	1,026	1,026	2,652	0,220	1,763	1,063	1,063
	700	0,953	0,539	0,789	0,789	0,914	1,348	0,419	0,895	0,895	0,942	1,906	0,286	1,186	0,959	0,959	2,334	0,245	1,522	1,028	1,028	2,695	0,216	1,790	1,064	1,064
	800	0,840	0,629	0,845	0,845	0,953	1,189	0,511	0,923	0,923	0,983	1,681	0,335	1,080	0,976	0,976	2,059	0,276	1,334	1,007	1,007	2,377	0,245	1,582	1,051	1,051
L ₃	20/100	1,011	0,667	1,024	1,024	1,024	1,430	0,444	1,044	1,044	1,044	2,022	0,296	1,381	1,059	1,059	2,476	0,247	1,727	1,106	1,106	2,859	0,214	1,996	1,126	1,126
	200	1,005	0,608	0,928	0,928	0,981	1,422	0,403	0,939	0,939	0,944	2,011	0,277	1,279	0,986	0,986	2,463	0,232	1,607	1,035	1,035	2,844	0,200	1,842	1,044	1,044
	300	0,998	0,603	0,914	0,914	1,018	1,412	0,423	0,975	0,975	0,995	1,997	0,287	1,304	1,011	1,011	2,445	0,243	1,657	1,073	1,073	2,823	0,212	1,928	1,100	1,100
	400	0,974	0,554	0,824	0,824	0,957	1,378	0,414	0,916	0,916	0,959	1,948	0,285	1,232	0,977	0,977	2,386	0,243	1,581	1,047	1,047	2,755	0,194	1,683	0,981	0,981
	500	0,950	0,575	0,840	0,840	1,001	1,344	0,433	0,921	0,921	0,984	1,900	0,293	1,205	0,976	0,976	2,327	0,250	1,541	1,043	1,043	2,687	0,220	1,814	1,081	1,081
	600	0,995	0,528	0,799	0,799	0,940	1,406	0,398	0,910	0,910	0,951	1,989	0,278	1,252	0,974	0,974	2,436	0,238	1,611	1,047	1,047	2,813	0,209	1,885	1,079	1,079
	700	1,011	0,515	0,790	0,790	0,904	1,430	0,386	0,908	0,908	0,932	2,022	0,273	1,273	0,976	0,976	2,476	0,234	1,637	1,049	1,049	2,859	0,205	1,912	1,078	1,078
	800	0,892	0,610	0,851	0,851	0,952	1,261	0,472	0,917	0,917	0,964	1,783	0,313	1,136	0,974	0,974	2,184	0,264	1,435	1,028	1,028	2,522	0,234	1,700	1,072	1,072
L ₄	20/100	1,067	0,628	1,012	1,012	1,012	1,510	0,412	1,069	1,063	1,063	2,135	0,282	1,467	1,072	1,072	2,615	0,235	1,832	1,118	1,118	3,019	0,202	2,099	1,128	1,128
	200	1,062	0,573	0,918	0,918	0,965	1,501	0,374	0,962	0,961	0,961	2,123	0,265	1,362	1,000	1,000	2,600	0,220	1,699	1,043	1,043	3,003	0,188	1,929	1,042	1,042
	300	1,054	0,574	0,914	0,914	1,007	1,491	0,393	0,997	0,997	0,997	2,108	0,274	1,388	1,026	1,026	2,582	0,231	1,758	1,086	1,086	2,981	0,200	2,029	1,103	1,103
	400	1,029	0,532	0,828	0,828	0,951	1,455	0,385	0,934	0,934	0,954	2,057	0,272	1,312	0,991	0,991	2,520	0,232	1,680	1,060	1,060	2,909	0,202	1,954	1,085	1,085
	500	1,003	0,553	0,843	0,843	0,992	1,419	0,404	0,937	0,937	0,976	2,007	0,279	1,281	0,989	0,989	2,458	0,238	1,639	1,057	1,057	2,838	0,208	1,914	1,087	1,087
	600	1,050	0,507	0,805	0,805	0,934	1,485	0,371	0,933	0,933	0,949	2,100	0,265	1,334	0,989	0,989	2,572	0,227	1,709	1,059	1,059	2,970	0,197	1,983	1,081	1,081
