

**CONSTRU
METAL**
2023

2 1 s e t
8 h - 21 h
allianz parque
são paulo - sp

CONTRIBUIÇÕES TECNOCIENTÍFICAS

REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO/PROMOÇÃO

Francal Feiras DESDE 1969

Dimensionamento de colunas de aço formadas a frio sob modo de falha distorcional e condições de incêndio


Fernanda CMS Costa - DAU/IT - UFRRJ

Alexandre Landesmann - PEC/COPPE - UFRJ

Dinar Camotim - DECivil/IST - ULisboa



Entretanto, sob condições de incêndio...

- Redução significativa da resistência
- Perda de rigidez
- Comportamento estrutural complexo
- Pesquisa ainda escassa (sobre PFF )

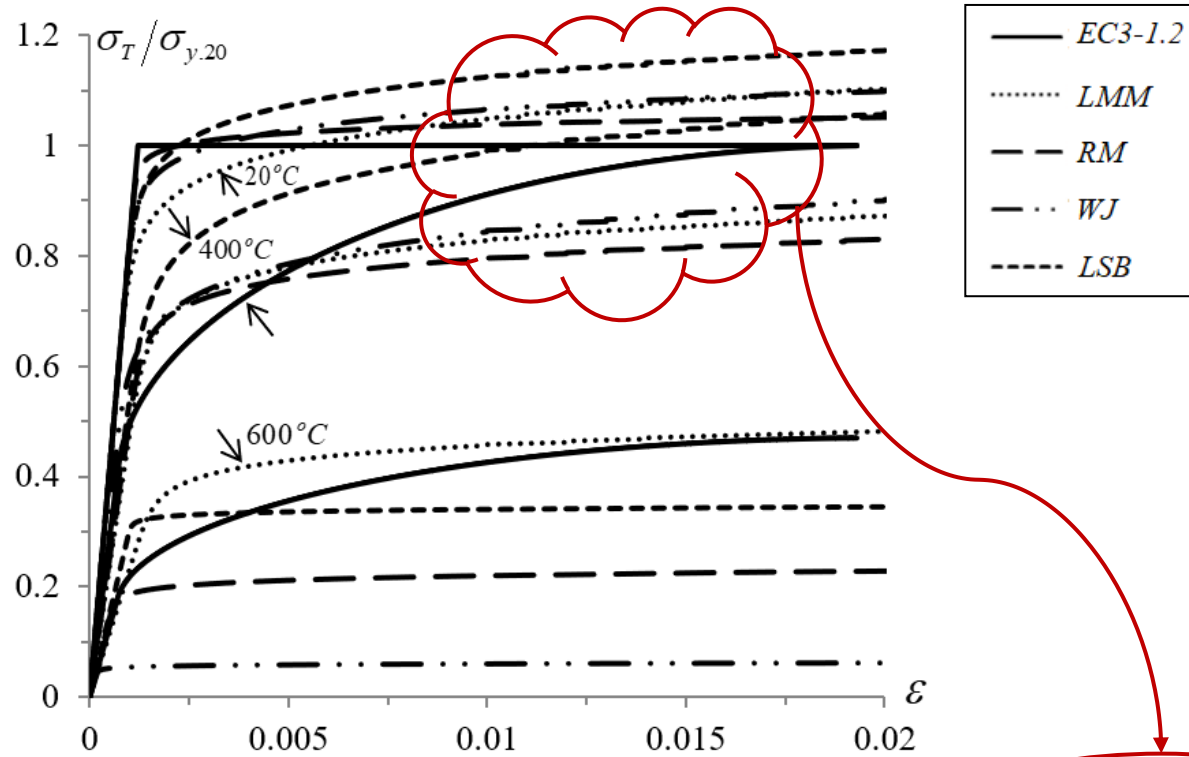
Perfil formado a frio (PFF)

- Versatilidade
- Menor custo
- Diferentes sistemas construtivos
- Rapidez na execução

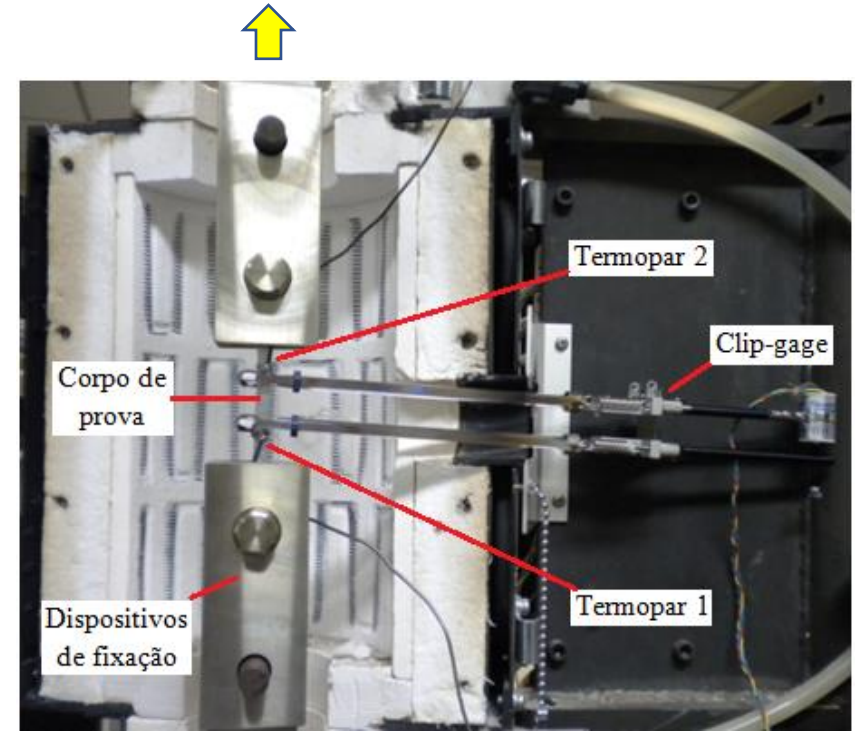


Motivação

Diferentes modelos constitutivos sob altas temperaturas



**Forte influência na
RESISTÊNCIA ÚLTIMA
das colunas PFF**



Campanha experimental

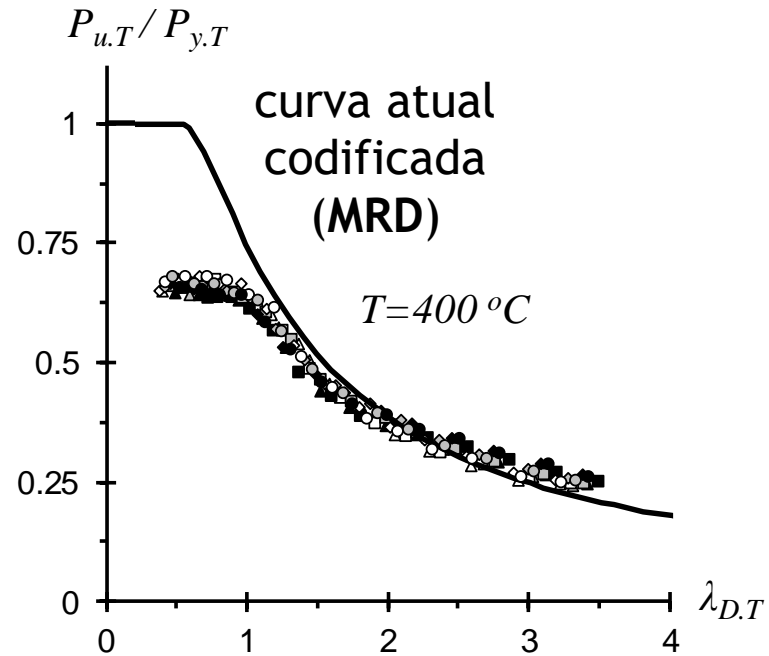
Motivação

Análises Numéricas
(ANSYS)

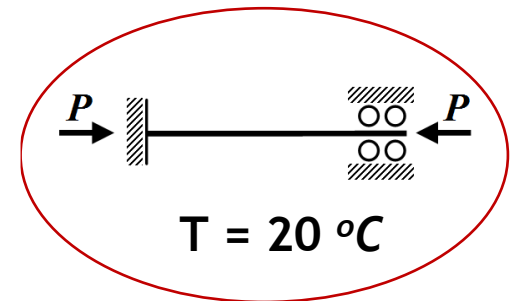


Deficiências:

- Poucas análises com colunas curtas
- Resultados superestimados para $T > 20/100 \text{ } ^\circ\text{C}$
- Desconsideração da existência de diferentes curvas $\sigma_T - \epsilon_T$



**Atual MRD
escopo limitado**

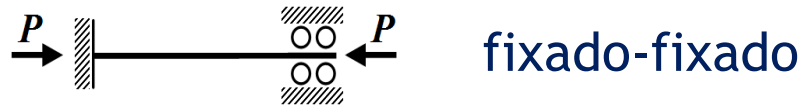


Como melhorar a previsão da resistência última de colunas PFF pelo MRD considerando altas temperaturas?

Objetivo

Expandir o estudo com novas análises numéricas, ampliando o escopo

colunas:



3 geometrias de perfil U enrijecido

$T = 20/100 \rightarrow$ 800 °C modelo constitutivo EC3-1.2 para PFF

$\lambda_{D.T}$ cobrindo a faixa de 0.1 a 3.5

Adequação do MRD através de modificações nas curvas

Escopo

1. Seleção de colunas (GBTUL)



2. Análise Numérica (ANSYS)



**Análises não-lineares física e geométrica
com elementos finitos de casca**

3. Abordagem segundo MRD



4. Considerações finais

Identificação de PFF que apresentem comportamento de flambagem sob modo de falha “puramente” distorcional

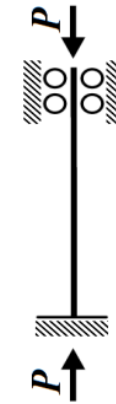
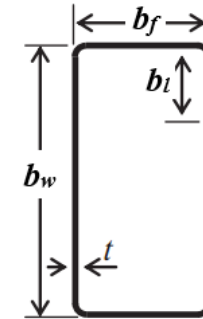
Comportamento de pós-flambagem
Resultados de resistência última
Sob temperaturas ambiente e elevadas

Desenvolvimento de novas curvas (equações) para abranger:

- $T > 100 \text{ } ^\circ\text{C}$
- condições de apoio F
- colunas curtas ($\lambda_{D,T} < 1$)

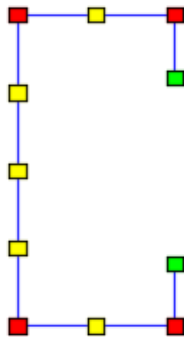
Seleção de colunas

Tipo de coluna { Perfil U enrijecido (Lipped channel)
Fixado-fixado

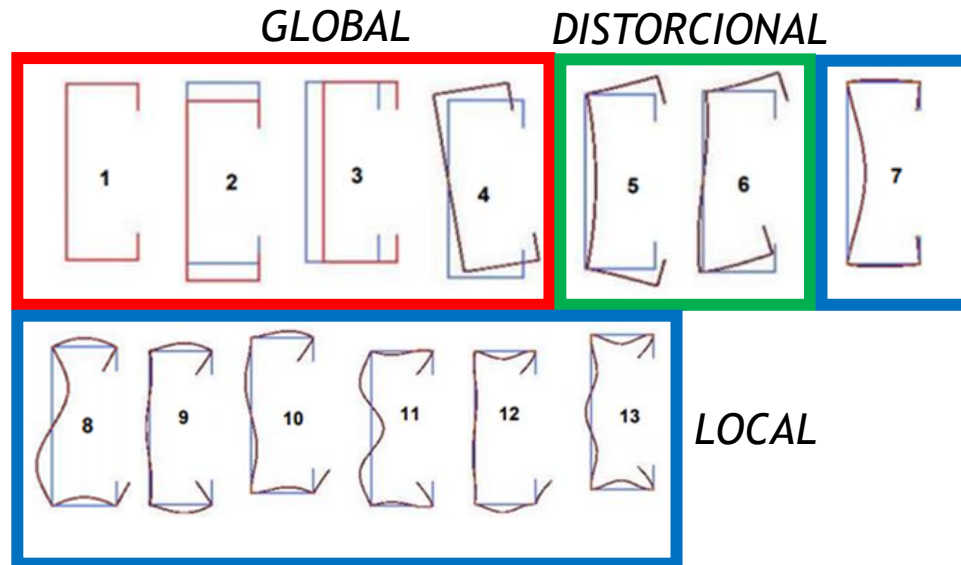


Análises de flambagem: **GBTul - Generalized Beam Theory**

Modos de Flambagem



$$N_d = (n) + 1 + (m)$$



modos de deformação

Seleção de colunas

Critérios:

Predominância do modo distorcional “puro” ($P_{cr.D.20} \ll P_{cr}$ local e global)

Diferentes proporções alma/mesa ($b_w/b_f \approx 1.4 - 1.0 - 0.7$)



Comprimentos das colunas - modo de flambagem com meia-onda

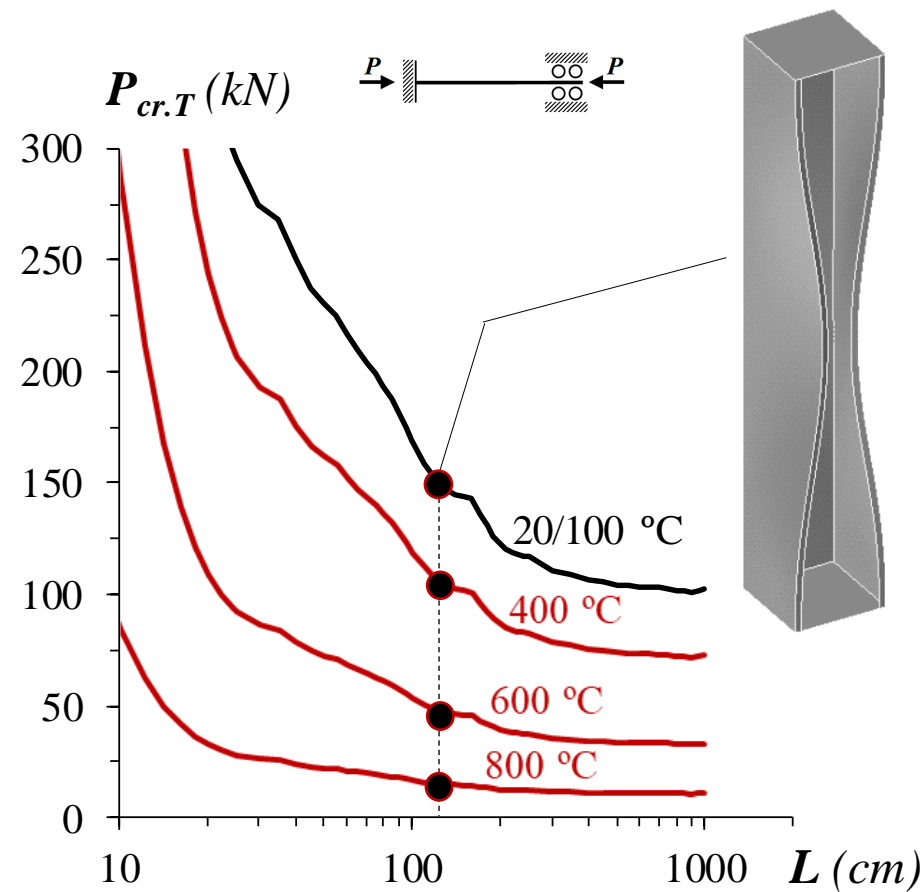
Comportamentos de flambagem e pós-flambagem “puramente” distorcionais

