

PFF — ESTRUTURAS DE AÇO EM PERFIS FORMADOS A FRIO

BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL

NOTAS DE AULA

Luciano Barbosa dos Santos
Professor CTEC/UFAL

(2020)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

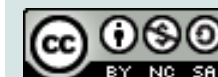
Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



Aviso Importante:

O usuário é o único responsável por todo e qualquer uso que venha a fazer deste material, cabendo ao próprio usuário verificar e validar as informações nele apresentadas, ficando as instituições e os autores nele mencionados isentos de quaisquer responsabilidades legais ou de qualquer outra natureza. Ao fazer uso deste material o usuário declara concordar com os termos apresentados.

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

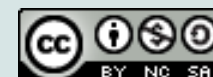
Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

RECOMENDAÇÕES DA NBR 14762:2010

VERIFICAÇÕES RELACIONADAS AO ESFORÇO DE COMPRESSÃO		
VERIFICAÇÃO DA INSTABILIDADE GLOBAL	VERIFICAÇÃO DA INSTABILIDADE DISTORCIONAL	VERIFICAÇÃO DA ESBELTEZ MÁXIMA DA BARRA
$N_{cRd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma}$ (A instabilidade local é levada em consideração no cálculo de A_{ef})	$N_{cRd} = \frac{\chi_{dist} A f_y}{\gamma}$ (Essa verificação é feita considerando a área bruta da seção)	$\lambda_{limite} = 200$ (Levando em consideração a maior relação entre o comprimento destravado e o raio de giração correspondente)

$$\gamma = 1,20$$

$$\gamma = 1,20$$

Importante

A_{ef} = Área efetiva da Seção transversal

χ = Fator de redução associado à instabilidade global

χ_{dist} = Fator de redução associado à instabilidade distorcional

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



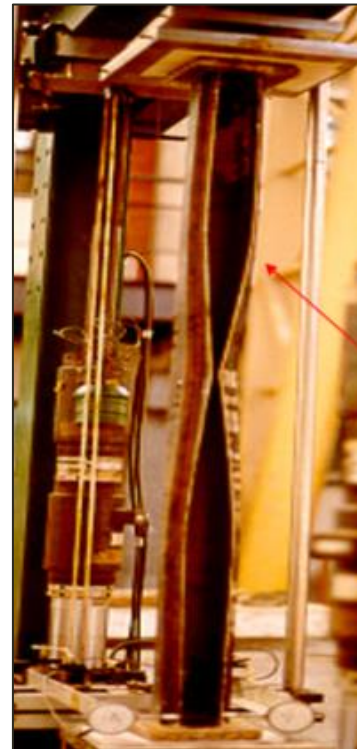
Instabilidade Global

Fonte: CHODRAUI (2006)



Instabilidade Local

Fonte: CHODRAUI (2006)



Instabilidade Distorcional

Fonte: VAZQUEZ (2002)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial

Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



PARTE 1

Instabilidade Global

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

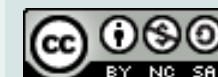
Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

INSTABILIDADE GLOBAL



Instabilidade por Flexão
Fonte: MAIA (2008)



Instabilidade Local/Torcional
Fonte: CHODRAUI (2006)



Instabilidade por Flexo-Torção
Fonte: MAIA (2008)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

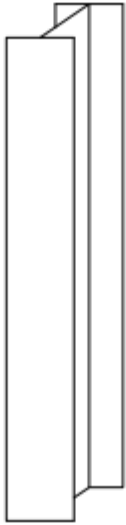
Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

PERFIS DUPLAMENTE SIMÉTRICOS



Instabilidade por Flexão



Instabilidade por Torção

Fonte: acervo do autor

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial

Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

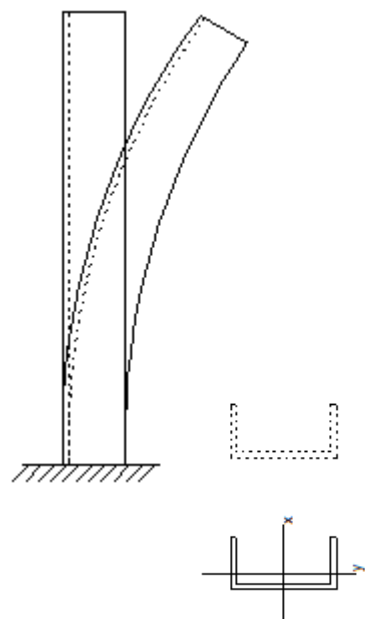
Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional

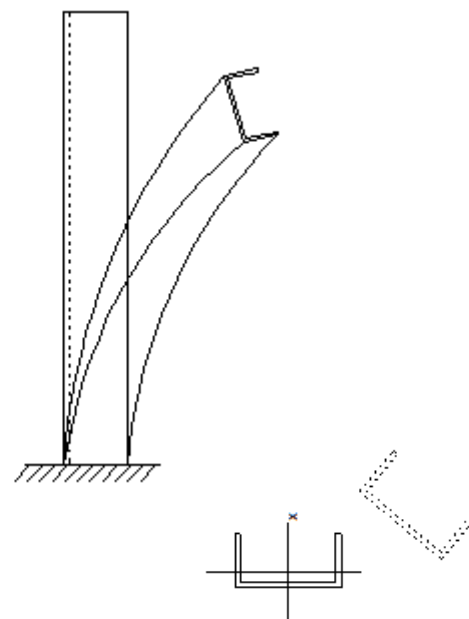


O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhamento Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

PERFIS MONOSSIMÉTRICOS



Instabilidade por Flexão



Instabilidade por Flexo-Torção

Fonte: FERREIRA (2004) – Adaptado

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

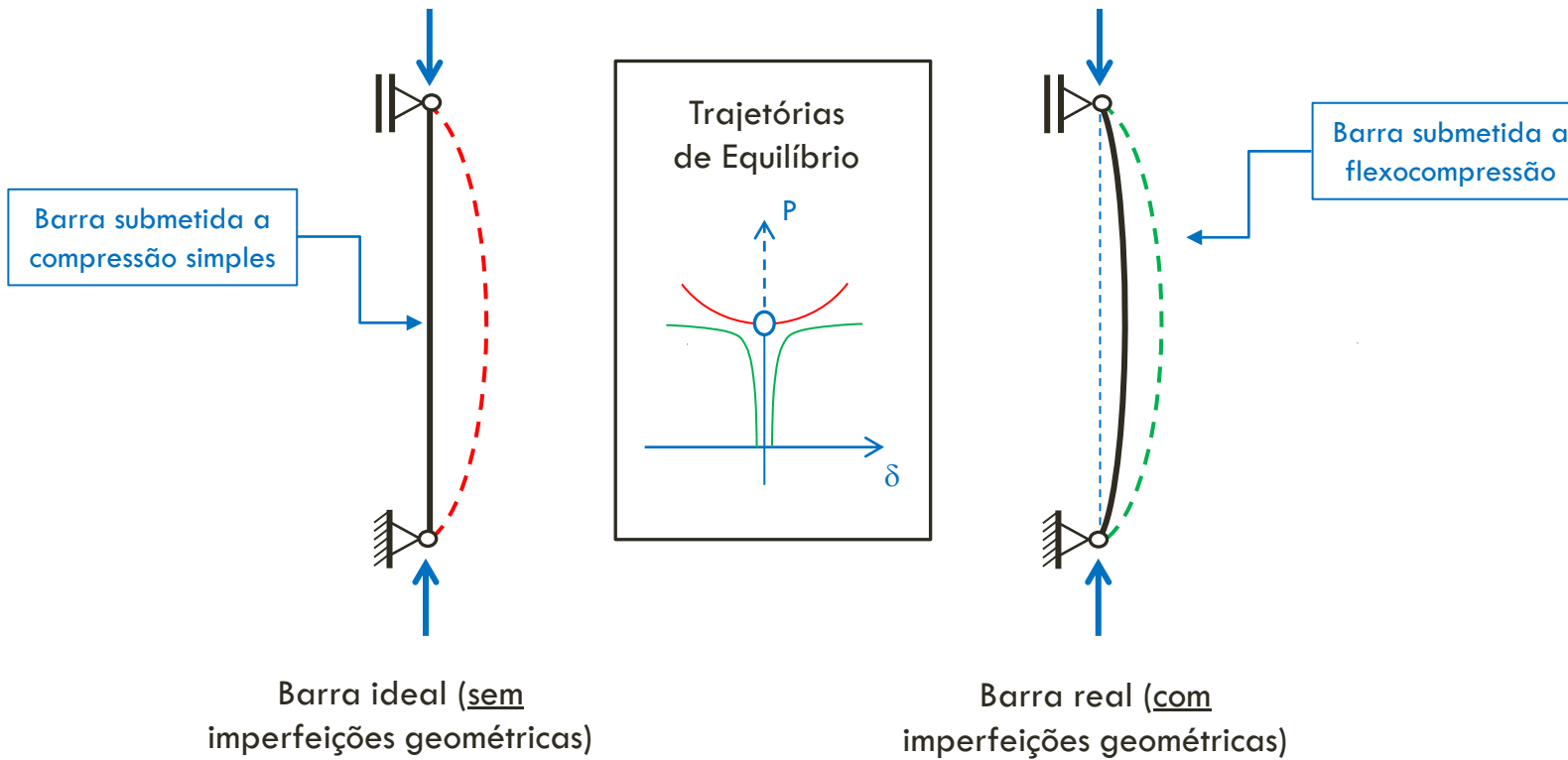
Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhagual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

FLAMBAGEM OU INSTABILIDADE, QUAL TERMO UTILIZAR?