	700	1,067	0,493	0,795	0,795	0,899	1,510	0,360	0,935	0,929	0,929	2,135	0,285	1,483	1,084	1,084	2,615	0,223	1,736	1,060	1,060	3,019	0,193	2,009	1,079	1,079
	800	0,941	0,589	0,853	0,853	0,947	1,331	0,441	0,925	0,925	0,958	1,883	0,296	1,197	0,978	0,978	2,306	0,252	1,528	1,043	1,043	2,663	0,223	1,801	1,082	1,082
L ₅	20/100	1,123	0,592	1,004	1,004	1,004	1,587	0,385	1,106	1,051	1,051	2,245	0,270	1,553	1,085	1,085	2,750	0,224	1,927	1,125	1,125	3,175	0,179	2,052	1,055	1,055
	200	1,116	0,539	0,909	0,909	0,950	1,579	0,353	1,002	0,957	0,957	2,233	0,254	1,442	1,013	1,013	2,734	0,209	1,781	1,045	1,045	3,157	0,176	1,995	1,031	1,031
	300	1,108	0,546	0,914	0,914</																					

Tabela 8.33: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna WFSC₃ com σ_{y20} =75, 150, 300, 450 e 600 MPa e T=20/100 a T=800 °C

L	T (°C)	$\sigma_{y20}=75 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=150 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=300 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=450 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=600 \text{ MPa}$				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	1,203	0,536	0,982	0,982	0,982	1,701	0,349	1,150	1,045	1,045	2,405	0,252	1,661	1,161	1,161	2,946	0,208	2,058	1,234	1,234	3,402	0,175	2,305	1,240	1,240
	200	1,196	0,488	0,887	0,887	0,919	1,691	0,320	1,045	0,954	0,954	2,392	0,237	1,544	1,084	1,084	2,930	0,193	1,893	1,140	1,140	3,383	0,160	2,094	1,131	1,131
	300	1,188	0,498	0,899	0,899	0,965	1,680	0,332	1,068	0,980	0,980	2,375	0,245	1,574	1,111	1,111	2,909	0,205	1,974	1,195	1,195	3,359	0,173	2,231	1,212	1,212
	400	1,159	0,469	0,824	0,824	0,916	1,639	0,326	0,999	0,934	0,934	2,318	0,243	1,489	1,070	1,070	2,839	0,206	1,889	1,165	1,165	3,278	0,176	2,156	1,193	1,193
	500	1,130	0,489	0,835	0,835	0,952	1,599	0,340	0,991	0,944	0,944	2,261	0,249	1,450	1,063	1,063	2,769	0,211	1,848	1,162	1,162	3,197	0,182	2,121	1,196	1,196
	600	1,183	0,447	0,804	0,804	0,900	1,673	0,313	0,999	0,919	0,919	2,366	0,237	1,516	1,073	1,073	2,898	0,200	1,918	1,165	1,165	3,347	0,171	2,179	1,187	1,187
	700	1,203	0,434	0,796	0,796	0,871	1,701	0,304	1,004	0,912	0,912	2,405	0,234	1,542	1,078	1,078	2,946	0,196	1,944	1,166	1,166	3,402	0,167	2,200	1,184	1,184
	800	1,061	0,525	0,841	0,841	0,917	1,500	0,372	0,954	0,954	0,954	2,121	0,262	1,345	1,035	1,035	2,598	0,225	1,731	1,142	1,142	3,000	0,196	2,014	1,191	1,191
L ₂	20/100	1,281	0,495	0,983	0,983	0,983	1,811	0,326	1,220	1,057	1,057	2,561	0,232	1,733	1,156	1,156	3,137	0,196	2,197	1,257	1,257	3,622	0,152	2,280	1,170	1,170
	200	1,273	0,449	0,884	0,884	0,907	1,801	0,301	1,112	0,968	0,968	2,547	0,225	1,664	1,114	1,114	3,119	0,181	2,013	1,157	1,157	3,602	0,149	2,201	1,134	1,134