Interação sendo evitada: $P_{cr.D.20} \ll P_{cr.L}$ e $P_{cr.G}$

Colunas <i>Ue</i>	Fixo-fixo (F)			
	<i>L_D</i> (cm)	<i>P_{cr.D.20}</i> (kN)	$\frac{P_{cr.L}}{P_{cr.D.20}}$	$\frac{P_{cr.G}}{P_{cr.D.20}}$
C200x140	110	214.8	1.25	32.18
C200x200	120	151.8	1.50	50.72
C200x280	130	107.7	1.54	77.00

Produto final:

Curvas de assinatura
(carga crítica de flambagem x L)



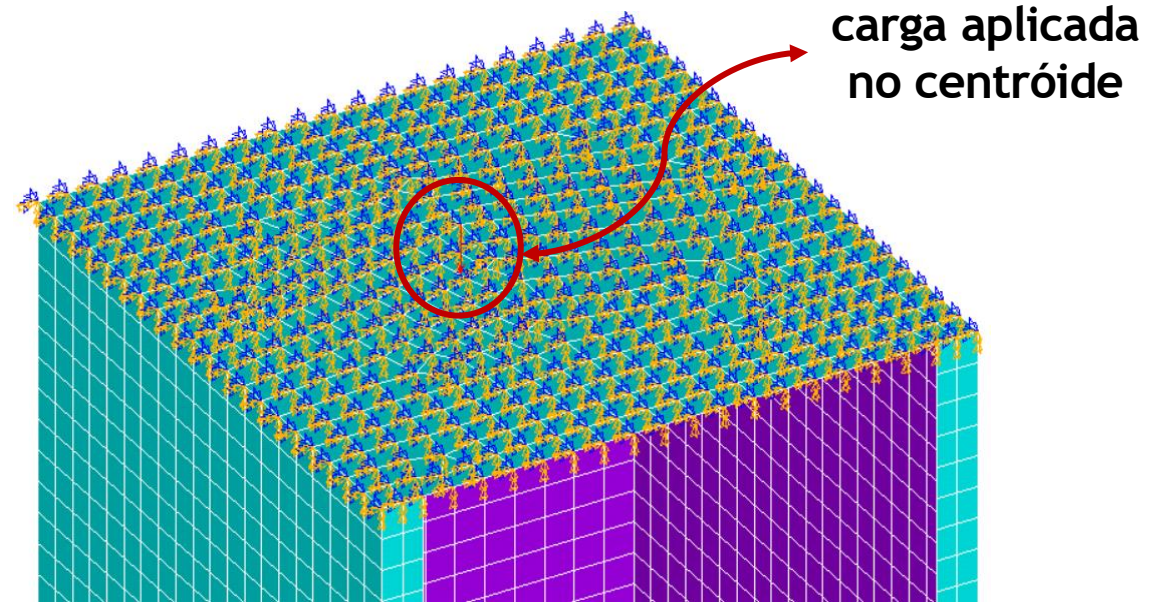
- Observações:
- ✓ comprimento e modo de flambagem distorcional com 1 meia-onda
 - ✓ Para altas temperaturas | “translação vertical” das curvas de assinatura
cargas críticas associadas ao mesmo L_D

Modelo Numérico

ANSYS Shell 181: { 4 nós para cada elemento finito de casca
6 graus de liberdade por nó

Método de Newton-Raphson → estratégia de controle de comprimento do arco (arc-length)

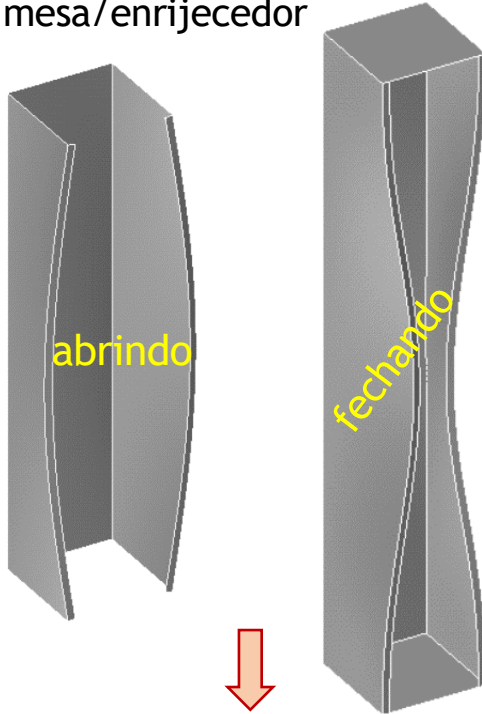
Deslocamentos e rotações restringidos (L/G)
Deslocamento axial livre



Imperfeições iniciais

10% da espessura das paredes do PFF

Movimento da região
mesa/enrijecedor



Conduzindo às menores
resistências de pós-flambagem

Análise não-linear física e geométrica

Regime estacionário

1ª etapa

Temperatura uniforme
20/100 °C → 800 °C

2ª etapa

Compressão axial
até o colapso

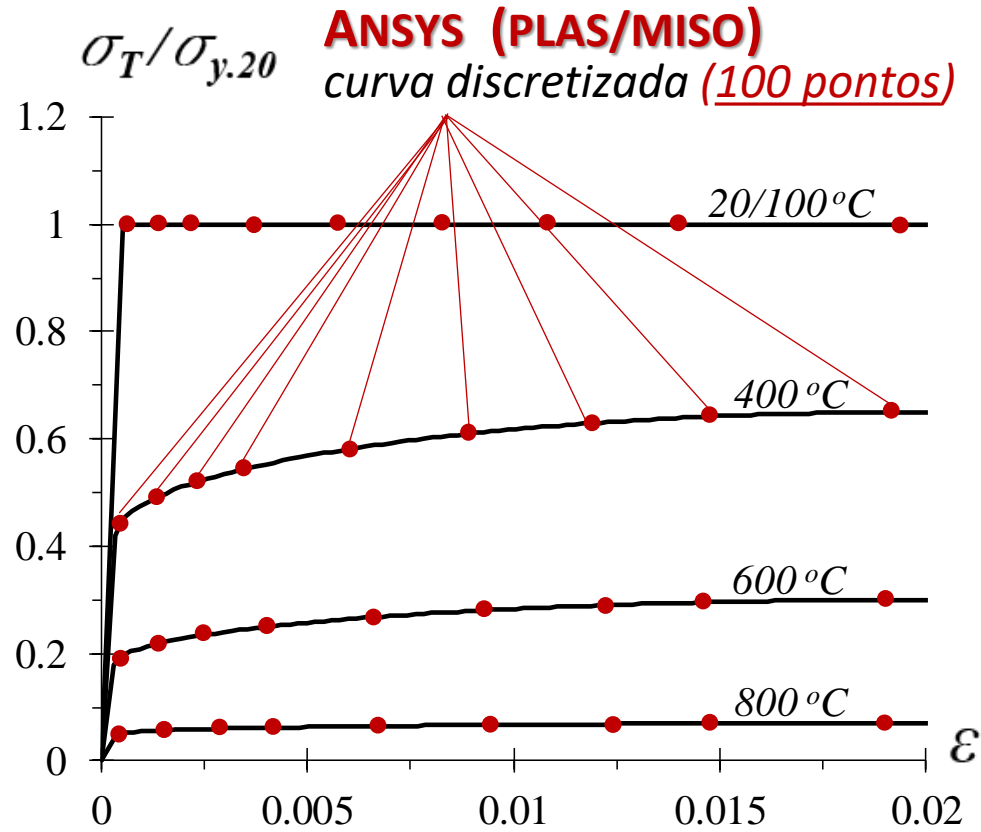


Carga última sob cada
temperatura constante

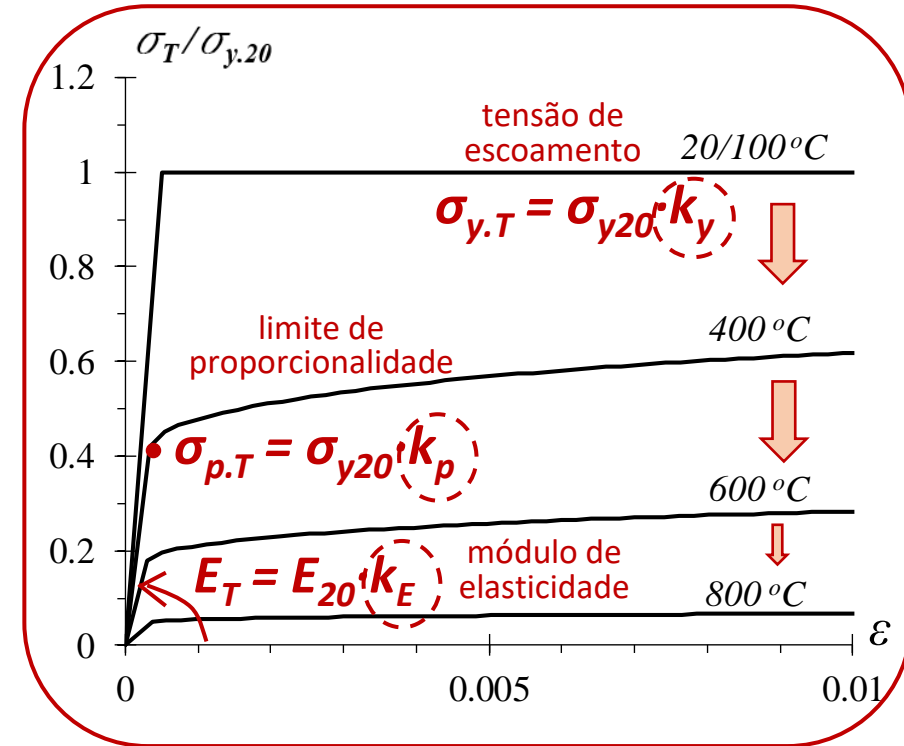
Modelo Numérico

Modelagem do aço de PFF

Curva tensão-deformação-temperatura multi-linear para material isotrópico, considerando o efeito da plasticidade



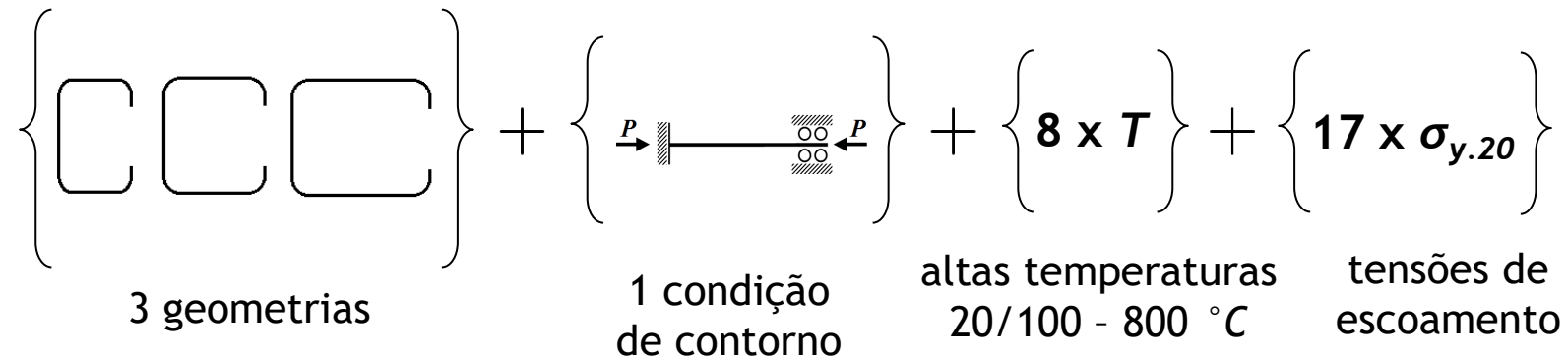
EC3-1.2 modelo constitutivo (analítico) para aço PFF



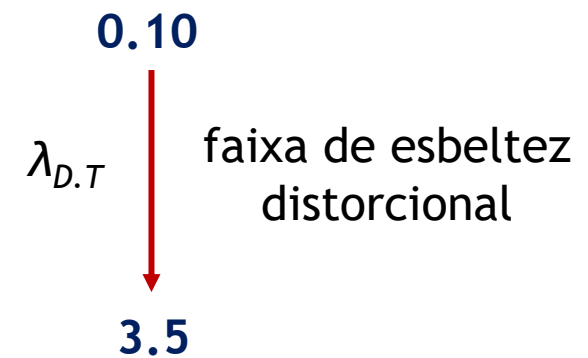
k_y - k_E - k_p listados no EC3 em função de T

Análise de Pós-flambagem Distorcional

Resultados de resistência última, envolvendo...