REIS & CAMOTIM (2001)

(...) as estruturas reais não apresentam, em geral, instabilidades bifurcacionais, o que se deve a presença de imperfeições geométricas iniciais. No entanto, a carga crítica de bifurcação elástica influencia significativamente o seu comportamento, nomeadamente a sua carga de colapso.

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

ESFORÇO RESISTENTE PARA INSTABILIDADE GLOBAL

$$N_{cRd} = \frac{\chi A_{ef} f_y}{\gamma}$$

INSTABILIDADE GLOBAL
$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{A f_y}{N_e}}$$

Para $\lambda_0 \leq 1,5$: $\chi = 0,658^{\lambda_0^2}$
Para $\lambda_0 > 1,5$: $\chi = \frac{0,877}{\lambda_0^2}$
 $N_e = \text{força axial de flambagem elástica}$

$\gamma = 1,20$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

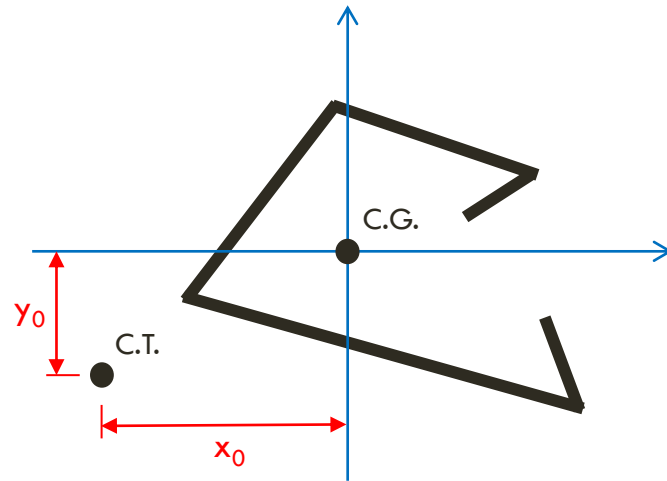
Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

DETERMINAÇÃO DA FORÇA CRÍTICA DE FLAMBAGEM GLOBAL ELÁSTICA



SEÇÕES ASSIMÉTRICAS

É a menor raiz da equação cúbica dada a seguir:

$$r_0^2(N_e - N_{ex})(N_e - N_{ey})(N_e - N_{ez}) - N_e^2(N_e - N_{ey})x_0^2 - N_e^2(N_e - N_{ex})y_0^2 = 0$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhamento Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

DETERMINAÇÃO DA FORÇA CRÍTICA DE FLAMBAGEM ELÁSTICA

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhamento 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

PERFIS DUPLAMENTE SIMÉTRICOS

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 EI_x}{(k_x L_x)^2}$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{(k_y L_y)^2}$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(k_z L_z)^2} + G I_t \right]$$

$$N_e = \text{menor}(N_{ex}, N_{ey}, N_{ez})$$

PERFIS MONOSSIMÉTRICOS

a) Quando o eixo x é o eixo de simetria

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{(k_y L_y)^2}$$

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \left[1 - \left(\frac{x_0}{r_0} \right)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 N_{ex} N_{ez} \left[1 - \left(\frac{x_0}{r_0} \right)^2 \right]}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right]$$

$$N_e = \text{menor}(N_{ey}, N_{exz})$$

b) Quando o eixo y é o eixo de simetria

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 E I_x}{(k_x L_x)^2}$$

$$N_{eyz} = \frac{N_{ey} + N_{ez}}{2 \left[1 - \left(\frac{y_0}{r_0} \right)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4 N_{ey} N_{ez} \left[1 - \left(\frac{y_0}{r_0} \right)^2 \right]}{(N_{ey} + N_{ez})^2}} \right]$$

$$N_e = \text{menor}(N_{ex}, N_{eyz})$$

Valores de χ em função do índice de esbeltez reduzido λ_0

λ_0	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	λ_0
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,998	0,998	0,997	0,997	0,0
0,1	0,996	0,995	0,994	0,993	0,992	0,991	0,989	0,988	0,987	0,985	0,1
0,2	0,983	0,982	0,980	0,978	0,976	0,974	0,972	0,970	0,968	0,965	0,2
0,3	0,963	0,961	0,958	0,955	0,953	0,950	0,947	0,944	0,941	0,938	0,3
0,4	0,935	0,932	0,929	0,926	0,922	0,919	0,915	0,912	0,908	0,904	0,4
0,5	0,901	0,897	0,893	0,889	0,885	0,881	0,877	0,873	0,869	0,864	0,5
0,6	0,860	0,856	0,851	0,847	0,842	0,838	0,833	0,829	0,824	0,819	0,6
0,7	0,815	0,810	0,805	0,800	0,795	0,790	0,785	0,780	0,775	0,770	0,7
0,8	0,765	0,760	0,755	0,750	0,744	0,739	0,734	0,728	0,723	0,718	0,8
0,9	0,712	0,707	0,702	0,696	0,691	0,685	0,680	0,674	0,669	0,664	0,9
1,0	0,658	0,652	0,647	0,641	0,636	0,630	0,625	0,619	0,614	0,608	1,0
1,1	0,603	0,597	0,592	0,586	0,580	0,575	0,569	0,564	0,558	0,553	1,1
1,2	0,547	0,542	0,536	0,531	0,525	0,520	0,515	0,509	0,504	0,498	1,2
1,3	0,493	0,488	0,482	0,477	0,472	0,466	0,461	0,456	0,451	0,445	1,3
1,4	0,440	0,435	0,430	0,425	0,420	0,415	0,410	0,405	0,400	0,395	1,4
1,5	0,390	0,385	0,380	0,375	0,370	0,365	0,360	0,356	0,351	0,347	1,5
1,6	0,343	0,338	0,334	0,330	0,326	0,322	0,318	0,314	0,311	0,307	1,6
1,7	0,303	0,300	0,296	0,293	0,290	0,286	0,283	0,280	0,277	0,274	1,7
1,8	0,271	0,268	0,265	0,262	0,259	0,256	0,253	0,251	0,248	0,246	1,8
1,9	0,243	0,240	0,238	0,235	0,233	0,231	0,228	0,226	0,224	0,221	1,9
2,0	0,219	0,217	0,215	0,213	0,211	0,209	0,207	0,205	0,203	0,201	2,0
2,1	0,199	0,197	0,195	0,193	0,192	0,190	0,188	0,186	0,185	0,183	2,1
2,2	0,181	0,180	0,178	0,176	0,175	0,173	0,172	0,170	0,169	0,167	2,2
2,3	0,166	0,164	0,163	0,162	0,160	0,159	0,157	0,156	0,155	0,154	2,3
2,4	0,152	0,151	0,150	0,149	0,147	0,146	0,145	0,144	0,143	0,141	2,4
2,5	0,140	0,139	0,138	0,137	0,136	0,135	0,134	0,133	0,132	0,131	2,5
2,6	0,130	0,129	0,128	0,127	0,126	0,125	0,124	0,123	0,122	0,121	2,6
2,7	0,120	0,119	0,119	0,118	0,117	0,116	0,115	0,114	0,113	0,113	2,7
2,8	0,112	0,111	0,110	0,110	0,109	0,108	0,107	0,106	0,106	0,105	2,8
2,9	0,104	0,104	0,103	0,102	0,101	0,101	0,100	0,099	0,099	0,098	2,9
3,0	0,097	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,0

[Fonte: tabela 8 da NBR 14762:2010]

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos

Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial

Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

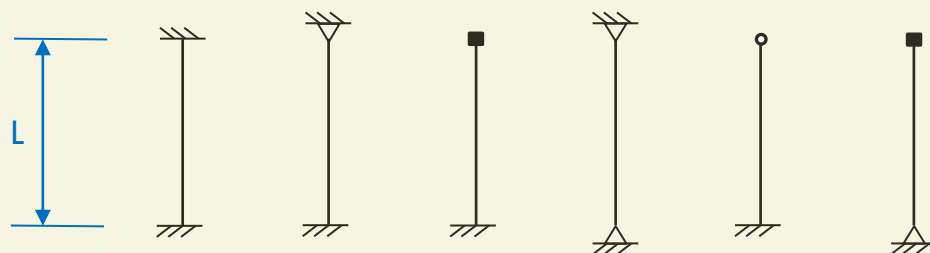
Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