	300	1,264	0,462	0,902	0,902	0,953	1,788	0,310	1,129	0,988	0,988	2,529	0,233	1,700	1,145	1,145	3,097	0,193	2,109	1,218	1,218	3,576	0,162	2,358	1,221	1,221
	400	1,234	0,440	0,832	0,832	0,908	1,745	0,302	1,048	0,934	0,934	2,468	0,232	1,610	1,104	1,104	3,023	0,194	2,021	1,189	1,189	3,490	0,164	2,283	1,204	1,204
	500	1,204	0,459	0,842	0,842	0,939	1,702	0,313	1,034	0,939	0,939	2,407	0,238	1,569	1,097	1,097	2,948	0,200	1,981	1,188	1,188	3,404	0,170	2,250	1,210	1,210
	600	1,260	0,419	0,815	0,815	0,892	1,782	0,291	1,051	0,923	0,923	2,519	0,226	1,638	1,106	1,106	3,086	0,189	2,049	1,186	1,186	3,563	0,159	2,303	1,197	1,197
	700	1,281	0,407	0,809	0,809	0,867	1,811	0,283	1,059	0,918	0,918	2,561	0,223	1,665	1,110	1,110	3,137	0,185	2,074	1,186	1,186	3,622	0,155	2,323	1,192	1,192
	800	1,129	0,495	0,845	0,845	0,910	1,597	0,343	0,998	0,952	0,952	2,259	0,250	1,456	1,068	1,068	2,766	0,213	1,862	1,172	1,172	3,194	0,184	2,146	1,211	1,211
L ₃	20/100	1,357	0,459	0,992	0,992	0,992	1,920	0,308	1,295	1,074	1,074	2,715	0,229	1,921	1,226	1,226	3,325	0,181	2,280	1,248	1,248	3,839	0,151	2,543	1,249	1,249
	200	1,350	0,416	0,893	0,893	0,906	1,909	0,285	1,185	0,987	0,987	2,700	0,214	1,778	1,139	1,139	3,306	0,170	2,121	1,166	1,166	3,818	0,138	2,293	1,130	1,130
	300	1,340	0,431	0,913	0,913	0,948	1,895	0,291	1,194	1,000	1,000	2,681	0,222	1,823	1,174	1,174	3,283	0,182	2,232	1,233	1,233	3,791	0,151	2,469	1,224	1,224
	400	1,308	0,412	0,844	0,844	0,902	1,850	0,284	1,106	0,943	0,943	2,616	0,221	1,727	1,133	1,133	3,204	0,183	2,142	1,206	1,206	3,700	0,153	2,395	1,209	1,209
	500	1,276	0,431	0,851	0,851	0,929	1,804	0,295	1,093	0,950	0,950	2,551	0,227	1,686	1,127	1,127	3,125	0,189	2,103	1,207	1,207	3,608	0,159	2,365	1,217	1,217
	600	1,335	0,393	0,830	0,830	0,888	1,888	0,273	1,111	0,933	0,933	2,671	0,216	1,755	1,134	1,134	3,271	0,178	2,168	1,201	1,201	3,777	0,148	2,413	1,199	1,199
	700	1,357	0,382	0,825	0,825	0,866	1,920	0,268	1,125	0,933	0,933	2,715	0,212	1,782	1,137	1,137	3,325	0,174	2,192	1,200	1,200	3,839	0,145	2,430	1,193	1,193
	800	1,197	0,466	0,849	0,849	0,903	1,693	0,320	1,045	0,953	0,953	2,394	0,240	1,567	1,100	1,100	2,932	0,203	1,986	1,195	1,195	3,386	0,173	2,266	1,224	1,224
L ₄	20/100	1,433	0,427	1,009	1,009	1,009	2,027	0,293	1,373	1,093	1,093	2,866	0,218	2,042	1,251	1,251	3,510	0,162	2,280	1,198	1,198	4,053	0,134	2,509	1,182	1,182
	200	1,425	0,388	0,909	0,909	0,913	2,015	0,272	1,262	1,008	1,008	2,850	0,203	1,883	1,158	1,158	3,491	0,159	2,215	1,169	1,169	4,031	0,128	2,369	1,121	1,121
	300	1,415	0,402	0,930	0,930	0,949	2,001	0,277	1,264	1,016	1,016	2,830	0,212	1,938	1,198	1,198	3,466	0,171	2,342	1,242	1,242	4,002	0,140	2,565	1,220	1,220