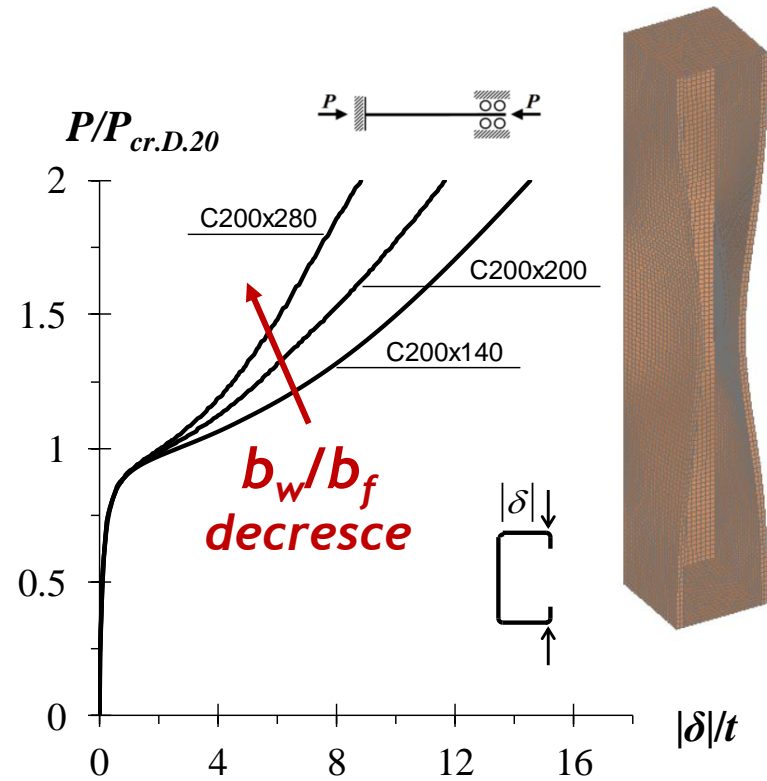


Total: 408 colunas

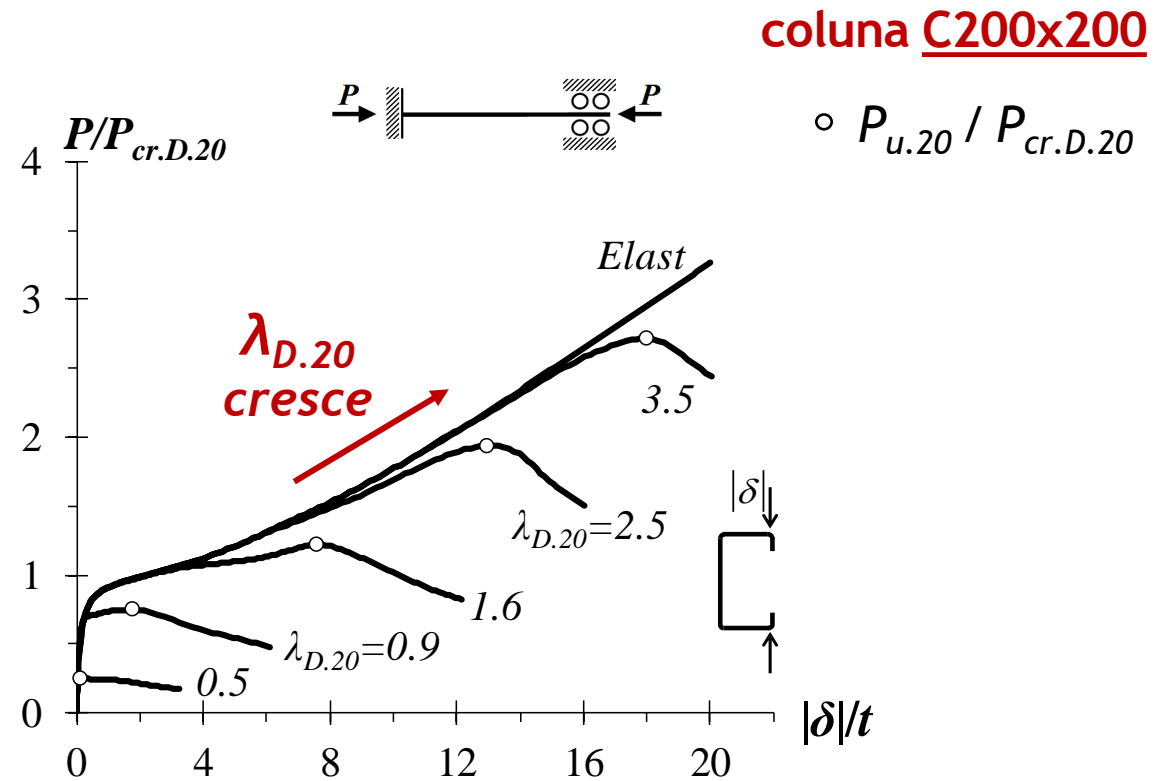


Análise de Pós-flambagem Distorcional

Comportamento de pós-flambagem elástica

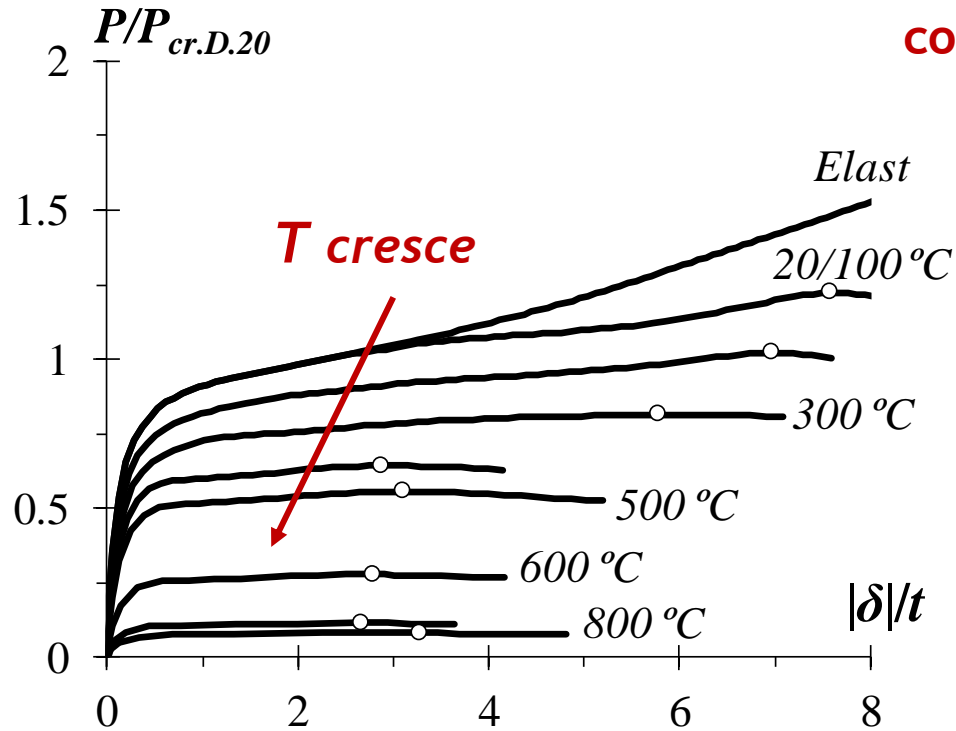


Comportamento de pós-flambagem elasto-plástica (temperatura ambiente)



Análise de Pós-flambagem Distorcional

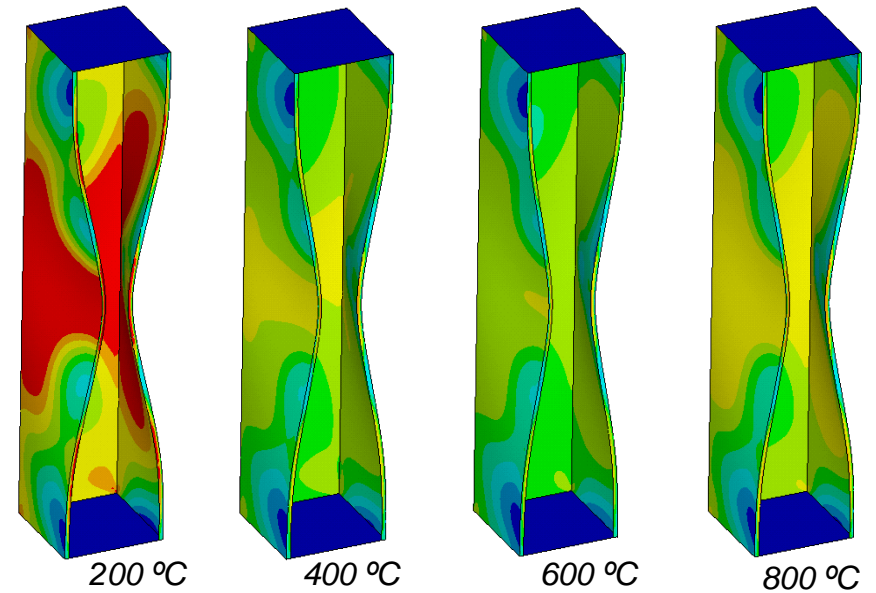
Comportamento de pós-flambagem elasto-plástica
(altas temperaturas)



coluna C200x200

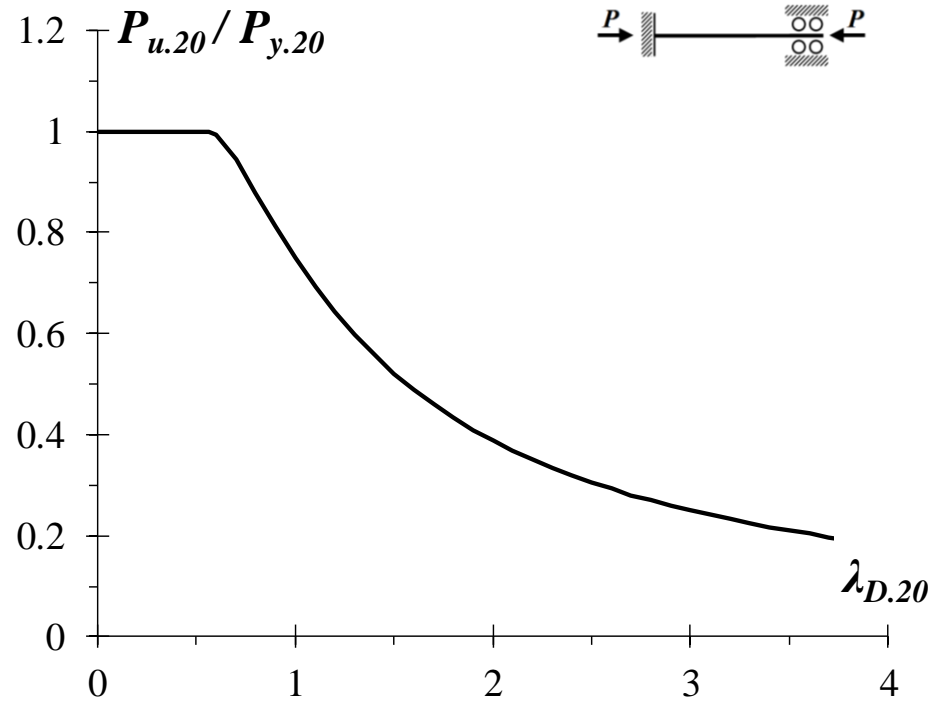
○ $P_{u.T} / P_{cr.D.T}$

von Mises
no colapso



Abordagem segundo MRD

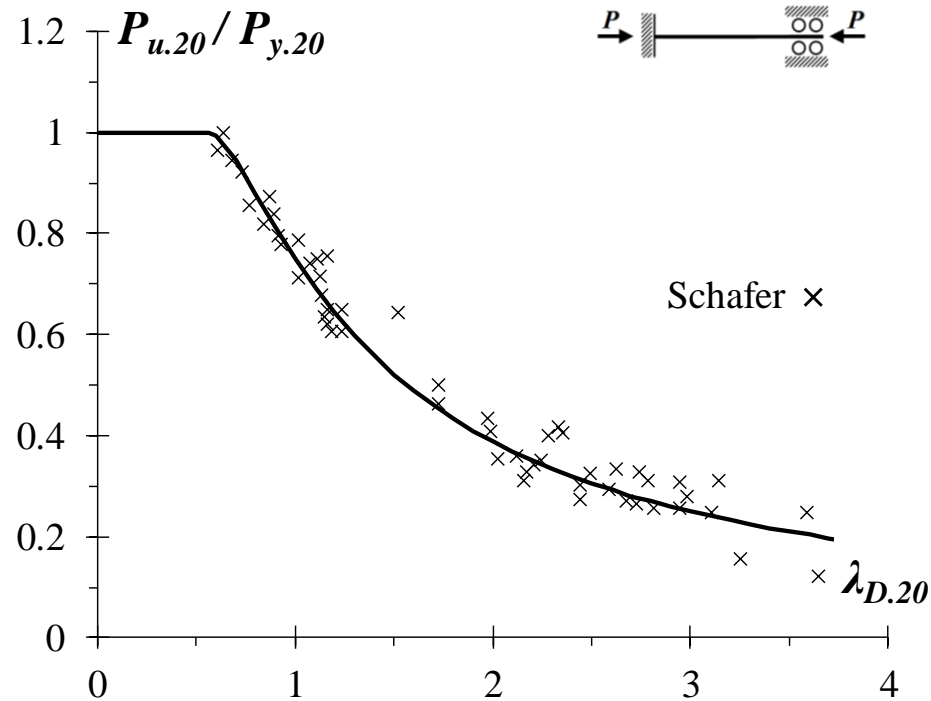
Atual curva codificada segundo MRD



$$P_{n.D.20} = \begin{cases} P_{y.20} & \text{for } \lambda_{D.20} \leq 0.561 \\ P_{y.20} \left[1 - 0.25 \left(\frac{P_{cr.D.20}}{P_{y.20}} \right)^{0.6} \right] \left(\frac{P_{cr.D.20}}{P_{y.20}} \right)^{0.6} & \text{for } \lambda_{D.20} > 0.561 \end{cases}$$

Abordagem segundo MRD

Atual curva codificada segundo MRD



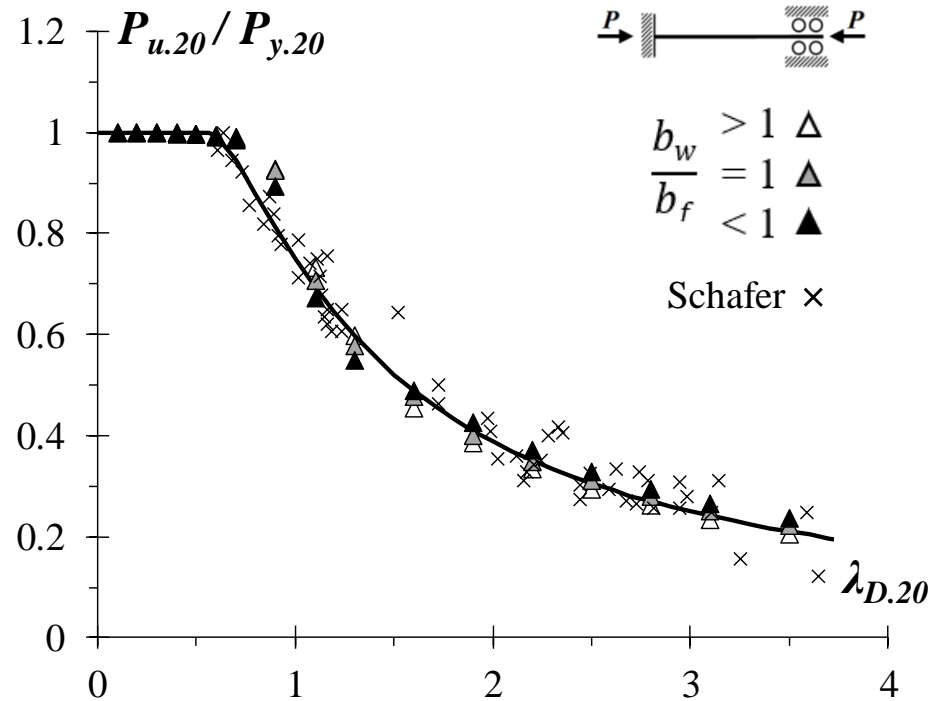
Observações:

- ✓ Schafer (2008): resultados experimentais utilizados para desenvolver/calibrar a curva MRD

$$P_{n.D.20} = \begin{cases} P_{y.20} & \text{for } \lambda_{D.20} \leq 0.561 \\ P_{y.20} \left[1 - 0.25 \left(\frac{P_{cr.D.20}}{P_{y.20}} \right)^{0.6} \right] \left(\frac{P_{cr.D.20}}{P_{y.20}} \right)^{0.6} & \text{for } \lambda_{D.20} > 0.561 \end{cases}$$

Abordagem segundo MRD

Atual curva codificada segundo MRD



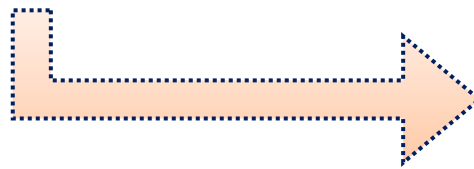
Observações:

- ✓ Schafer (2008): resultados experimentais utilizados para desenvolver/calibrar a curva MRD
- ✓ Resultados numéricos coerentes com a curva (boa precisão para temperatura ambiente)

$$P_{n.D.20} = \begin{cases} P_{y.20} & \text{for } \lambda_{D.20} \leq 0.561 \\ P_{y.20} \left[1 - 0.25 \left(\frac{P_{cr.D.20}}{P_{y.20}} \right)^{0.6} \right] \left(\frac{P_{cr.D.20}}{P_{y.20}} \right)^{0.6} & \text{for } \lambda_{D.20} > 0.561 \end{cases}$$