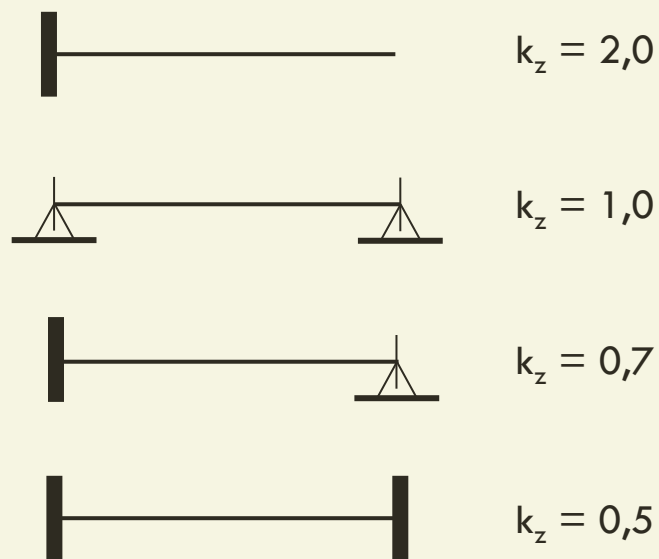
Coeficientes de Flambagem por Flexão (k) para Barras Isoladas



Teórico: $k = 0,50$ $k = 0,70$ $k = 1,00$ $k = 1,00$ $k = 2,00$ $k = 2,00$

Recomendado: $k = 0,65$ $k = 0,80$ $k = 1,20$ $k = 1,00$ $k = 2,10$ $k = 2,00$

Coeficientes de Flambagem po Torção (k_z)



Consultar
FAKURY et al. (2017)

Análise estrutural em
teoria de segunda ordem

$k = 1,0$

Obs.: Ver NBR 8800:2008

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

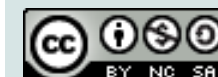
Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhagual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).





EXERCÍCIO

Parte 1/3

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial

Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

EXERCÍCIO

Considerando a situação mostrada na figura, determine o N_{crd} de um perfil U 250 x 85 x 25 x 2,00 em aço com tensão de escoamento de 300MPa.

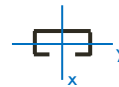
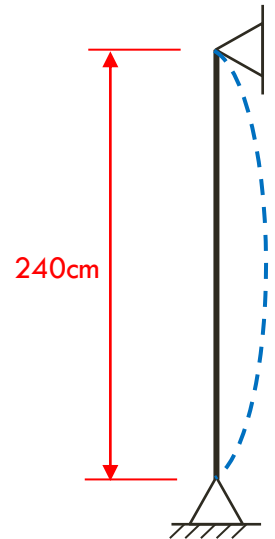
1. Dados da Questão

$b_w =$	25,0 cm
$b_f =$	8,5 cm
$D =$	2,5 cm
$t =$	0,2 cm
$r_i =$	0,2 cm

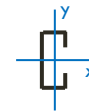
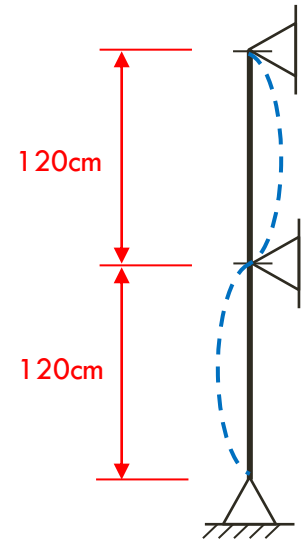
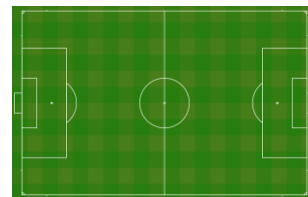
$f_y =$	30 kN/cm ²
$E =$	20000 kN/cm ²
$G =$	7700 kN/cm ²
$\nu =$	0,3

$k_x L_x =$	240 cm
$k_y L_y =$	120 cm
$k_z L_z =$	120 cm

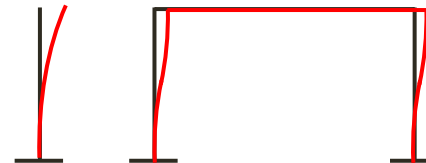
$A =$	9,14 cm ²
$x_g =$	2,43 cm
$x_0 =$	6,09 cm
$I_x =$	871,52 cm ⁴
$W_x =$	69,72 cm ³
$r_x =$	9,77 cm
$I_y =$	88,98 cm ⁴
$W_y =$	14,67 cm ³
$r_y =$	3,12 cm
$I_t = J =$	0,12 cm ⁴
$C_w =$	11.477,06 cm ⁶
$r_o =$	11,93 cm



$$k_x L_x = 1 \times 240 \text{ cm}$$



$$k_y L_y = k_z L_z = 1 \times 120 \text{ cm}$$



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial

Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

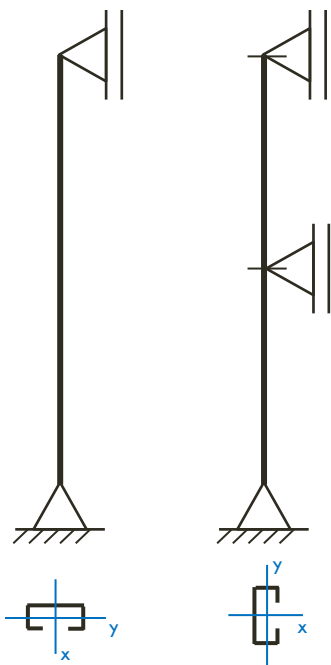
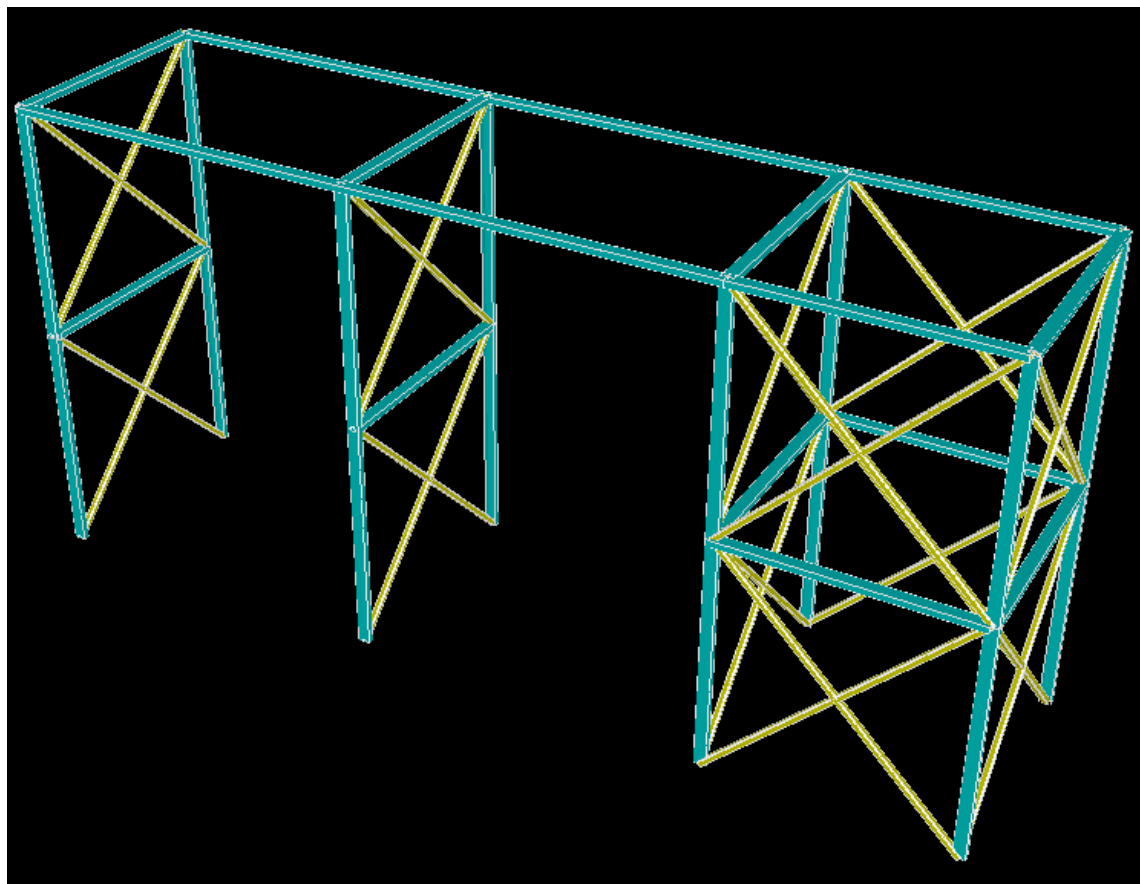
Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhagual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Mas... onde
encontraríamos uma
barra assim?