	400	1,381	0,387	0,860	0,860	0,899	1,953	0,269	1,171	0,959	0,959	2,762	0,211	1,838	1,158	1,158	3,383	0,173	2,251	1,216	1,216	3,906	0,143	2,492	1,207	1,207
	500	1,347	0,404	0,864	0,864	0,922	1,905	0,278	1,151	0,961	0,961	2,694	0,217	1,796	1,153	1,153	3,299	0,178	2,214	1,219	1,219	3,810	0,149	2,465	1,217	1,217
	600	1,410	0,369	0,849	0,849	0,886	1,994	0,261	1,184	0,954	0,954	2,819	0,206	1,866	1,157	1,157	3,453	0,167	2,274	1,210	1,210	3,987	0,138	2,507	1,196	1,196
	700	1,433	0,358	0,847	0,847	0,869	2,027	0,257	1,202	0,957	0,957	2,866	0,202	1,892	1,159	1,159	3,510	0,163	2,296	1,206	1,206	4,053	0,135	2,523	1,189	1,189
	800	1,264	0,439	0,857	0,857	0,900	1,787	0,301	1,095	0,958	0,958	2,528	0,230	1,675	1,128	1,128	3,096	0,192	2,100	1,213	1,213	3,575	0,163	2,373	1,230	1,230
L ₅	20/100	1,508	0,400	1,037	1,032	1,032	2,132	0,281	1,456	1,116	1,116	3,015	0,208	2,154	1,270	1,270	3,693	0,147	2,280	1,153	1,153	4,264	0,131	2,714	1,231	1,231
	200	1,499	0,365	0,936	0,936	0,930	2,120	0,262	1,343	1,033	1,033	2,998	0,193	1,980	1,172	1,172	3,672	0,149	2,296	1,166	1,166	4,240	0,119	2,432	1,107	1,107
	300	1,489	0,378	0,955																						

Tabela 8.34: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna WFSC₄ com σ_{y20} =75, 150, 300, 450 e 600 MPa e T=20/100 a T=800 °C

L	T (°C)	$\sigma_{y20}=75 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=150 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=300 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=450 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=600 \text{ MPa}$				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT.T}^*}$
L ₁	20/100	0,834	0,795	1,063	1,063	1,063	1,179	0,583	1,043	1,043	1,043	1,668	0,363	1,150	1,050	1,050	2,042	0,286	1,361	1,047	1,047	2,358	0,245	1,551	1,056	1,056
	200	0,829	0,730	0,973	0,973	1,045	1,173	0,529	0,941	0,941	0,977	1,658	0,334	1,046	0,960	0,960	2,031	0,267	1,254	0,969	0,969	2,345	0,228	1,429	0,977	0,977
	300	0,823	0,692	0,919	0,919	1,052	1,164	0,548	0,966	0,966	1,042	1,647	0,353	1,092	1,008	1,008	2,017	0,281	1,302	1,012	1,012	2,329	0,242	1,496	1,029	1,029
	400	0,803	0,630	0,825	0,825	0,992	1,136	0,522	0,897	0,897	1,003	1,607	0,352	1,038	0,978	0,978	1,968	0,282	1,244	0,987	0,987	2,273	0,244	1,438	1,010	1,010
	500	0,784	0,651	0,842	0,842	1,040	1,108	0,541	0,905	0,905	1,037	1,567	0,367	1,027	0,989	0,989	1,920	0,290	1,220	0,989	0,989	2,217	0,251	1,408	1,010	1,010
	600	0,820	0,604	0,800	0,800	0,978	1,160	0,501	0,880	0,880	0,992	1,640	0,340	1,042	0,965	0,965	2,009	0,274	1,261	0,984	0,984	2,320	0,255	1,566	1,081	1,081