Temperatura ambiente

$$P_{n.D.20} = \begin{cases} P_{y.20} & \text{for } \lambda_{D.20} \leq 0.561 \\ P_{y.20} \left[1 - 0.25 \left(\frac{P_{cr.D.20}}{P_{y.20}} \right)^{0.6} \right] \left(\frac{P_{cr.D.20}}{P_{y.20}} \right)^{0.6} & \text{for } \lambda_{D.20} > 0.561 \end{cases}$$



**Dependência da
temperatura**

Altas temperaturas

Abordagem explorada por alguns
autores, apenas para colunas fixadas

$$P_{n.D.T} = \begin{cases} P_{y.T} & \text{for } \lambda_{D.T} \leq 0.561 \\ P_{y.T} \left[1 - 0.25 \left(\frac{P_{cr.D.T}}{P_{y.T}} \right)^{0.6} \right] \left(\frac{P_{cr.D.T}}{P_{y.T}} \right)^{0.6} & \text{for } \lambda_{D.T} > 0.561 \end{cases}$$

modelo EC3

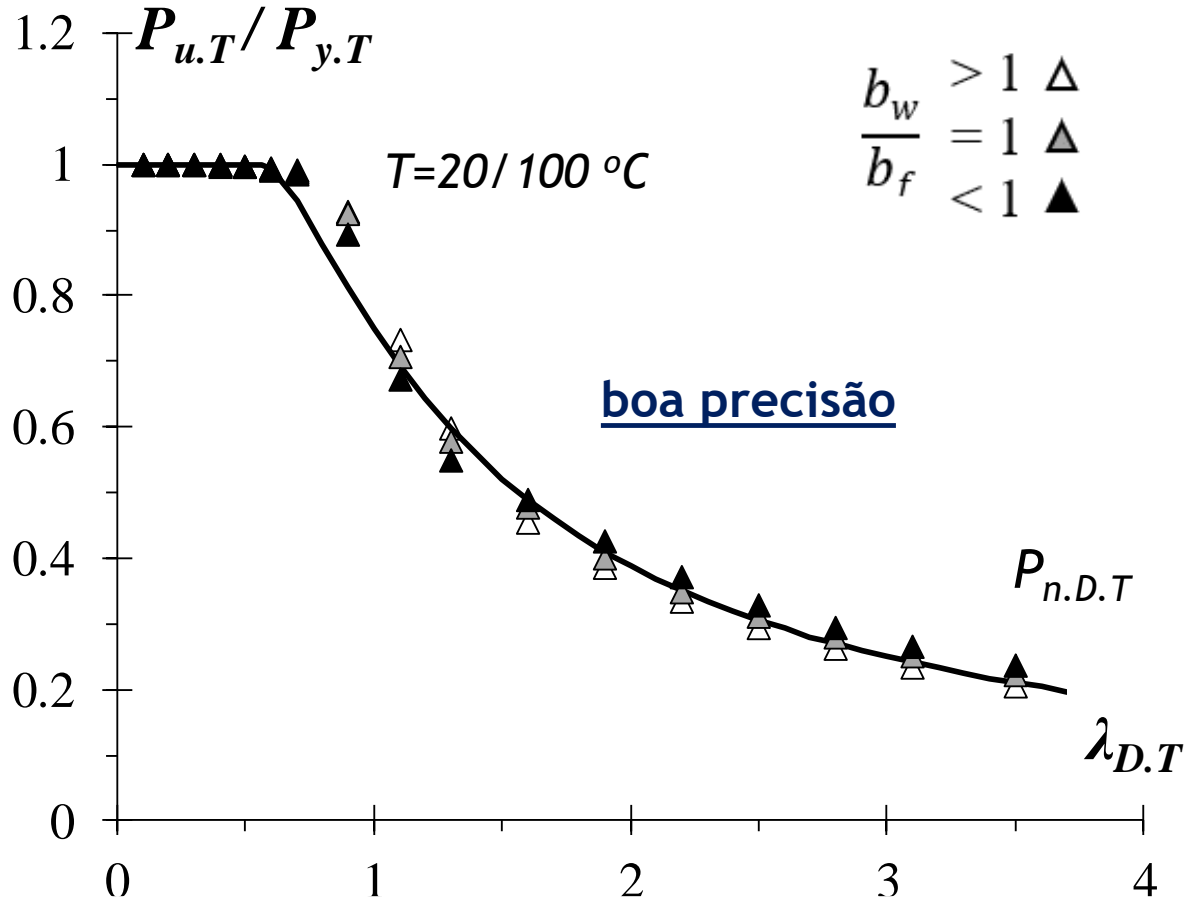
$$P_{y.T} = \sigma_{y.20} \cdot k_y$$

**carga associada
ao escoamento**

$$P_{cr.T} = P_{cr.20} \cdot k_E$$

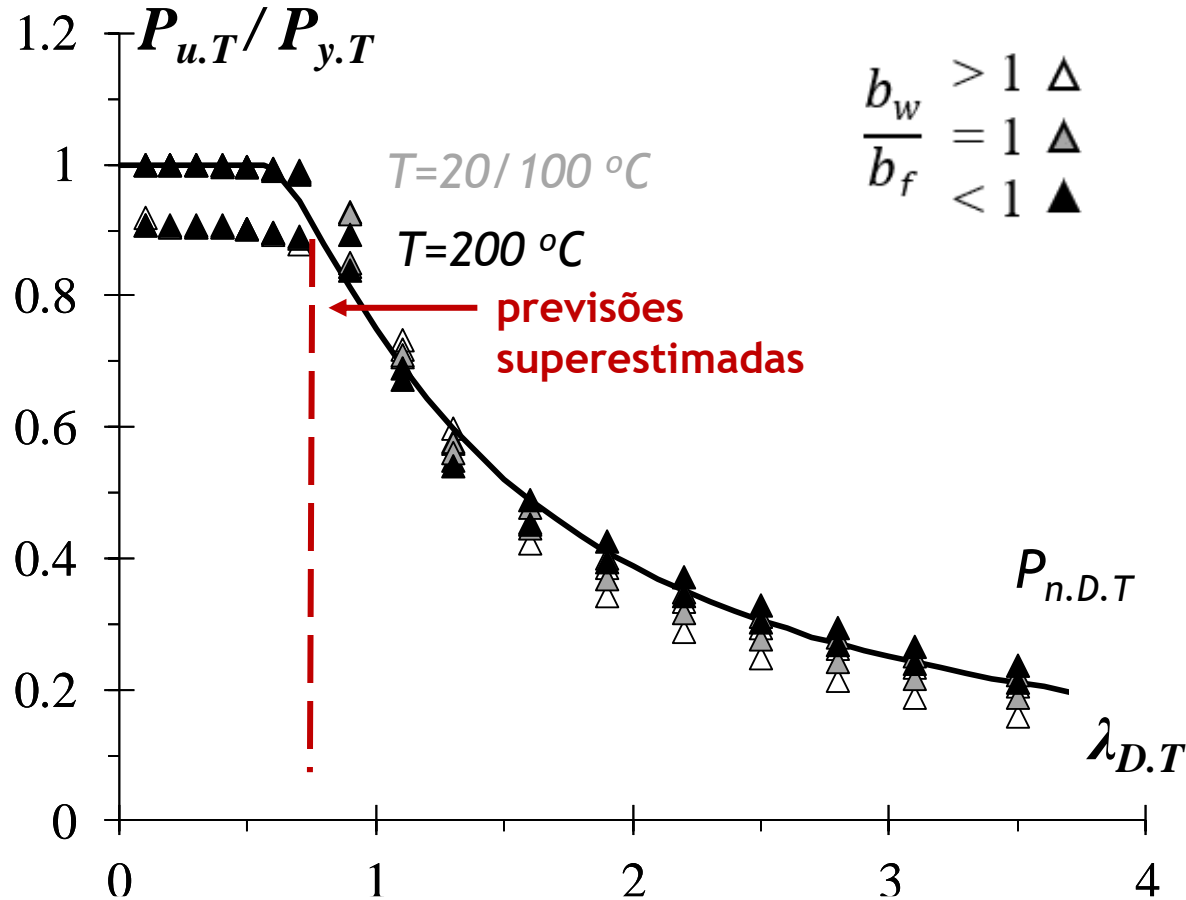
carga crítica

Curvas de resistência MRD para altas temperaturas



Temperatura ambiente

Curvas de resistência MRD para altas temperaturas



$b_w > 1$ \triangle
 $b_w = 1$ \triangle
 $b_w < 1$ \blacktriangle

Altas temperaturas

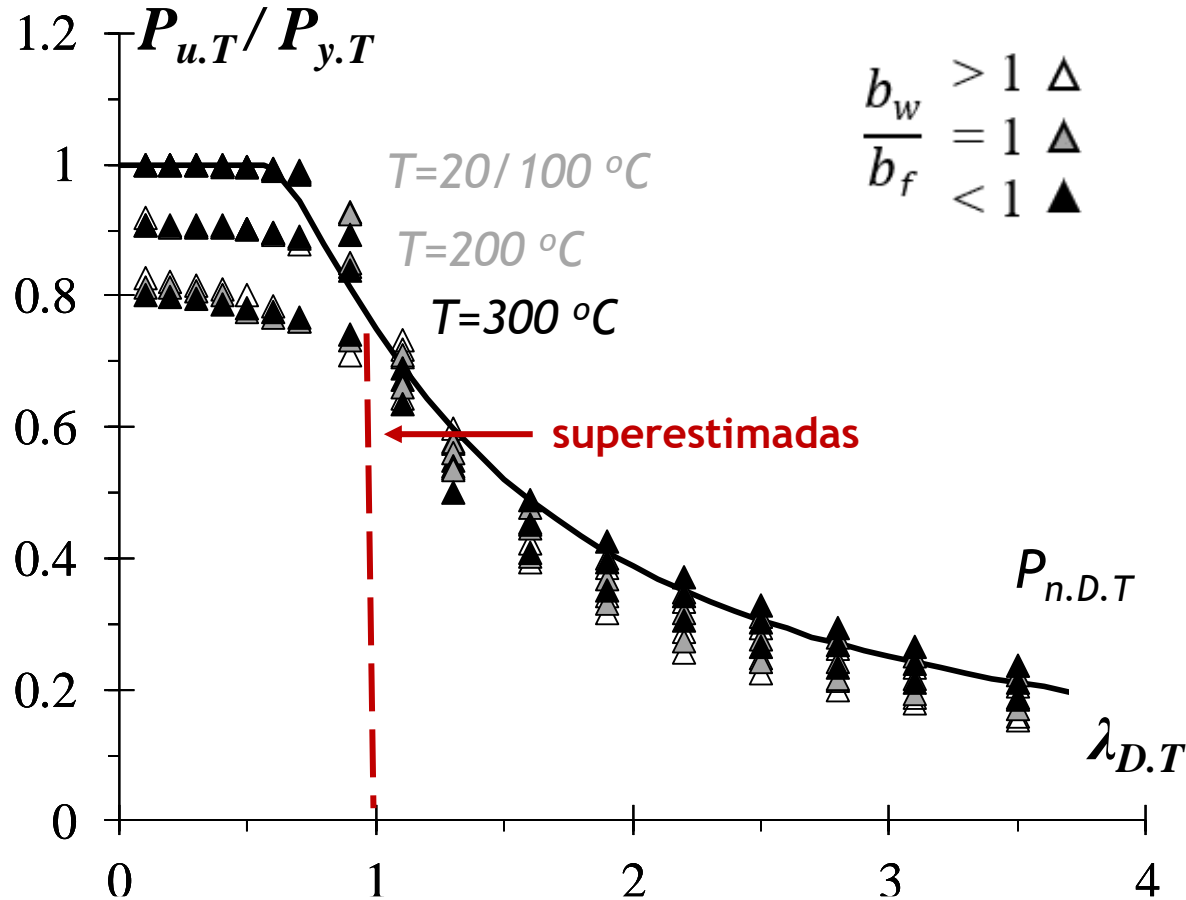
colunas com esbeltez baixa à moderada



superestimadas

$\lambda_{D.T}$ varia em função de T

Curvas de resistência MRD para altas temperaturas



Altas temperaturas

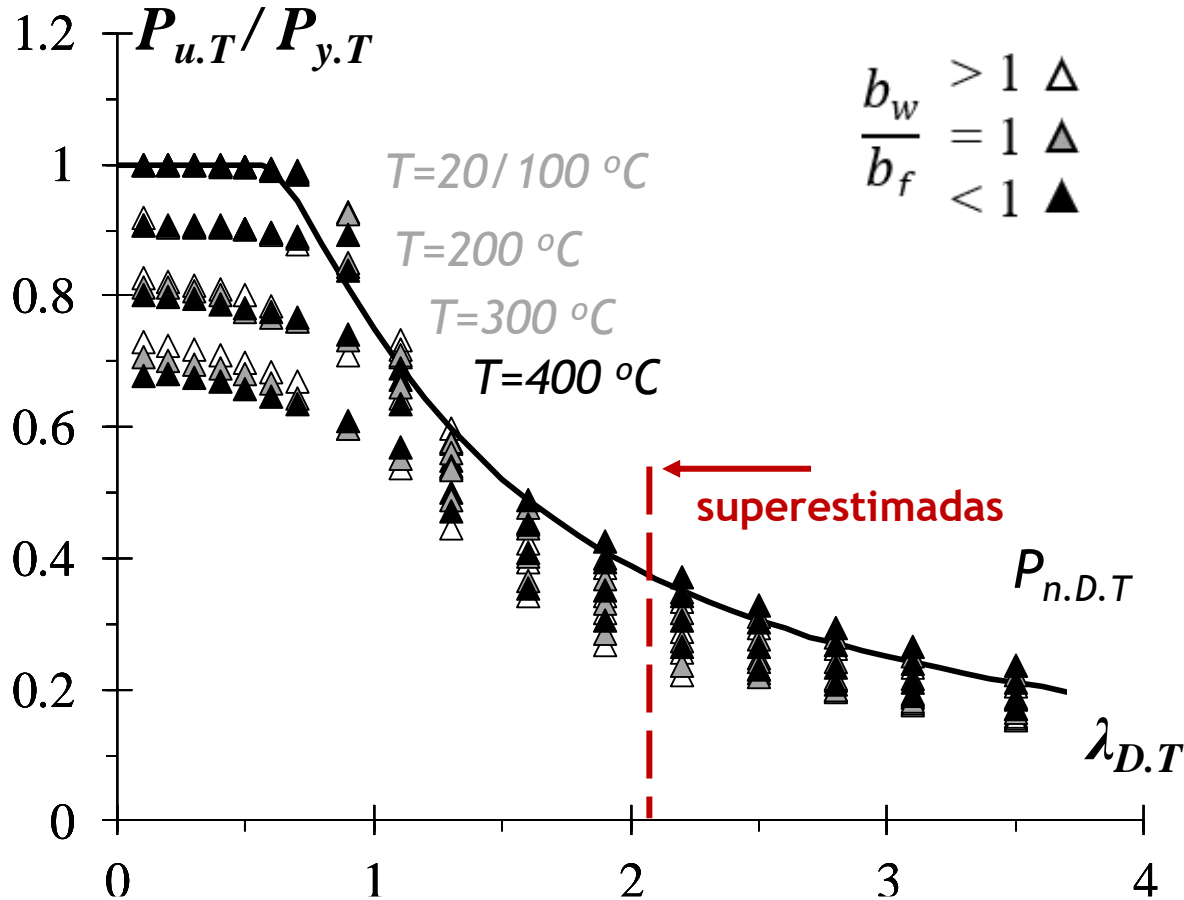
colunas com esbeltez baixa à moderada



superestimadas

$\lambda_{D.T}$ varia em função de T

Curvas de resistência MRD para altas temperaturas



Altas temperaturas

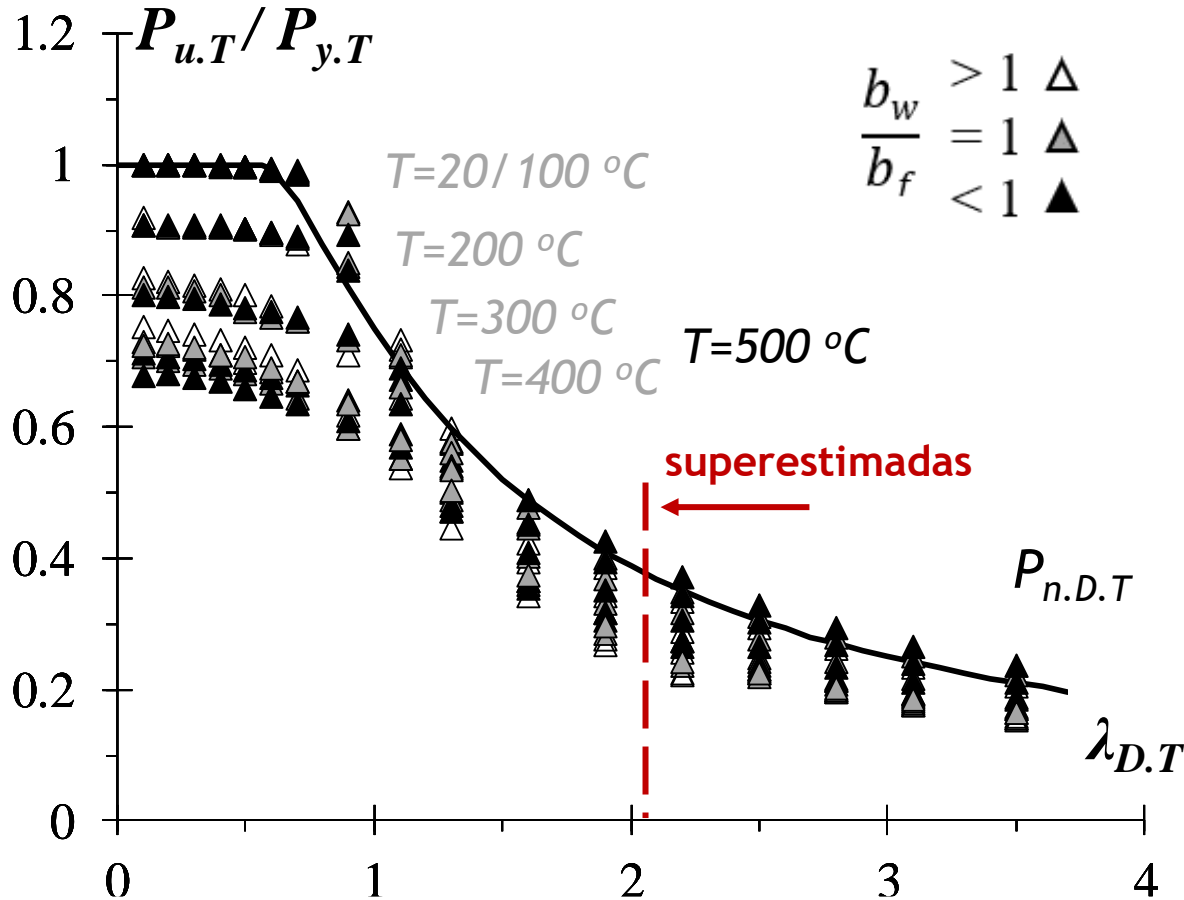
colunas com esbeltez baixa à moderada



superestimadas

$\lambda_{D.T}$ varia em função de T

Curvas de resistência MRD para altas temperaturas



Altas temperaturas

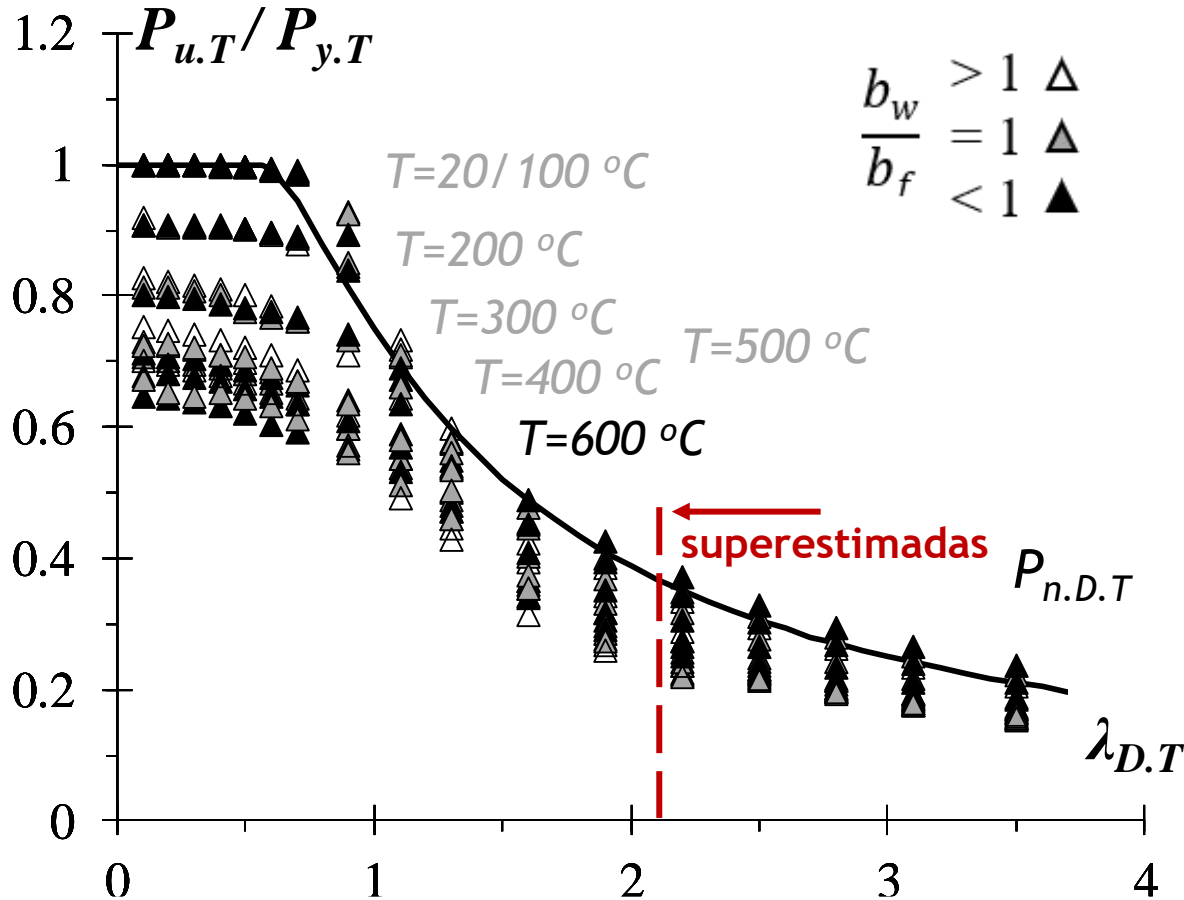
colunas com esbeltez baixa à moderada



superestimadas