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio (Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhagual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



Fonte: acervo do autor

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio (Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

EXERCÍCIO

Considerando a situação mostrada na figura, determine o N_{crd} de um perfil U 250 x 85 x 25 x 2,00 em aço com tensão de escoamento de 300MPa.

1. Dados da Questão

$b_w =$	25,0 cm
$b_f =$	8,5 cm
$D =$	2,5 cm
$t =$	0,2 cm
$r_i =$	0,2 cm

$A =$	9,14 cm ²
$x_g =$	2,43 cm
$x_0 =$	6,09 cm
$I_x =$	871,52 cm ⁴
$W_x =$	69,72 cm ³
$r_x =$	9,77 cm
$I_y =$	88,98 cm ⁴
$W_y =$	14,67 cm ³
$r_y =$	3,12 cm
$I_t = J =$	0,12 cm ⁴
$C_w =$	11.477,06 cm ⁶
$r_o =$	11,93 cm

$f_y =$	30 kN/cm ²
$E =$	20000 kN/cm ²
$G =$	7700 kN/cm ²
$\nu =$	0,3
$k_x l_x =$	240 cm
$k_y l_y =$	120 cm
$k_z l_z =$	120 cm

2. Instabilidade Global

$$N_{ex} = \frac{\pi^2 EI_x}{(k_x L_x)^2} = 2.983,61 kN$$

$$N_{ey} = \frac{\pi^2 EI_y}{(k_y L_y)^2} = 1.218,52 kN$$

$$N_{ez} = \frac{1}{r_0^2} \left[\frac{\pi^2 EC_w}{(k_z L_z)^2} + GI_t \right] = 1.111,61 kN$$

$$N_{exz} = \frac{N_{ex} + N_{ez}}{2 \left[1 - \left(\frac{x_0}{r_0} \right)^2 \right]} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{4N_{ex}N_{ez} \left[1 - \left(\frac{x_0}{r_0} \right)^2 \right]}{(N_{ex} + N_{ez})^2}} \right]$$

$$N_{ez} = 984,96 kN$$

$$N_e = \text{menor}(N_{ey}, N_{exz})$$

$$N_e = 984,96 kN$$

$$\lambda_0 = \sqrt{\frac{Af_y}{N_e}} = 0,528$$

$$\chi = 0,658^{\lambda_0^2}$$

$$\chi = 0,890$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



PARTE 2

Instabilidade Local

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

INSTABILIDADE LOCAL EM BARRAS SOB COMPRESSÃO AXIAL



Fonte: CHODRAUI (2006)



Fonte: CHODRAUI (2006)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

INSTABILIDADE LOCAL EM BARRAS SOB COMPRESSÃO AXIAL



Fonte: CHODRAUI (2006)



Fonte: BRANQUINHO (2017)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial

Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhagual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

VALORES MÁXIMOS DA RELAÇÃO LARGURA/ESPESSURA (CONFORME NBR 14762:2010)

CASO A SER ANALISADO	$(b/t)_{\text{máx}}$
Elemento comprimido AA, tendo uma borda vinculada a alma ou mesa e a outra a enrijecedor de borda simples	60 ^b
Elemento comprimido AA, tendo uma borda vinculada a alma e a outra a mesa ou outro tipo de enrijecedor de borda com $I_s \geq I_a$ conforme 9.2.3	90
Alma de perfis U não enrijecidos sujeita à compressão uniforme	90
Elemento comprimido com ambas as bordas vinculadas a elementos AA	500 ^c
Elemento comprimido AL ou AA com enrijecedor de borda tendo $I_s < I_a$ conforme 9.2.3	60 ^b
Alma de vigas sem enrijecedores transversais	200
Alma de vigas com enrijecedores transversais apenas nos apoios e satisfazendo as exigências de 9.5.1	260
Alma de vigas com enrijecedores transversais nos apoios e intermediários, satisfazendo as exigências de 9.5.1	300
b) Para evitar deformações excessivas do elemento, recomenda-se $(b/t)_{\text{máx}} = 30$.	
c) Para evitar deformações excessivas do elemento, recomenda-se $(b/t)_{\text{máx}} = 250$.	

(Ver Tabela 4 da NBR 14762:2010 para mais detalhes)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

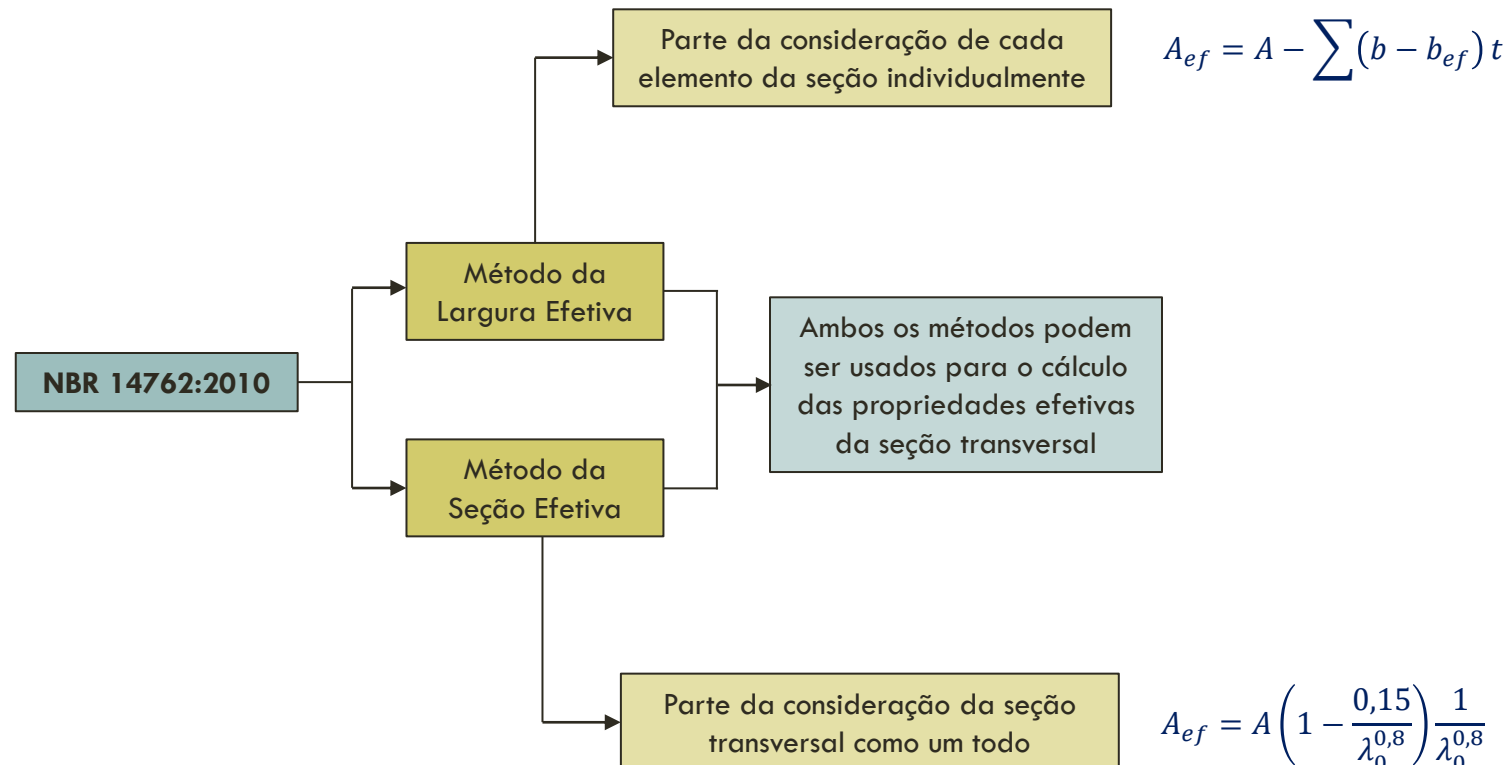
Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DA ÁREA EFETIVA



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: **04**
Assunto: **PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial**
Quantidade de Slides: **78**

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhagual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



PARTE 2 – INSTABILIDADE LOCAL

a) O Método da Largura Efetiva (MLE)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial

Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

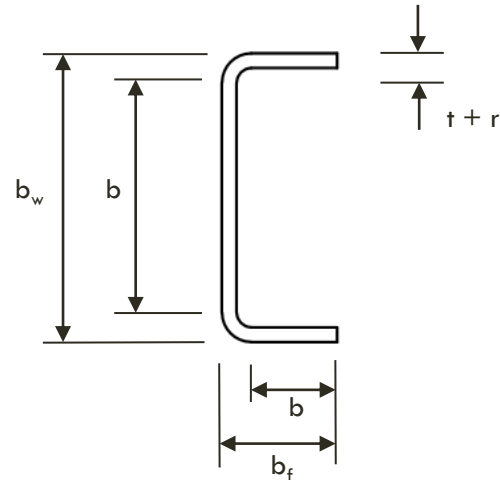
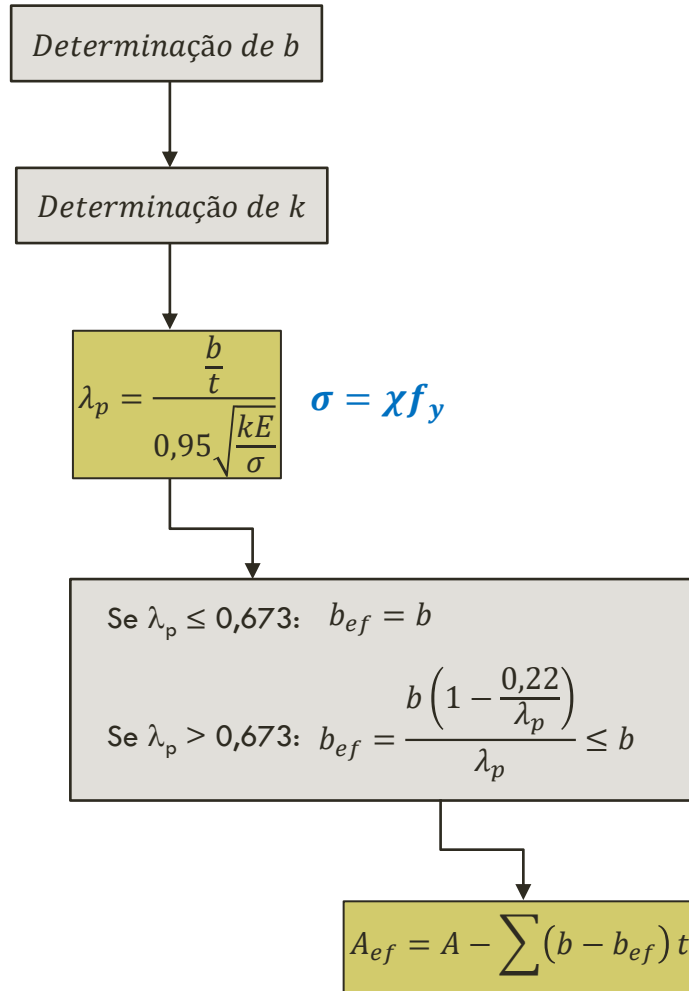
Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional

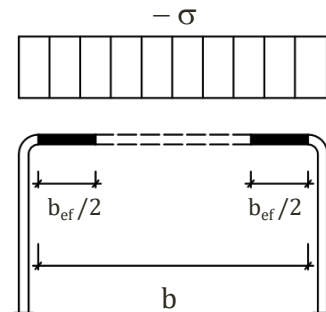


O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

MÉTODO DA LARGURA EFETIVA – RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS

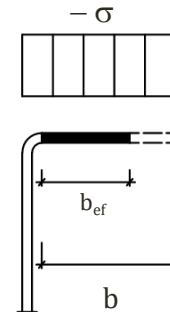


ELEMENTOS AA



$$k = 4,00$$

ELEMENTOS AL



$$k = 0,43$$

(Obs.: ver tabelas 5 e 6 da NBR 14762:2010)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

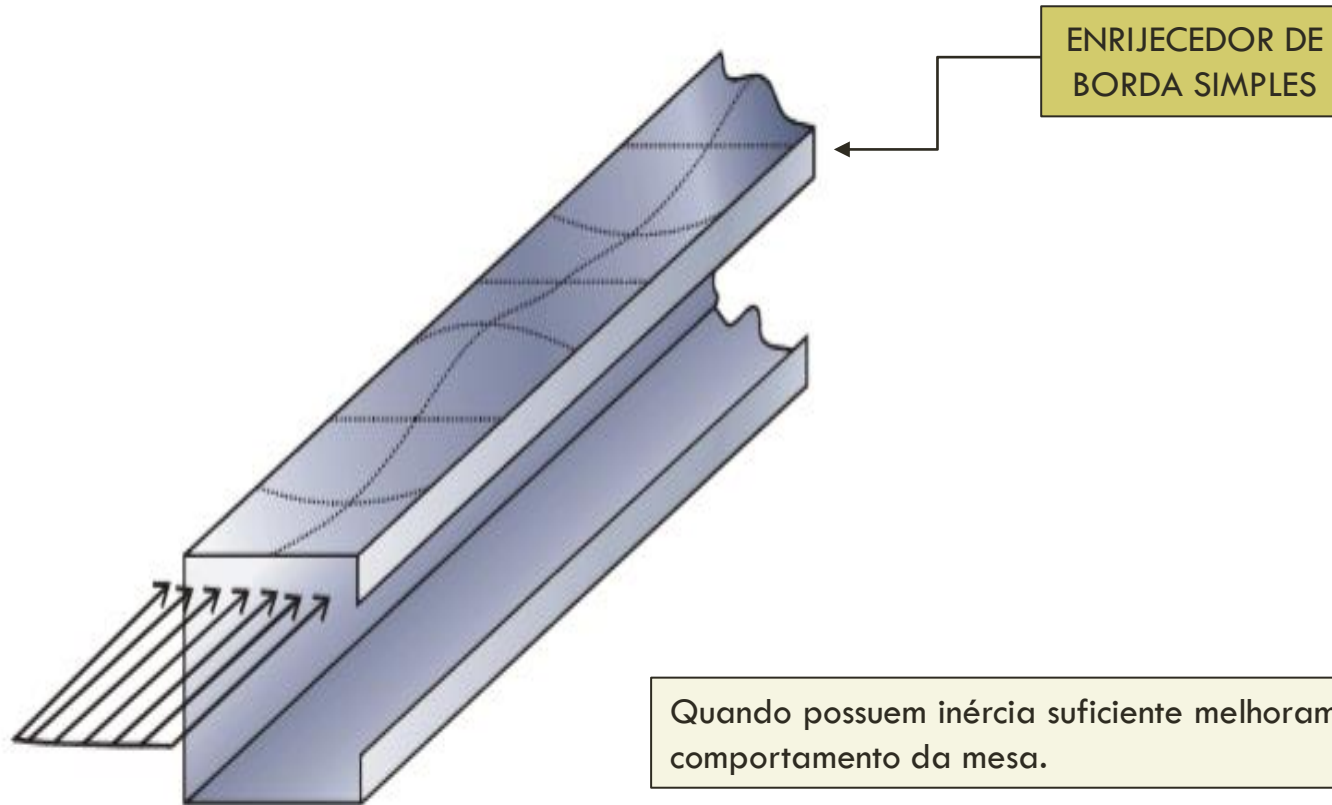
Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

ELEMENTOS COM ENRIJECEDOR DE BORDA SIMPLES



Fonte: SILVA (2006)

Quando possuem inércia suficiente melhoram o comportamento da mesa.



Quando não possuem inércia suficiente podem sofrer instabilidade e induzir a instabilidade da mesa.



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial

Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

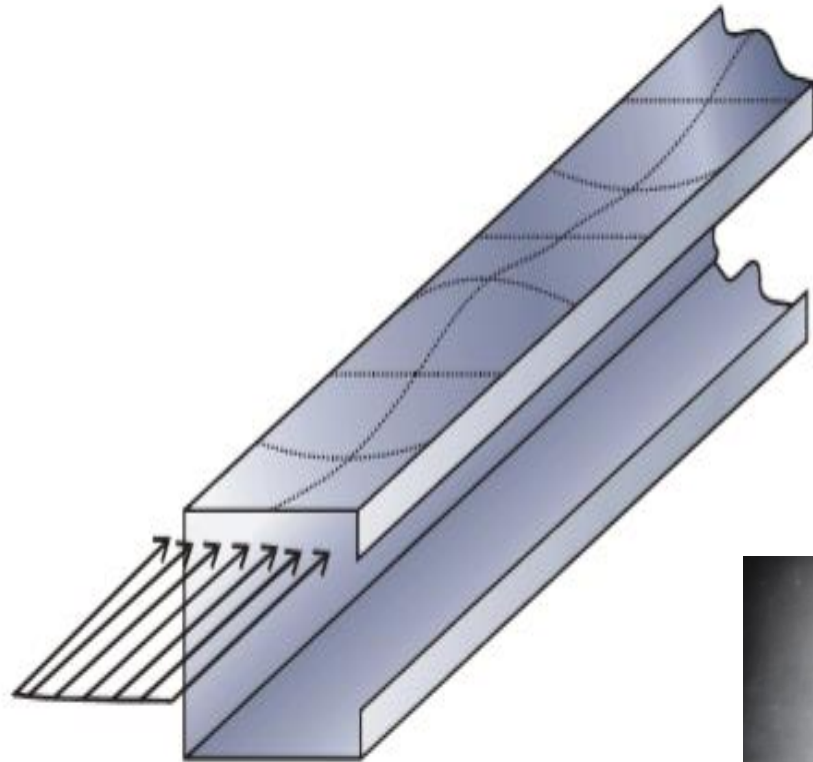
Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhagual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

ELEMENTOS COM ENRIJECEDOR DE BORDA SIMPLES



Fonte: SILVA (2006)