	700	0,834	0,590	0,789	0,789	0,935	1,179	0,487	0,871	0,871	0,959	1,668	0,290	0,920	0,840	0,840	2,042	0,269	1,278	0,983	0,983	2,358	0,233	1,479	1,006	1,006
	800	0,735	0,682	0,855	0,855	0,976	1,040	0,583	0,916	0,916	1,002	1,471	0,402	0,994	0,994	0,998	1,801	0,313	1,157	0,990	0,990	2,080	0,269	1,329	1,006	1,006
L ₂	20/100	0,885	0,762	1,058	1,058	1,058	1,252	0,537	1,035	1,035	1,035	1,770	0,337	1,203	1,045	1,045	2,168	0,269	1,439	1,052	1,052	2,504	0,229	1,634	1,057	1,057
	200	0,880	0,699	0,967	0,967	1,034	1,245	0,487	0,932	0,932	0,959	1,761	0,311	1,100	0,960	0,960	2,156	0,267	1,417	1,041	1,041	2,490	0,213	1,503	0,977	0,977
	300	0,874	0,671	0,923	0,923	1,049	1,236	0,509	0,964	0,964	1,025	1,748	0,328	1,142	1,002	1,002	2,141	0,269	1,406	1,039	1,039	2,472	0,229	1,594	1,042	1,042
	400	0,853	0,612	0,830	0,830	0,988	1,206	0,491	0,903	0,903	0,992	1,706	0,326	1,083	0,970	0,970	2,089	0,264	1,316	0,992	0,992	2,413	0,228	1,516	1,012	1,012
	500	0,832	0,634	0,847	0,847	1,035	1,177	0,511	0,912	0,912	1,026	1,664	0,339	1,069	0,978	0,978	2,038	0,272	1,290	0,994	0,994	2,353	0,235	1,487	1,014	1,014
	600	0,871	0,586	0,805	0,805	0,973	1,231	0,470	0,886	0,886	0,979	1,742	0,315	1,090	0,960	0,960	2,133	0,257	1,334	0,989	0,989	2,463	0,222	1,537	1,008	1,008
	700	0,885	0,572	0,794	0,794	0,931	1,252	0,457	0,880	0,880	0,951	1,770	0,308	1,100	0,955	0,955	2,168	0,252	1,352	0,988	0,988	2,504	0,218	1,556	1,007	1,007
	800	0,781	0,666	0,859	0,859	0,976	1,104	0,552	0,919	0,919	0,994	1,561	0,370	1,029	0,994	0,994	1,912	0,292	1,218	0,991	0,991	2,208	0,253	1,405	1,011	1,011
L ₃	20/100	0,935	0,731	1,054	1,054	1,054	1,322	0,498	1,034	1,034	1,034	1,869	0,316	1,259	1,044	1,044	2,289	0,253	1,510	1,054	1,054	2,643	0,213	1,701	1,051	1,051
	200	0,929	0,668	0,959	0,959	1,022	1,314	0,452	0,930	0,930	0,949	1,859	0,293	1,153	0,961	0,961	2,276	0,235	1,388	0,973	0,973	2,629	0,197	1,556	0,965	0,965
	300	0,923	0,651	0,929	0,929	1,048	1,305	0,475	0,968	0,968	1,014	1,846	0,307	1,193	1,000	1,000	2,260	0,248	1,445	1,020	1,020	2,610	0,211	1,641	1,025	1,025
	400	0,901	0,595	0,836	0,836	0,987	1,274	0,462	0,911	0,911	0,983	1,801	0,305	1,129	0,966	0,966	2,206	0,249	1,381	0,995	0,995	2,547	0,214	1,581	1,008	1,008
	500	0,878	0,618	0,853	0,853	1,033	1,242	0,482	0,920	0,920	1,015	1,757	0,317	1,114	0,974	0,974	2,152	0,257	1,354	0,996	0,996	2,484	0,221	1,553	1,011	1,011
	600	0,919	0,569	0,811	0,811	0,970	1,300	0,443	0,898	0,898	0,972	1,839	0,295	1,139	0,957	0,957	2,252	0,242	1,399	0,990	0,990	2,600	0,208	1,600	1,002	1,002
	700	0,935	0,555	0,800	0,800	0,930	1,322	0,430	0,893	0,893	0,947	1,869	0,289	1,151	0,955	0,955	2,289	0,237	1,417	0,989	0,989	2,643	0,203	1,618	1,000	1,000