$\lambda_{D.T}$ varia em função de T

Curvas de resistência MRD para altas temperaturas



Altas temperaturas

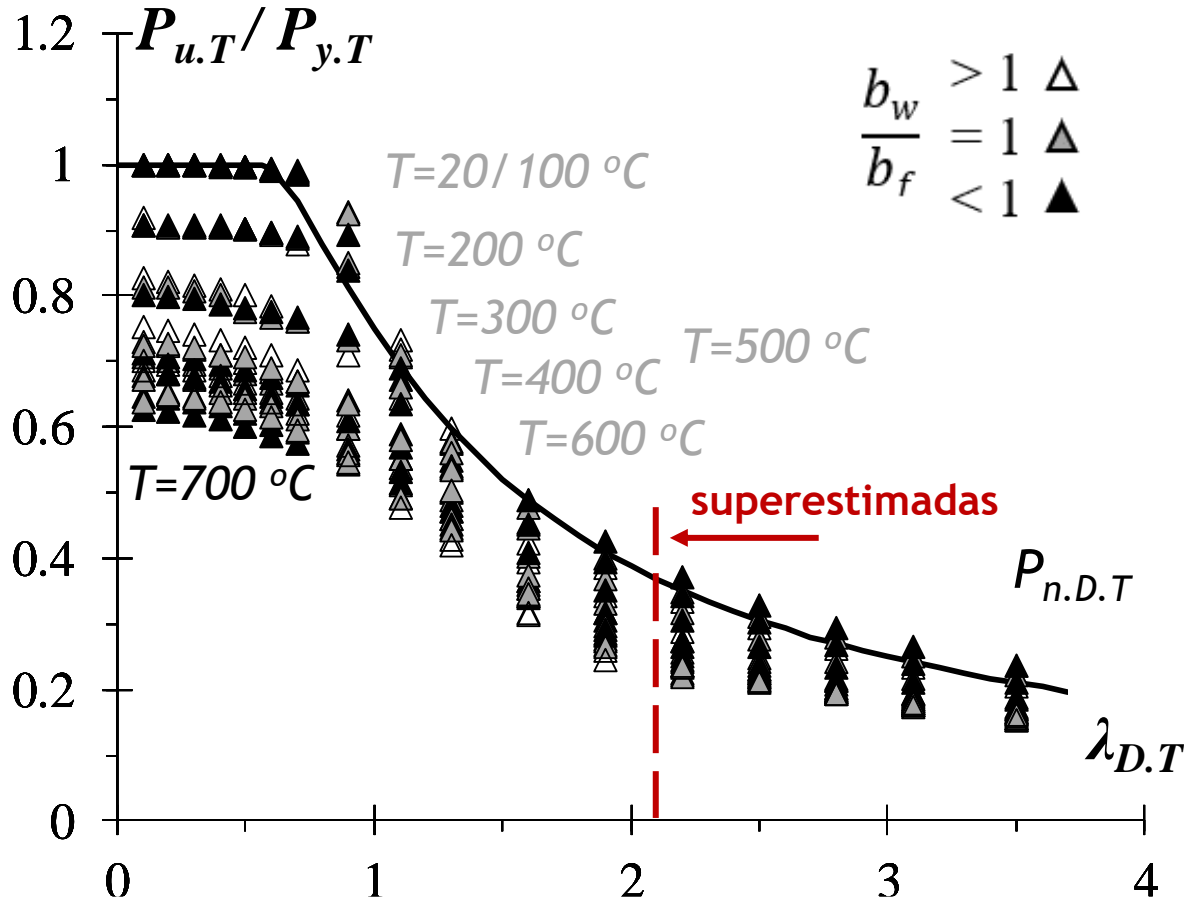
colunas com esbeltez baixa à moderada



superestimadas

$\lambda_{D.T}$ varia em função de T

Curvas de resistência MRD para altas temperaturas



Altas temperaturas

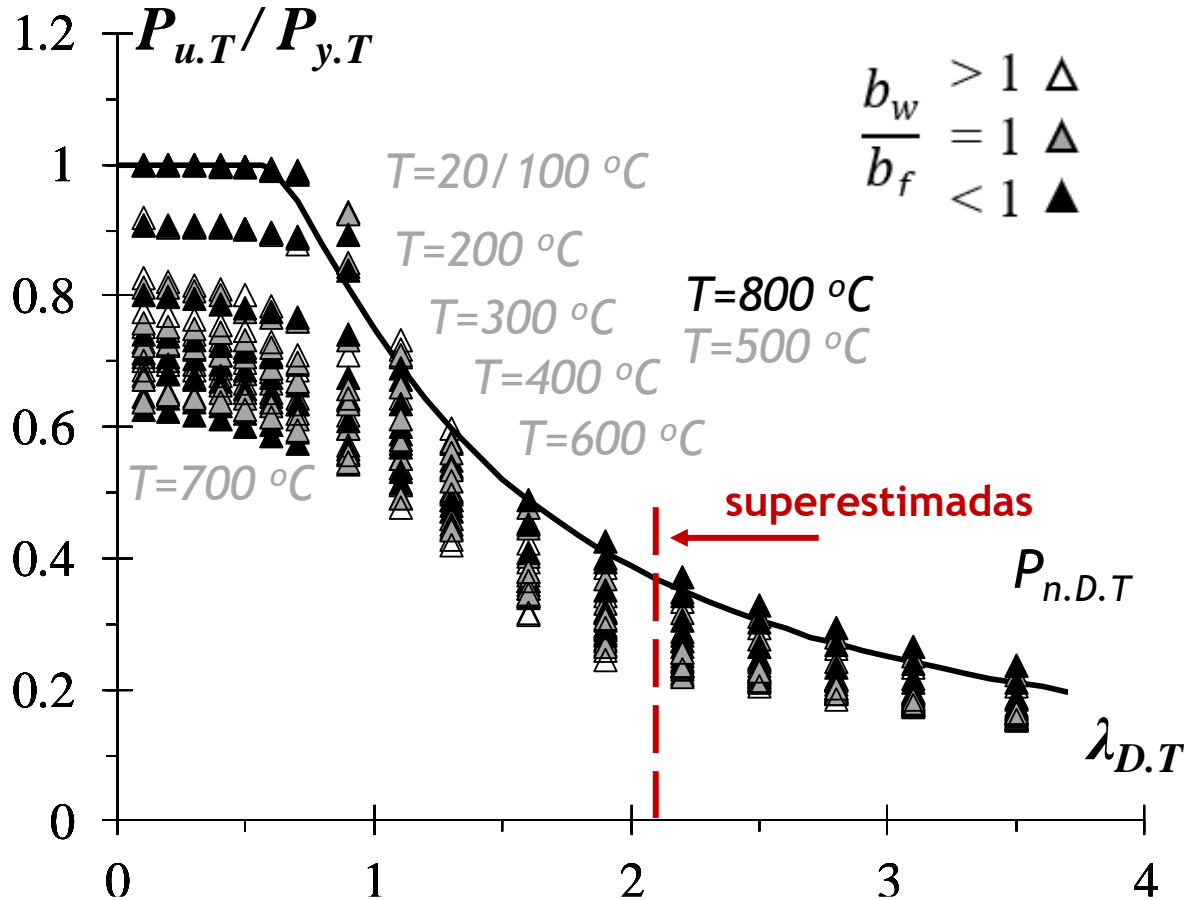
colunas com esbeltez baixa à moderada



superestimadas

$\lambda_{D.T}$ varia em função de T

Curvas de resistência MRD para altas temperaturas



Altas temperaturas

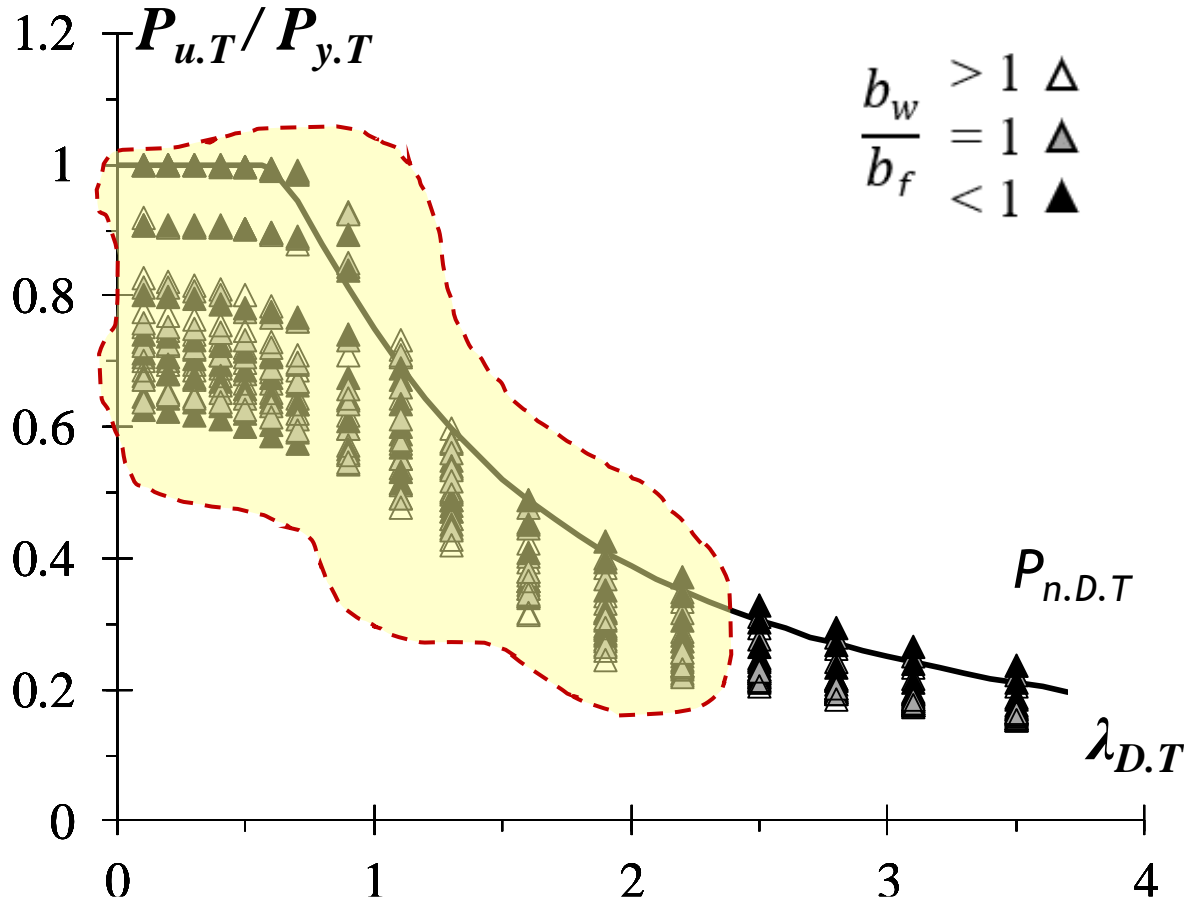
colunas com esbeltez baixa à moderada



superestimadas

$\lambda_{D.T}$ varia em função de T

Curvas de resistência MRD para altas temperaturas

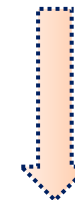


Altas temperaturas

colunas com esbeltez baixa à moderada

↓
superestimadas

$\lambda_{D.T}$ varia em função de T



Modificar as curvas para
aperfeiçoar a previsão da
resistência última

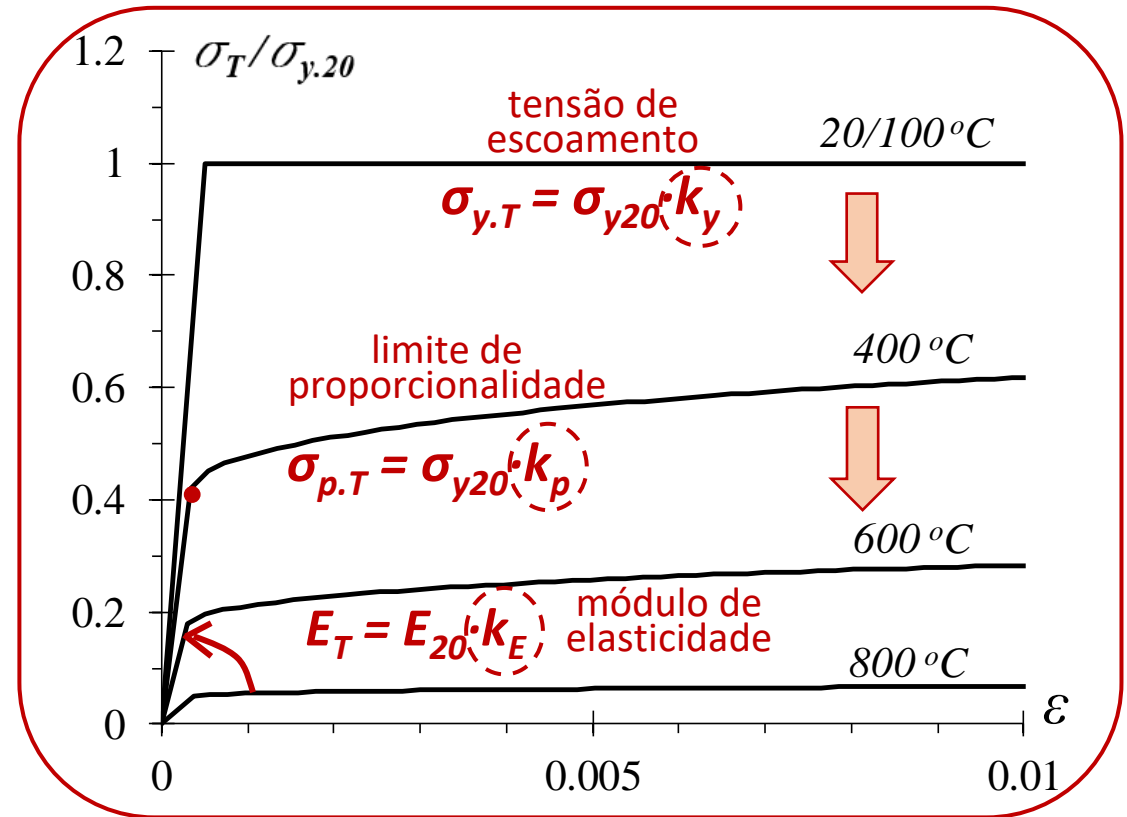
Altas temperaturas

Fatores de redução EC3-1.2

$$P_{n.D.T} = \begin{cases} P_{y.T} & \text{for } \lambda_{D.T} \leq 0.561 \\ P_{y.T} \left[1 - 0.25 \left(\frac{P_{cr.D.T}}{P_{y.T}} \right)^{0.6} \right] \left(\frac{P_{cr.D.T}}{P_{y.T}} \right)^{0.6} & \text{for } \lambda_{D.T} > 0.561 \end{cases}$$

$$P_{y.T} = \sigma_{y.20} \cdot k_y$$

$$P_{cr.T} = P_{cr.20} \cdot k_E$$



Tentativas de ajuste das curvas de acordo com os resultados numéricos!

Altas temperaturas

$$P_{n.D.T} = \begin{cases} P_{y.T} & \text{for } \lambda_{D.T} \leq 0.561 \\ P_{y.T} \left[1 - 0.25 \left(\frac{P_{cr.D.T}}{P_{y.T}} \right)^{0.6} \right] \left(\frac{P_{cr.D.T}}{P_{y.T}} \right)^{0.6} & \text{for } \lambda_{D.T} > 0.561 \end{cases}$$

Fatores de redução
 k_p/k_y