Elemento AA: $k = 4,00$

Elemento AL: $k = 0,43$

E no caso de
elemento plano
com enrijecedor
de borda, $k = ?$



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial

Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

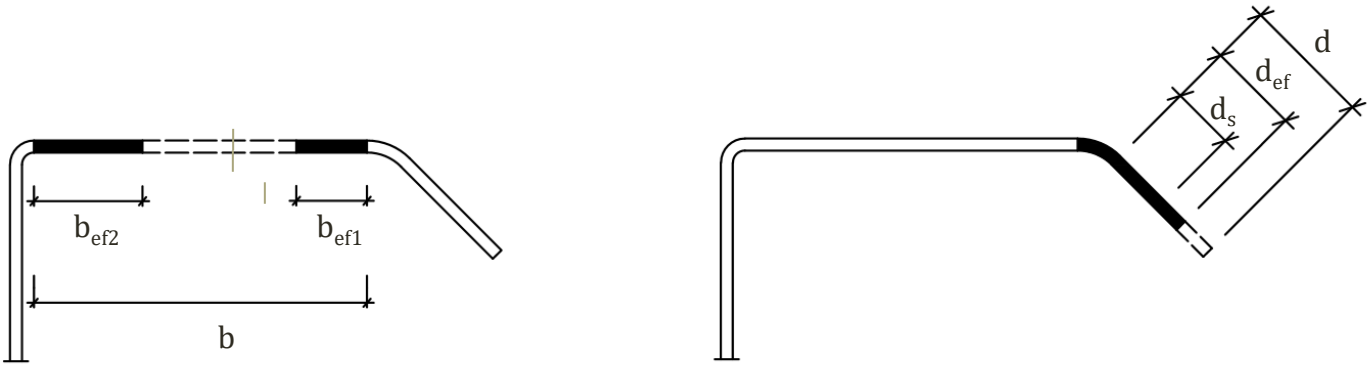
Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhamento Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

ELEMENTOS COM ENRIJECEDOR DE BORDA SIMPLES



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade Global	Instabilidade Local (MLE)	Instabilidade Local (MSE)	Instabilidade Distorcional	
----------------------	---------------------------	---------------------------	----------------------------	--

O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhagual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

PASSO 1: VERIFICA-SE SE HÁ NECESSIDADE DO ENRIJECEDOR DE BORDA

$$\lambda_{p0} = \frac{\frac{b}{t}}{0,623 \sqrt{\frac{E}{\sigma}}}$$

Se $\lambda_{p0} \leq 0,673$

Não há necessidade do enrijecedor de borda

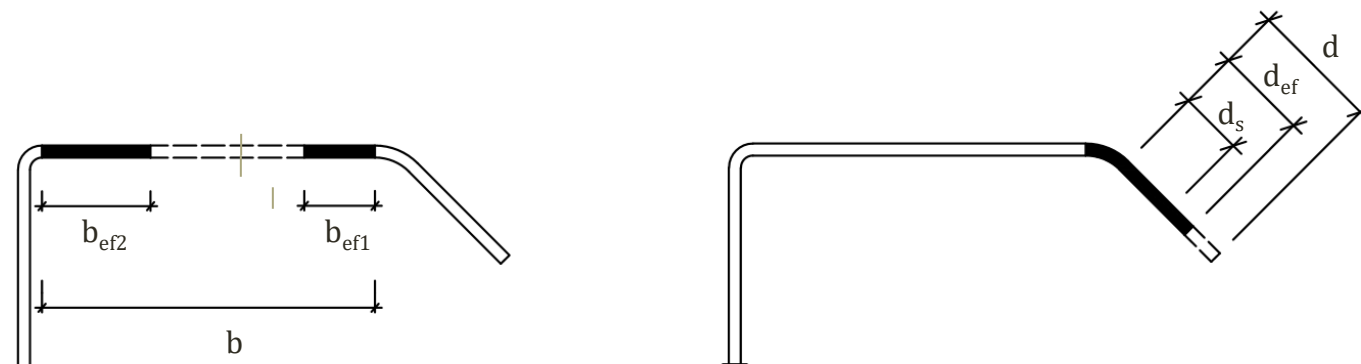
Mesa: $b_{ef} = b$
Enrijecedor: $d_s = d_{ef}$

Se $\lambda_{p0} > 0,673$

Há necessidade do enrijecedor de borda

Mesa: $b_{ef} = ?$
Enrijecedor: $d_s = ?$

ELEMENTOS COM ENRIJECEDOR DE BORDA SIMPLES



PASSO 2: DETERMINA-SE A INÉRCIA DO ENRIJECEDOR E A INÉRCIA DE REFERÊNCIA

$$I_s = \frac{(td^3 \sin^2 \theta)}{12}$$

Momento de inércia da seção bruta do enrijecedor em relação ao eixo que passa pelo seu centróide e é paralelo ao elemento a ser enrijecido.

$$I_a = 399t^4(0,487\lambda_{p0} - 0,328)^3 \leq t^4(56\lambda_{p0} + 5)$$

Momento de inércia de referência do enrijecedor de borda.

$$I_s/I_a \leq 1$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

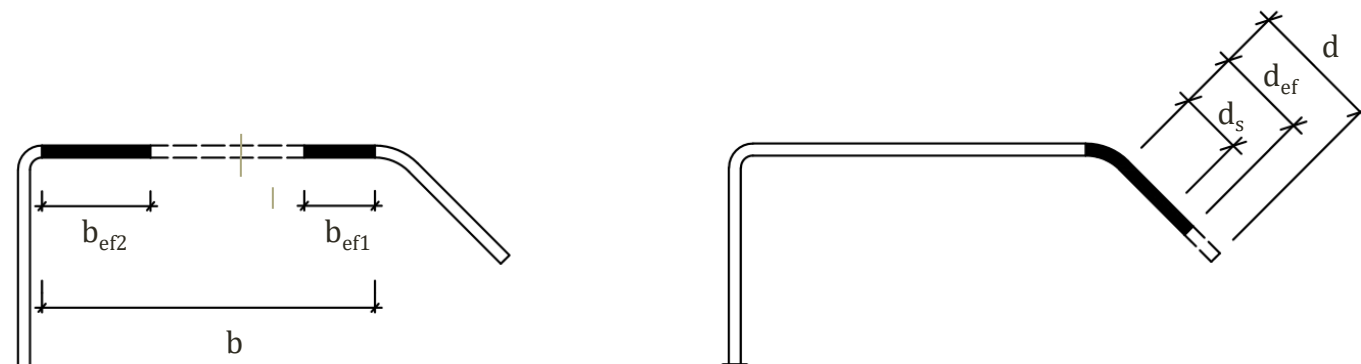
Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

ELEMENTOS COM ENRIJECEDOR DE BORDA SIMPLES



PASSO 3: DETERMINA-SE DO COEFICIENTE DE INSTABILIDADE

Se $D/b \leq 0,25$:

$$k = 3,57 \left(\frac{I_s}{I_a} \right)^n + 0,43 \leq 4,0$$

Se $0,25 < D/b \leq 0,8$:

$$k = \left[4,82 - 5 \left(\frac{D}{b} \right) \right] \left(\frac{I_s}{I_a} \right)^n + 0,43 \leq 4,0$$

Onde:

$$n = (0,582 - 0,122\lambda_{p0}) \geq 0,33$$

O que acontece
se $I_s = 0$? e se
tivermos $I_s = I_a$?



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhagual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



EXERCÍCIO

Parte 2/3 – MLE

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial

Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

EXERCÍCIO

Considerando a situação mostrada na figura, determine o N_{crd} de um perfil U 250 x 85 x 25 x 2,00 em aço com tensão de escoamento de 300MPa.