	800	0,824	0,651	0,865	0,865	0,977	1,166	0,523	0,924	0,924	0,989	1,648	0,345	1,068	0,985	0,985	2,019	0,275	1,280	0,994	0,994	2,331	0,238	1,472	1,012	1,012
L ₄	20/100	0,982	0,695	1,040	1,040	1,040	1,389	0,463	1,038	1,038	1,038	1,964	0,299	1,315	1,045	1,045	2,405	0,238	1,572	1,052	1,052	2,777	0,199	1,754	1,039	1,039
	200	0,976	0,636	0,947	0,947	1,004	1,381	0,420	0,933	0,933	0,943	1,953	0,277	1,204	0,962	0,962	2,392	0,221	1,441	0,969	0,969	2,762	0,184	1,597	0,950	0,950
	300	0,970	0,626	0,928	0,928	1,038	1,371	0,442	0,972	0,972	1,002	1,939	0,290	1,244	1,000	1,000	2,375	0,234	1,505	1,018	1,018	2,742	0,198	1,694	1,014	1,014
	400	0,946	0,576	0,838	0,838	0,980	1,338	0,434	0,919	0,919	0,973	1,892	0,288	1,177	0,966	0,966	2,318	0,235	1,439	0,994	0,994	2,676	0,200	1,633	0,998	0,998
	500	0,923	0,599	0,855	0,855	1,025	1,305	0,453	0,924	0,924	1,000	1,846	0,299	1,160	0,972	0,972	2,261	0,242	1,412	0,996	0,996	2,610	0,207	1,608	1,004	1,004
	600	0,966	0,551	0,814	0,814	0,964	1,366	0,416	0,908	0,908	0,962	1,932	0,279	1,189	0,959	0,959	2,366	0,228	1,457	0,989	0,989	2,732	0,194	1,651	0,991	0,991
	700	0,982	0,536	0,803	0,803	0,925	1,389	0,404	0,905	0,905	0,941	1,964	0,274	1,203	0,956	0,956	2,405	0,224	1,475	0,987	0,987	2,777	0,184	1,620	0,959	0,959
	800	0,866	0,633	0,866	0,866	0,973	1,225	0,493	0,924	0,924	0,977	1,732	0,324	1,107	0,979	0,979	2,121	0,260	1,337	0,995	0,995	2,449	0,231	1,578	1,040	1,040
L ₅	20/100	1,027	0,663	1,031	1,031	1,031	1,453	0,434	1,050	1,050	1,050	2,055	0,284	1,365	1,044	1,044	2,516	0,225	1,622	1,045	1,045	2,906	0,186	1,790	1,021	1,021
	200	1,022	0,605	0,937	0,937	0,989	1,445	0,394	0,944	0,944	0,946	2,043	0,263	1,250	0,961	0,961	2,502	0,207	1,482	0,959	0,959	2,890	0,170	1,623	0,929	0,929
	300	1,014	0,603	0,928	0,928																					

Tabela 8.35: Tensões últimas numéricas e suas estimativas via MRD sobre a coluna WFSC₅ com σ_{y20} =75, 150, 300, 450 e 600 MPa e T=20/100 a T=800 °C

L	T (°C)	$\sigma_{y20}=75 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=150 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=300 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=450 \text{ MPa}$					$\sigma_{y20}=600 \text{ MPa}$				
		$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT}^*}$	$\lambda_{FT.T}$	$\frac{f_{uT}}{\sigma_{yT}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nG.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{nFT.T}}$	$\frac{f_{uT}}{f_{uT}^*}$
L ₁	20/100	0,653	0,884	1,056	1,056	1,056	0,924	0,764	1,092	1,092	1,092	1,307	0,509	1,039	1,039	1,039	1,600	0,371	1,084	1,041	1,041	1,848	0,302	1,174	1,033	1,033