$$P_{n.D.T}^F = \begin{cases} P_{y.20} k_p & \text{for } \lambda_{D.T} \leq \frac{0.561}{\left(\frac{k_p}{k_y}\right)} \\ P_{y.T} \left[1 - \frac{0.25}{\left(\frac{k_p}{k_y}\right)} \left(\frac{P_{cr.D.T}}{P_{y.T}} \right)^{0.7} \right] \left(\frac{P_{cr.D.T}}{P_{y.T}} \right)^{0.7} & \text{for } \lambda_{D.T} > \frac{0.561}{\left(\frac{k_p}{k_y}\right)} \end{cases}$$

Curva de resistência modificada (MRD)

Altas temperaturas

$$P_{n.D.T} = \begin{cases} P_{y.T} & \text{for } \lambda_{D.T} \leq 0.561 \\ P_{y.T} \left[1 - 0.25 \left(\frac{P_{cr.D.T}}{P_{y.T}} \right)^{0.6} \right] \left(\frac{P_{cr.D.T}}{P_{y.T}} \right)^{0.6} & \text{for } \lambda_{D.T} > 0.561 \end{cases}$$

Alteração dos expoentes

$$P_{n.D.T}^F = \begin{cases} P_{y.20} \cdot k_p & \text{for } \lambda_{D.T} \leq \frac{0.561}{\left(\frac{k_p}{k_y}\right)} \\ P_{y.T} \left[1 - \frac{0.25}{\left(\frac{k_p}{k_y}\right)} \left(\frac{P_{cr.D.T}}{P_{y.T}} \right)^{0.7} \right] \left(\frac{P_{cr.D.T}}{P_{y.T}} \right)^{0.7} & \text{for } \lambda_{D.T} > \frac{0.561}{\left(\frac{k_p}{k_y}\right)} \end{cases}$$

Curva de resistência modificada (MRD)

Altas temperaturas

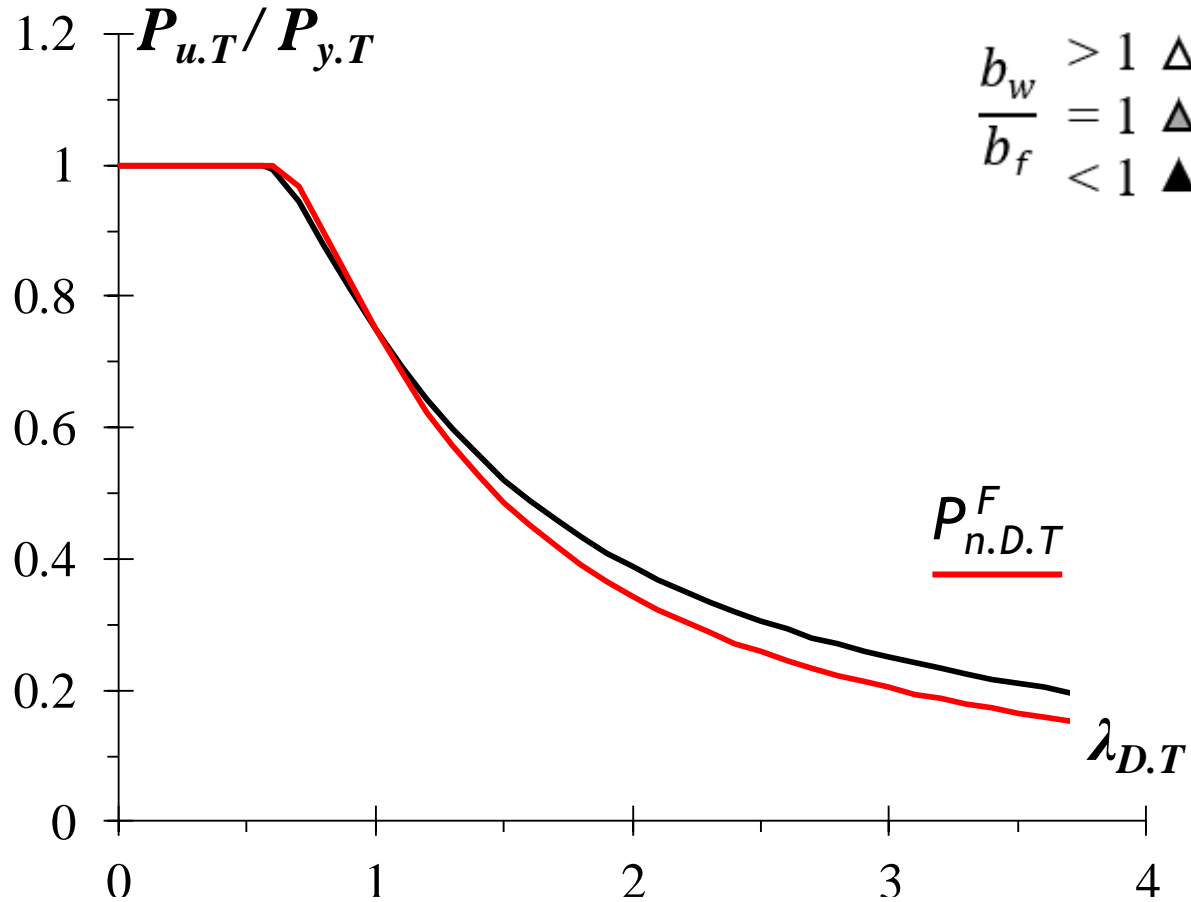
$$P_{n.D.T} = \begin{cases} P_{y.T} & \text{for } \lambda_{D.T} \leq 0.561 \\ P_{y.T} \left[1 - 0.25 \left(\frac{P_{cr.D.T}}{P_{y.T}} \right)^{0.6} \right] \left(\frac{P_{cr.D.T}}{P_{y.T}} \right)^{0.6} & \text{for } \lambda_{D.T} > 0.561 \end{cases}$$

Intervalos de transição da esbeltez distorcional

$$P_{n.D.T}^F = \begin{cases} P_{y.20} \cdot k_p & \text{for } \lambda_{D.T} \leq \frac{0.561}{\left(\frac{k_p}{k_y} \right)} \\ P_{y.T} \left[1 - \frac{0.25}{\left(\frac{k_p}{k_y} \right)} \left(\frac{P_{cr.D.T}}{P_{y.T}} \right)^{0.7} \right] \left(\frac{P_{cr.D.T}}{P_{y.T}} \right)^{0.7} & \text{for } \lambda_{D.T} > \frac{0.561}{\left(\frac{k_p}{k_y} \right)} \end{cases}$$

Curva de resistência modificada (MRD)