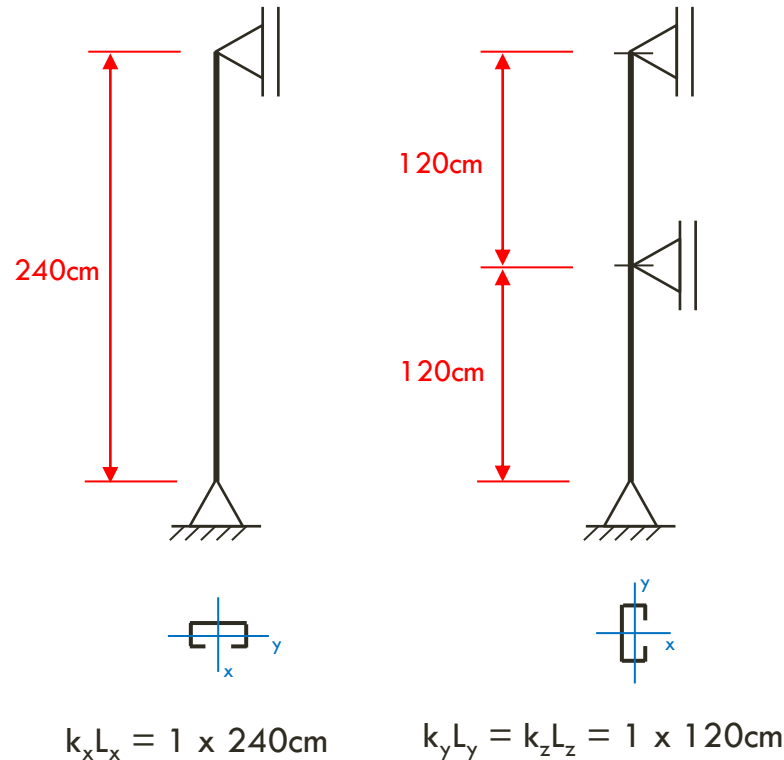
1. Dados da Questão

$b_w =$	25,0 cm
$b_f =$	8,5 cm
$D =$	2,5 cm
$t =$	0,2 cm
$r_i =$	0,2 cm

$f_y =$	30 kN/cm ²
$E =$	20000 kN/cm ²
$G =$	7700 kN/cm ²
$\nu =$	0,3

$k_x L_x =$	240 cm
$k_y L_y =$	120 cm
$k_z L_z =$	120 cm

$A =$	9,14 cm ²
$x_g =$	2,43 cm
$x_0 =$	6,09 cm
$I_x =$	871,52 cm ⁴
$W_x =$	69,72 cm ³
$r_x =$	9,77 cm
$I_y =$	88,98 cm ⁴
$W_y =$	14,67 cm ³
$r_y =$	3,12 cm
$I_t = J =$	0,12 cm ⁴
$C_w =$	11.477,06 cm ⁶
$r_o =$	11,93 cm



Instabilidade Global



$$\chi = 0,890$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade Global

Instabilidade Local (MLE)

Instabilidade Local (MSE)

Instabilidade Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

EXERCÍCIO

Considerando a situação mostrada na figura, determine o N_{crd} de um perfil U 250 x 85 x 25 x 2,00 em aço com tensão de escoamento de 300MPa.

1. Dados da Questão

$b_w =$	25,0 cm
$b_f =$	8,5 cm
$D =$	2,5 cm
$t =$	0,2 cm
$r_i =$	0,2 cm

$f_y =$	30 kN/cm ²
$E =$	20000 kN/cm ²
$G =$	7700 kN/cm ²
$\nu =$	0,3
$k_x l_x =$	240 cm
$k_y l_y =$	120 cm
$k_z l_z =$	120 cm

$A =$	9,14 cm ²
$x_g =$	2,43 cm
$x_0 =$	6,09 cm
$I_x =$	871,52 cm ⁴
$W_x =$	69,72 cm ³
$r_x =$	9,77 cm
$I_y =$	88,98 cm ⁴
$W_y =$	14,67 cm ³
$r_y =$	3,12 cm
$I_t = J =$	0,12 cm ⁴
$C_w =$	11.477,06 cm ⁶
$r_o =$	11,93 cm



$$\sigma = \chi f_y = 0,890 \times 30$$

$$\sigma = 26,70 \text{ kN/cm}^2$$

3. Determinação da Área Efetiva (MLE)

3.1 – Enrijecedores de Borda

$$b = 2,5 - 2 \times 0,2 = 2,10 \text{ cm}$$

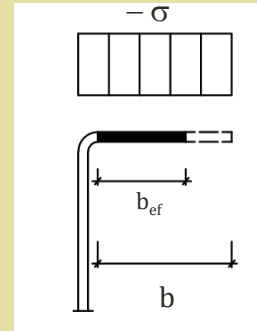
$$\frac{b}{t} = \frac{2,10}{0,20} = 10,50$$

$$k = 0,43$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{b}{t}}{0,95 \sqrt{\frac{kE}{\sigma}}} = \frac{10,50}{0,95 \sqrt{\frac{0,43 \times 20.000}{26,70}}}$$

$$\lambda_p = 0,616 < 0,673$$

$$b_{ef,en} = d_{ef} = 2,10 \text{ cm}$$



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhamento Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

EXERCÍCIO

Considerando a situação mostrada na figura, determine o N_{crd} de um perfil U 250 x 85 x 25 x 2,00 em aço com tensão de escoamento de 300MPa.

1. Dados da Questão

$b_w =$	25,0 cm
$b_f =$	8,5 cm
$D =$	2,5 cm
$t =$	0,2 cm
$r_i =$	0,2 cm

$A =$	9,14 cm ²
$x_g =$	2,43 cm
$x_0 =$	6,09 cm
$I_x =$	871,52 cm ⁴
$W_x =$	69,72 cm ³
$r_x =$	9,77 cm
$I_y =$	88,98 cm ⁴
$W_y =$	14,67 cm ³
$r_y =$	3,12 cm
$I_t = J =$	0,12 cm ⁴
$C_w =$	11.477,06 cm ⁶
$r_o =$	11,93 cm

$f_y =$	30 kN/cm ²
$E =$	20000 kN/cm ²
$G =$	7700 kN/cm ²
$\nu =$	0,3

$k_x l_x =$	240 cm
$k_y l_y =$	120 cm
$k_z l_z =$	120 cm



3.2 – Mesas

$$b = 8,5 - 4 \times 0,2 = 7,70 \text{ cm}$$

$$\frac{b}{t} = \frac{7,70}{0,20} = 38,50$$

$$\lambda_{p0} = \frac{\frac{b}{t}}{0,623 \sqrt{\frac{E}{\sigma}}} = \frac{38,50}{0,623 \sqrt{\frac{20.000}{26,70}}}$$

$$\lambda_{p0} = 2,258 > 0,623$$

$$I_s = \frac{td^3}{12} = \frac{0,20 \times 2,10^3}{12} = 0,154 \text{ cm}^4$$

$$I_a = 399t^4(0,487\lambda_{p0} - 0,328)^3 \leq t^4(56\lambda_{p0} + 5)$$

$$I_a = 0,210 \text{ cm}^4$$

$$\frac{I_s}{I_a} = \frac{0,154}{0,210} = 0,734 \leq 1,0$$

$$n = (0,582 - 0,122\lambda_{p0}) \geq 1/3$$

$$n = 0,333$$

$$\frac{D}{b} = \frac{25}{7,70} = 0,325$$

$$k = \left(4,82 - 5 \frac{D}{B}\right) \left(\frac{I_s}{I_a}\right)^n + 0,43 \leq 4,0$$

$$k = 3,313$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

EXERCÍCIO

Considerando a situação mostrada na figura, determine o N_{crd} de um perfil U 250 x 85 x 25 x 2,00 em aço com tensão de escoamento de 300MPa.

1. Dados da Questão

$b_w =$	25,0 cm
$b_f =$	8,5 cm
$D =$	2,5 cm
$t =$	0,2 cm
$r_i =$	0,2 cm

$A =$	9,14 cm ²
$x_g =$	2,43 cm
$x_0 =$	6,09 cm
$I_x =$	871,52 cm ⁴
$W_x =$	69,72 cm ³
$r_x =$	9,77 cm
$I_y =$	88,98 cm ⁴
$W_y =$	14,67 cm ³
$r_y =$	3,12 cm
$I_t = J =$	0,12 cm ⁴
$C_w =$	11.477,06 cm ⁶
$r_o =$	11,93 cm

$f_y =$	30 kN/cm ²
$E =$	20000 kN/cm ²
$G =$	7700 kN/cm ²
$\nu =$	0,3

$k_x L_x =$	240 cm
$k_y L_y =$	120 cm
$k_z L_z =$	120 cm



$$k = 3,313$$

$$\lambda_p = \frac{\frac{b}{t}}{0,95 \sqrt{\frac{kE}{\sigma}}} = \frac{38,50}{0,95 \sqrt{\frac{3,344 \times 20.000}{26,70}}}$$

$$\lambda_p = 0,813 > 0,673$$

$$b_{ef,mesa} = b \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p} \right) \frac{1}{\lambda_p}$$

$$b_{ef,mesa} = 7,70 \times \left(1 - \frac{0,22}{0,813} \right) \times \frac{1}{0,813}$$

$$b_{ef,mesa} = 6,91 \text{ cm}$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhado Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

EXERCÍCIO

Considerando a situação mostrada na figura, determine o N_{crd} de um perfil U 250 x 85 x 25 x 2,00 em aço com tensão de escoamento de 300MPa.