	200	0,650	0,817	0,975	0,975	1,061	0,919	0,700	0,997	0,997	1,062	1,299	0,461	0,934	0,934	0,954	1,591	0,338	0,975	0,940	0,940	1,837	0,277	1,066	0,941	0,941
	300	0,645	0,756	0,899	0,899	1,053	0,912	0,681	0,965	0,965	1,089	1,290	0,493	0,989	0,989	1,039	1,580	0,365	1,039	1,006	1,006	1,825	0,299	1,134	1,006	1,006
	400	0,630	0,689	0,813	0,813	1,004	0,890	0,627	0,873	0,873	1,032	1,259	0,486	0,944	0,944	1,023	1,542	0,370	1,002	0,985	0,985	1,781	0,303	1,097	0,987	0,987
	500	0,614	0,707	0,827	0,827	1,051	0,868	0,647	0,887	0,887	1,077	1,228	0,507	0,952	0,952	1,055	1,504	0,386	0,994	0,992	0,992	1,737	0,315	1,083	0,989	0,989
	600	0,643	0,668	0,794	0,794	1,000	0,909	0,603	0,853	0,853	1,023	1,285	0,467	0,932	0,932	1,012	1,574	0,356	1,005	0,976	0,976	1,818	0,293	1,106	0,982	0,982
	700	0,653	0,657	0,785	0,785	0,958	0,924	0,590	0,844	0,844	0,983	1,307	0,454	0,927	0,927	0,987	1,600	0,346	1,011	0,971	0,971	1,848	0,312	1,215	1,069	1,069
	800	0,576	0,730	0,839	0,839	0,974	0,815	0,678	0,895	0,895	1,012	1,152	0,550	0,959	0,959	1,029	1,411	0,427	0,982	0,982	0,999	1,630	0,345	1,045	0,993	0,993
L ₂	20/100	0,711	0,858	1,060	1,060	1,060	1,006	0,705	1,076	1,076	1,076	1,422	0,449	1,047	1,047	1,047	1,742	0,333	1,153	1,051	1,051	2,011	0,275	1,266	1,058	1,058
	200	0,707	0,792	0,976	0,976	1,059	1,000	0,643	0,977	0,977	1,034	1,414	0,407	0,940	0,940	0,946	1,732	0,305	1,045	0,956	0,956	2,000	0,253	1,152	0,966	0,966
	300	0,702	0,736	0,904	0,904	1,052	0,993	0,640	0,967	0,967	1,077	1,404	0,437	0,996	0,996	1,019	1,720	0,328	1,106	1,016	1,016	1,986	0,272	1,223	1,030	1,030
	400	0,685	0,668	0,813	0,813	0,996	0,969	0,594	0,880	0,880	1,024	1,370	0,435	0,954	0,954	1,001	1,678	0,331	1,063	0,992	0,992	1,938	0,276	1,180	1,008	1,008
	500	0,668	0,687	0,829	0,829	1,044	0,945	0,615	0,894	0,894	1,067	1,336	0,453	0,958	0,958	1,026	1,637	0,344	1,052	0,996	0,996	1,890	0,286	1,164	1,010	1,010
	600	0,699	0,645	0,791	0,791	0,988	0,989	0,570	0,858	0,858	1,011	1,399	0,417	0,946	0,946	0,991	1,713	0,320	1,070	0,986	0,986	1,978	0,267	1,191	1,004	1,004
	700	0,711	0,633	0,782	0,782	0,945	1,006	0,556	0,850	0,850	0,973	1,422	0,406	0,946	0,946	0,974	1,742	0,312	1,079	0,984	0,984	2,011	0,261	1,201	1,003	1,003
	800	0,627	0,713	0,841	0,841	0,971	0,887	0,649	0,902	0,902	1,010	1,254	0,496	0,958	0,958	1,008	1,536	0,351	0,944	0,930	0,930	1,774	0,301	1,078	0,973	0,973
L ₃	20/100	0,767	0,830	1,062	1,062	1,062	1,085	0,646	1,057	1,057	1,057	1,535	0,402	1,080	1,064	1,064	1,880	0,304	1,225	1,066	1,066	2,170	0,252	1,354	1,079	1,079
	200	0,763	0,764	0,975	0,975	1,053	1,079	0,587	0,956	0,956	1,003	1,526	0,365	0,970	0,960	0,960	1,869	0,280	1,116	0,975	0,975	2,158	0,232	1,230	0,984	0,984