Novas/modificadas curvas de resistência MRD para altas temperaturas

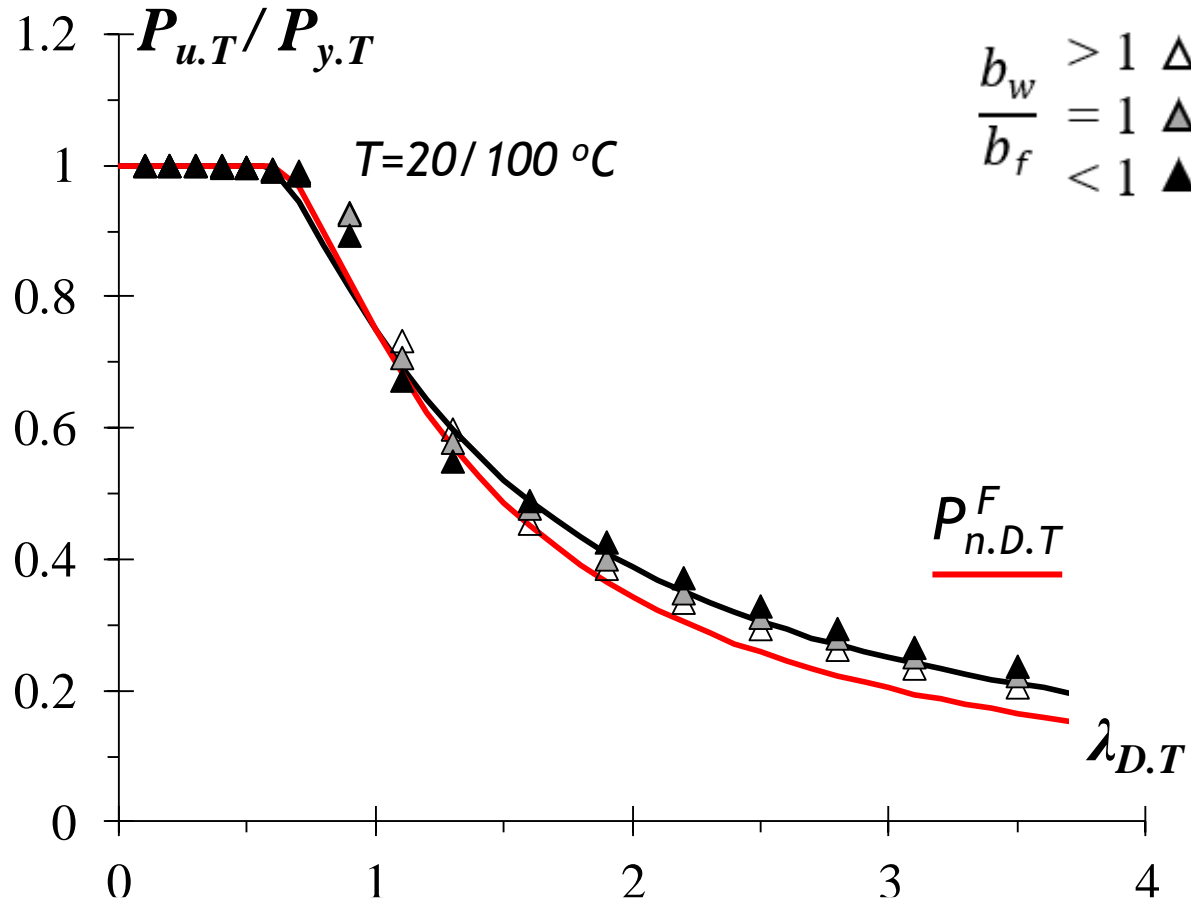


Temperatura ambiente

mudanças mínimas

pequenos ajustes para $\lambda_{D.T} > 1$

Novas/modificadas curvas de resistência MRD
para altas temperaturas

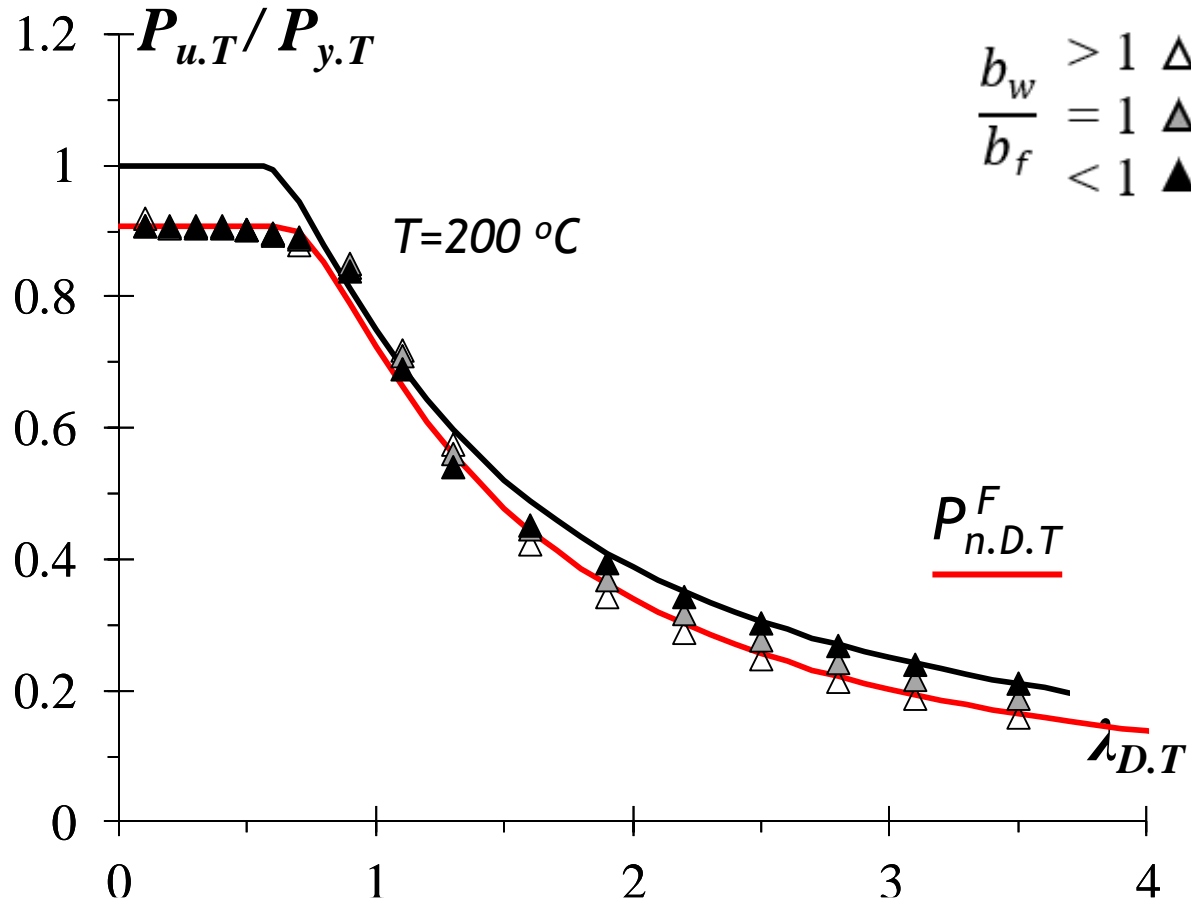


Temperatura ambiente

mudanças mínimas

pequenos ajustes para $\lambda_{D.T} > 1$

Novas/modificadas curvas de resistência MRD para altas temperaturas

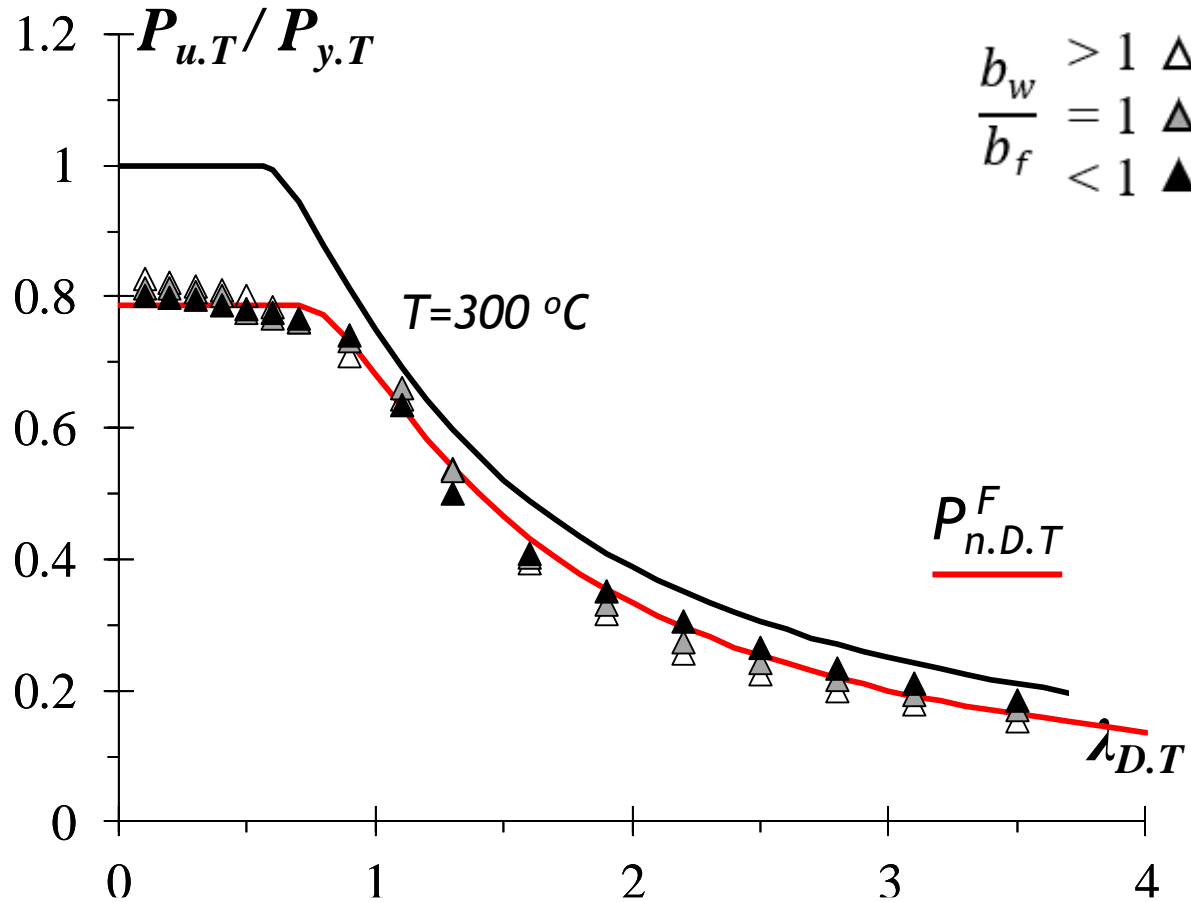


Altas temperaturas

melhora notável na qualidade das estimativas de carga última para $\lambda_{D.T} < 1$

pequenos ajustes para colunas mais esbeltas $\lambda_{D.T} > 1$ (curva mais segura)

Novas/modificadas curvas de resistência MRD para altas temperaturas

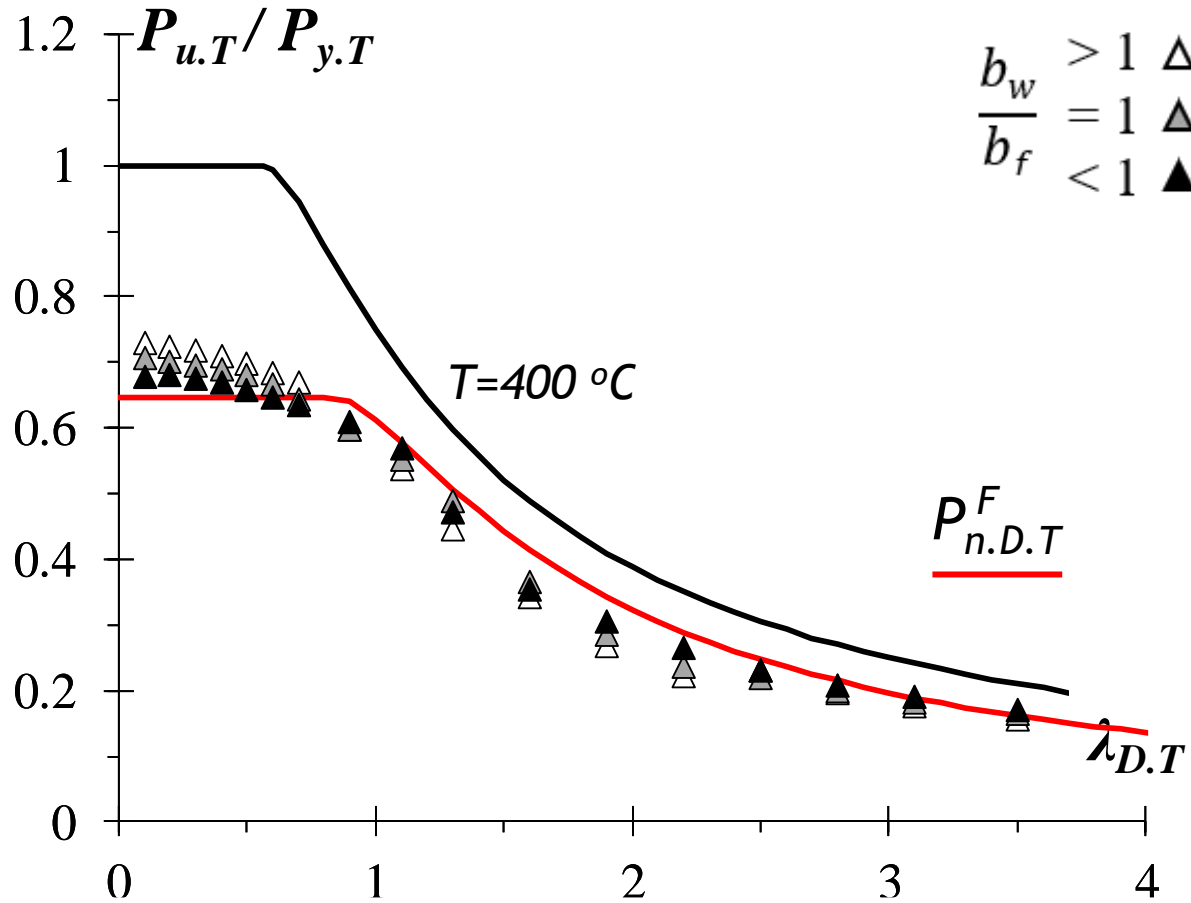


Altas temperaturas

melhora notável na qualidade das estimativas de carga última para $\lambda_{D.T} < 1$

pequenos ajustes para colunas mais esbeltas $\lambda_{D.T} > 1$ (curva mais segura)

Novas/modificadas curvas de resistência MRD para altas temperaturas

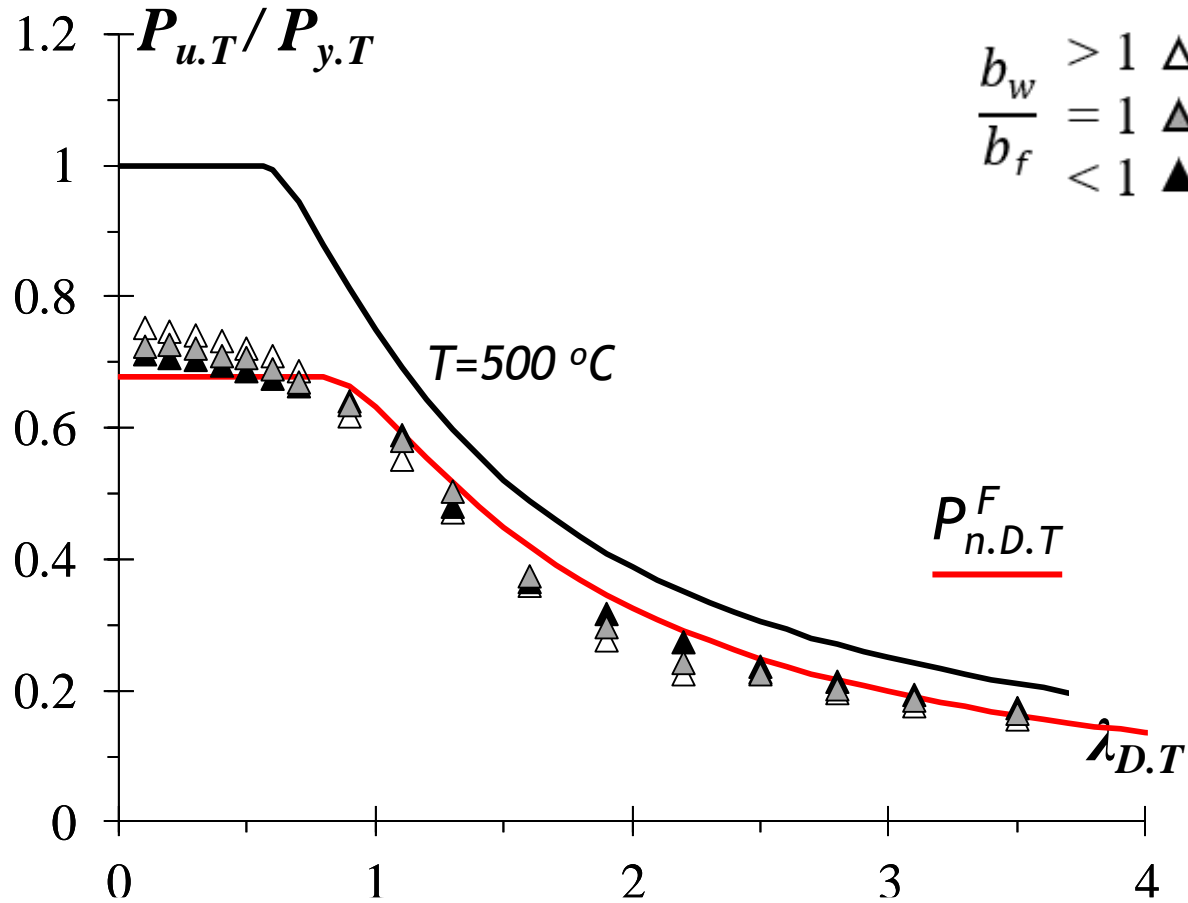


Altas temperaturas

melhora notável na qualidade das estimativas de carga última para $\lambda_{D.T} < 1$

pequenos ajustes para colunas mais esbeltas $\lambda_{D.T} > 1$ (curva mais segura)

Novas/modificadas curvas de resistência MRD para altas temperaturas

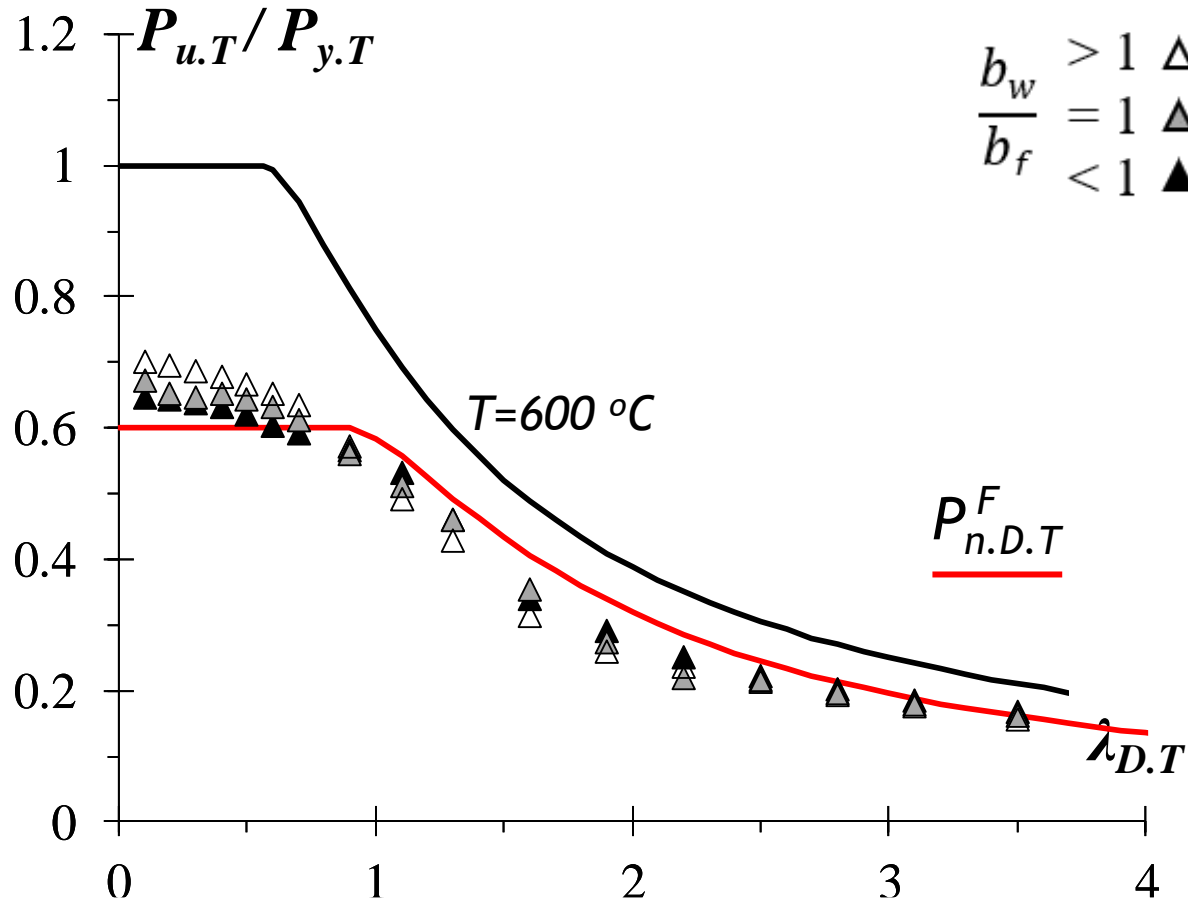


Altas temperaturas

melhora notável na qualidade das estimativas de carga última para $\lambda_{D.T} < 1$

ajustes para colunas mais esbeltas $\lambda_{D.T} > 1$ (curva mais segura)

Novas/modificadas curvas de resistência MRD para altas temperaturas

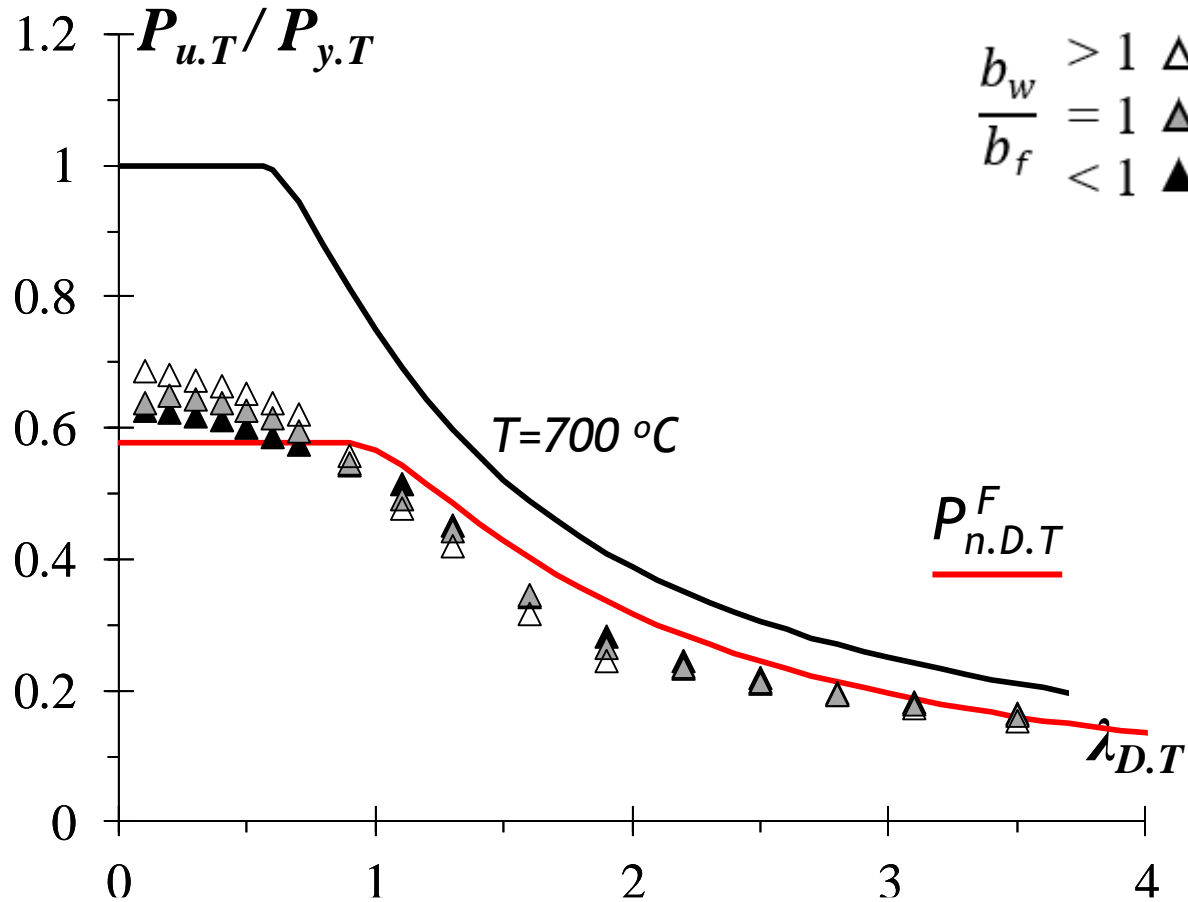


Altas temperaturas

melhora notável na qualidade das estimativas de carga última para $\lambda_{D.T} < 1$

ajustes para colunas mais esbeltas $\lambda_{D.T} > 1$ (curva mais segura)

Novas/modificadas curvas de resistência MRD para altas temperaturas

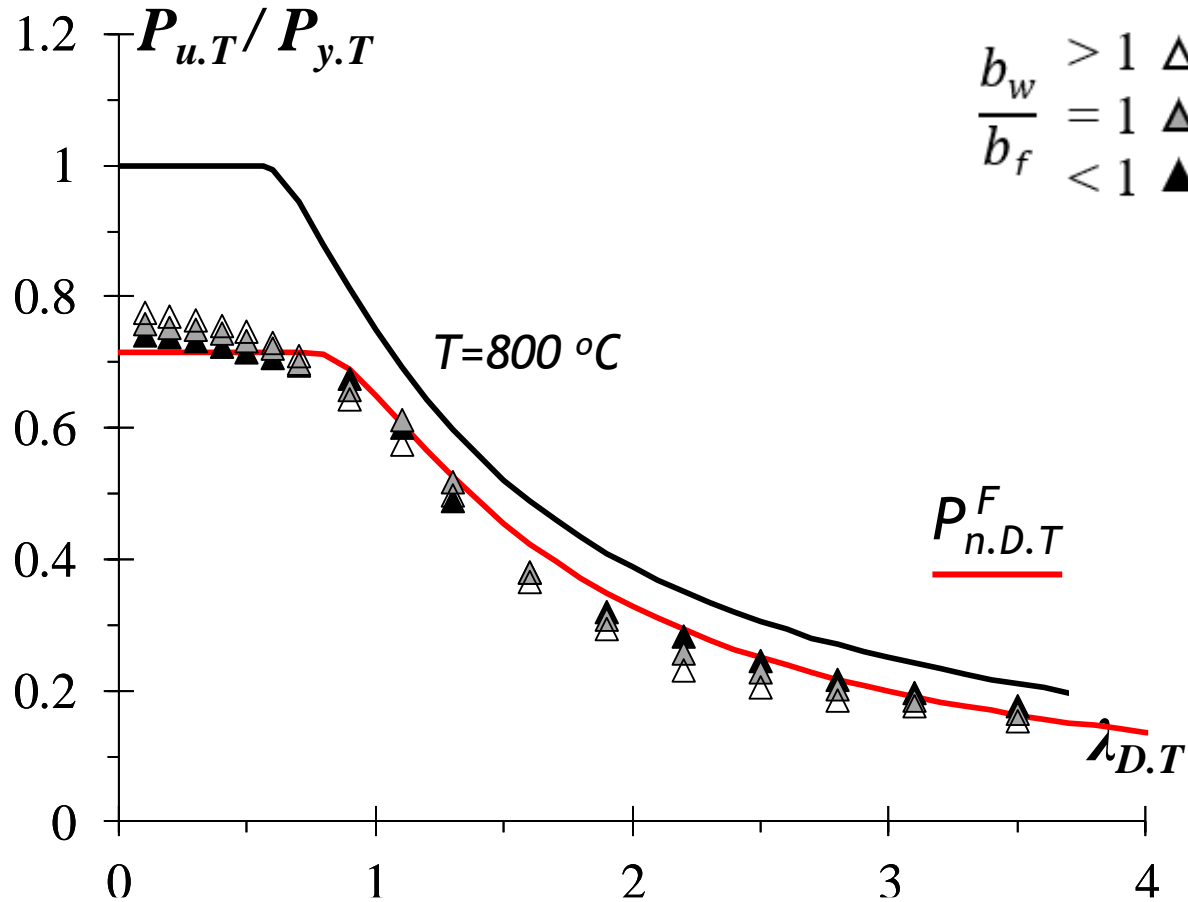


Altas temperaturas

melhora notável na qualidade das estimativas de carga última para $\lambda_{D.T} < 1$

ajustes para colunas mais esbeltas $\lambda_{D.T} > 1$ (curva mais segura)

Novas/modificadas curvas de resistência MRD para altas temperaturas



Altas temperaturas

melhora notável na qualidade das estimativas de carga última para $\lambda_{D.T} < 1$

ajustes para colunas mais esbeltas $\lambda_{D.T} > 1$ (curva mais segura)



OBJETIVO

Considerações Finais (1)

Investigação numérica sobre o comportamento de pós-flambagem, resistência última e abordagem segundo MRD de colunas PFF sob modo de falha distorcional em altas temperaturas.

Com base nas análises, foi possível concluir:

As curvas MRD preliminarmente propostas (**para altas temperaturas**):

- ✓ apresentaram-se pouco precisas para $\lambda_{D.T}$ altas
- ✓ Para $\lambda_{D.T}$ menores, as previsões de cargas últimas foram extremamente superestimadas (contra segurança)



Acusando importante necessidade de
aprimoramento das curvas MRD

Considerações Finais (2)

Novas curvas (modificadas) MRD foram propostas (**para altas temperaturas com participação do fator “ k_p/k_y ” de acordo com o modelo constitutivo**)

- ✓ Conduzindo a traçados com patamares iniciais significativamente mais baixos (para $\lambda_{D.T}$ menores), seguidos de curvas descendentes levemente mais baixas
- ✓ Apesar da simplicidade das modificações, as novas curvas apresentaram nítida melhora na estimativa de cargas últimas



Apontando para continuidade da pesquisa de modo a abranger outros modelos constitutivos

Dimensionamento de colunas de aço formadas a frio sob modo de falha distorcional e condições de incêndio

Obrigada pela atenção!

Fernanda CMS Costa - DAU/IT - UFRRJ
Alexandre Landesmann - PEC/COPPE - UFRJ
Dinar Camotim - DECivil/IST - ULisboa

CONSTRU METAL 2023

2 1 s e t

8 h - 21 h

allianz parque

são paulo - sp



@congressoconstrumetal
congressoconstrumetal.com.br

REALIZAÇÃO



ORGANIZAÇÃO/PROMOCIÓN

Franca! Feiras DESDE 1969