	300	0,758	0,716	0,910	0,910	1,051	1,072	0,597	0,965	0,965	1,060	1,515	0,391	1,024	1,017	1,017	1,856	0,299	1,176	1,032	1,032	2,143	0,249	1,304	1,048	1,048
	400	0,739	0,648	0,815	0,815	0,990	1,046	0,560	0,886	0,886	1,013	1,479	0,391	0,977	0,977	0,991	1,811	0,302	1,128	1,004	1,004	2,091	0,253	1,259	1,027	1,027
	500	0,721	0,669	0,831	0,831	1,038	1,020	0,582	0,899	0,899	1,054	1,442	0,408	0,974	0,974	1,007	1,767	0,313	1,113	1,007	1,007	2,040	0,262	1,242	1,028	1,028
	600	0,755	0,623	0,791	0,791	0,979	1,068	0,538	0,867	0,867	1,002	1,510	0,376	0,978	0,973	0,973	1,849	0,292	1,137	1,000	1,000	2,135	0,244	1,271	1,023	1,023
	700	0,767	0,611	0,781	0,781	0,936	1,085	0,523	0,856	0,856	0,964	1,535	0,366	0,983	0,969	0,969	1,880	0,285	1,147	0,998	0,998	2,170	0,239	1,282	1,022	1,022
	800	0,677	0,697	0,844	0,844	0,970	0,957	0,618	0,907	0,907	1,005	1,354	0,448	0,965	0,965	0,994	1,658	0,342	1,070	1,006	1,006	1,914	0,285	1,190	1,025	1,025
L ₄	20/100	0,822	0,798	1,059	1,059	1,059	1,163	0,591	1,040	1,040	1,040	1,644	0,365	1,126	1,064	1,064	2,014	0,280	1,297	1,082	1,082	2,326	0,232	1,433	1,095	1,095
	200	0,818	0,734	0,971	0,971	1,044	1,156	0,536	0,939	0,939	0,976	1,635	0,334	1,018	0,965	0,965	2,003	0,259	1,183	0,991	0,991	2,313	0,213	1,299	0,996	0,996
	300	0,812	0,694	0,915	0,915	1,049	1,148	0,553	0,961	0,961	1,040	1,624	0,356	1,070	1,019	1,019	1,989	0,276	1,245	1,047	1,047	2,296	0,230	1,382	1,064	1,064
	400	0,792	0,629	0,819	0,819	0,986	1,120	0,527	0,891	0,891	1,000	1,585	0,356	1,020	0,986	0,986	1,941	0,278	1,192	1,018	1,018	2,241	0,233	1,333	1,042	1,042
	500	0,773	0,651	0,835	0,835	1,033	1,093	0,548	0,904	0,904	1,040	1,546	0,371	1,010	0,991	0,991	1,893	0,288	1,176	1,019	1,019	2,186	0,241	1,314	1,043	1,043
	600	0,809	0,604	0,794	0,794	0,972	1,144	0,504	0,872	0,872	0,988	1,618	0,343	1,024	0,977	0,977	1,981	0,266	1,191	1,004	1,004	2,288	0,225	1,344	1,038	1,038
	700	0,822	0,590	0,783	0,783	0,930	1,163	0,491	0,865	0,865	0,956	1,644	0,334	1,031	0,974	0,974	2,014	0,262	1,213	1,012	1,012	2,326	0,220	1,356	1,036	1,036
	800	0,725	0,680	0,848	0,848	0,969	1,025	0,587	0,911	0,911	0,999	1,450	0,407	0,982	0,982	0,990	1,776	0,313	1,127	1,015	1,015	2,051	0,263	1,260	1,040	1,040
L ₅	20/100	0,875	0,765	1,055	1,055	1,055	1,238	0,542	1,029	1,029	1,029	1,751	0,337	1,176	1,070	1,070	2,144	0,260	1,364	1,095	1,095	2,476	0,215	1,500	1,103	1,103
	200	0,871	0,702	0,964	0,964	1,032	1,231	0,492	0,928	0,928	0,956	1,741	0,309	1,070	0,976	0,976	2,132	0,240	1,243	1,002	1,002	2,462	0,196	1,355	1,000	1,000
	300	0,864	0,672	0,919	0,919	1,045	1,222	0,513																		