1. Dados da Questão

$b_w =$	25,0 cm
$b_f =$	8,5 cm
$D =$	2,5 cm
$t =$	0,2 cm
$r_i =$	0,2 cm

$f_y =$	30 kN/cm ²
$E =$	20000 kN/cm ²
$G =$	7700 kN/cm ²
$\nu =$	0,3

$k_x L_x =$	240 cm
$k_y L_y =$	120 cm
$k_z L_z =$	120 cm

$A =$	9,14 cm ²
$x_g =$	2,43 cm
$x_0 =$	6,09 cm
$I_x =$	871,52 cm ⁴
$W_x =$	69,72 cm ³
$r_x =$	9,77 cm
$I_y =$	88,98 cm ⁴
$W_y =$	14,67 cm ³
$r_y =$	3,12 cm
$I_t = J =$	0,12 cm ⁴
$C_w =$	11.477,06 cm ⁶
$r_o =$	11,93 cm



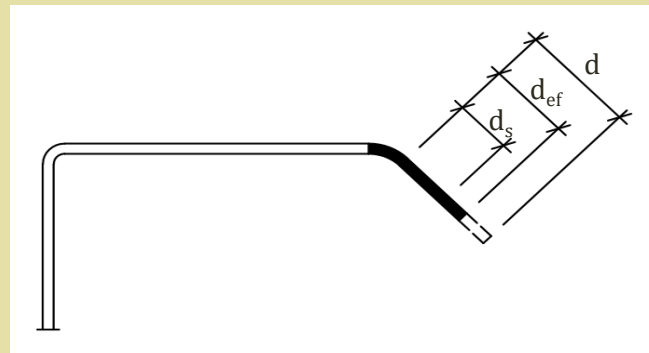
3.3 – Largura Efetiva Reduzida do Enrijecedor

$$\text{Se } \lambda_{p0} \leq 0,623: d_s = d_{ef}$$

$$\text{Se } \lambda_{p0} > 0,623: d_s = (I_s/I_a)d_{ef}$$

$$d_s = (I_s/I_a)d_{ef} = 0,734 \times 2,10$$

$$d_s = 1,54 \text{ cm}$$



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhamento](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) 4.0 Internacional.

EXERCÍCIO

Considerando a situação mostrada na figura, determine o N_{crd} de um perfil U 250 x 85 x 25 x 2,00 em aço com tensão de escoamento de 300MPa.

1. Dados da Questão

$b_w =$	25,0 cm
$b_f =$	8,5 cm
$D =$	2,5 cm
$t =$	0,2 cm
$r_i =$	0,2 cm

$f_y =$	30 kN/cm ²
$E =$	20000 kN/cm ²
$G =$	7700 kN/cm ²
$\nu =$	0,3

$k_x l_x =$	240 cm
$k_y l_y =$	120 cm
$k_z l_z =$	120 cm

$A =$	9,14 cm ²
$x_g =$	2,43 cm
$x_0 =$	6,09 cm
$I_x =$	871,52 cm ⁴
$W_x =$	69,72 cm ³
$r_x =$	9,77 cm
$I_y =$	88,98 cm ⁴
$W_y =$	14,67 cm ³
$r_y =$	3,12 cm
$I_t = J =$	0,12 cm ⁴
$C_w =$	11.477,06 cm ⁶
$r_o =$	11,93 cm



3.4 – Alma

$$b = 25 - 4 \times 0,2 = 24,20 \text{ cm}$$

$$\frac{b}{t} = \frac{24,20}{0,20} = 121$$

$$k = 4,00$$

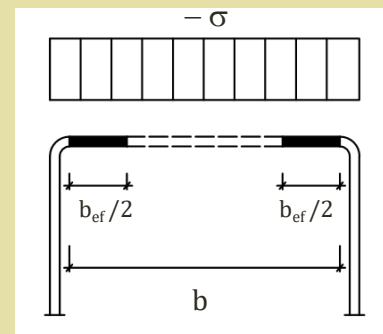
$$\lambda_p = \frac{\frac{b}{t}}{0,95 \sqrt{\frac{kE}{\sigma}}} = \frac{121}{0,95 \sqrt{\frac{4,00 \times 20.000}{26,70}}}$$

$$\lambda_p = 2,327$$

$$b_{ef,alma} = b \left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p} \right) \frac{1}{\lambda_p}$$

$$b_{ef,alma} = 24,2 \times \left(1 - \frac{0,22}{2,327} \right) \frac{1}{2,327}$$

$$b_{ef,alma} = 9,42 \text{ cm}$$



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhagual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

EXERCÍCIO

Considerando a situação mostrada na figura, determine o N_{cRd} de um perfil U 250 x 85 x 25 x 2,00 em aço com tensão de escoamento de 300MPa.

1. Dados da Questão

$b_w =$	25,0 cm
$b_f =$	8,5 cm
$D =$	2,5 cm
$t =$	0,2 cm
$r_i =$	0,2 cm

$f_y =$	30 kN/cm ²
$E =$	20000 kN/cm ²
$G =$	7700 kN/cm ²
$\nu =$	0,3

$k_x l_x =$	240 cm
$k_y l_y =$	120 cm
$k_z l_z =$	120 cm

$A =$	9,14 cm ²
$x_g =$	2,43 cm
$x_0 =$	6,09 cm
$I_x =$	871,52 cm ⁴
$W_x =$	69,72 cm ³
$r_x =$	9,77 cm
$I_y =$	88,98 cm ⁴
$W_y =$	14,67 cm ³
$r_y =$	3,12 cm
$I_t = J =$	0,12 cm ⁴
$C_w =$	11.477,06 cm ⁶
$r_o =$	11,93 cm



3.5 – Área Efetiva da Seção Transversal

$$A_{ef} = A - \sum (b - b_{ef}) t$$

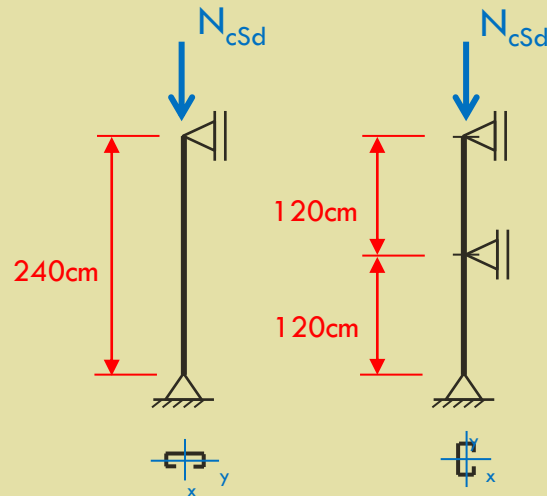
$$A_{ef} = 9,14 - [2 \times (2,10 - 1,54) + 2 \times (7,70 - 6,91) + (24,20 - 9,42)] \times 0,2$$

$$A_{ef} = 5,64 \text{ cm}^2$$

4. Determinação do Esforço Resistente

$$N_{cRd,1} = \frac{\chi A_{ef} f_y}{\gamma} = \frac{0,890 \times 5,64 \times 30}{1,20}$$

$$N_{cRd,1} = 125,49 \text{ kN}$$



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhado Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



PARTE 2 – INSTABILIDADE LOCAL

b) O Método da Seção Efetiva (MSE)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

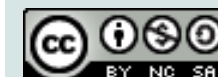
Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhaval](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/) 4.0 Internacional.



Determinação de k_L

k_L = Coeficiente de flambagem local

$$N_L = k_L \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2) \left(\frac{b_w}{t}\right)^2} A$$

N_L = Força axial de flambagem local elástica

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{A\sigma}{N_L}}$$

$\sigma = \chi f_y$

Para $\lambda_p \leq 0,776 \rightarrow A_{ef} = A$

Para $\lambda_p > 0,776 \rightarrow A_{ef} = A \left(1 - \frac{0,15}{\lambda_p^{0,8}}\right) \frac{1}{\lambda_p^{0,8}}$

Fazendo: $\left(1 - \frac{0,15}{\lambda_p^{0,8}}\right) \frac{1}{\lambda_p^{0,8}} = 1,0$

$$\lambda_p = 0,776$$

Coeficiente de flambagem local k_L para barras sob compressão centrada

	Caso a: Seções U Simples e Z Simples $k_L = 4,0 + 3,4\eta + 21,8\eta^2 - 174,3\eta^3 + 319,9\eta^4 - 237,6\eta^5 + 63,6\eta^6$ $(0,1 \leq \eta \leq 1,0)$
	Caso b: Seções U Enrijecido, Z Enrijecido e Cartola $k_L = 6,8 - 5,8\eta + 9,2\eta^2 - 6,0\eta^3$ $(0,1 \leq \eta \leq 1,0 \text{ e } 0,1 \leq \frac{D}{b_w} \leq 0,3)$
	Caso c : Seções Rack $k_L = 6,5 - 3,0\eta + 2,8\eta^2 - 1,6\eta^3$ $(0,1 \leq \eta \leq 1,0; \quad 0,1 \leq \frac{D}{b_w} \leq 0,3 \text{ e } 0,1 \leq b_s/b_w \leq 0,4)$
	Caso d : Seções tubulares com solda de costura contínua $k_L = 6,6 - 5,8\eta + 8,6\eta^2 - 5,4\eta^3$ $(0,1 \leq \eta \leq 1,0)$

$$\eta = \frac{b_f}{b_w}$$

(Fonte: tabela 9 da NBR 14762:2010)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhagual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Valores do coeficiente de flambagem local k_l para barras sob compressão centrada

	Caso a	Caso b	Caso c	Caso d
$\eta = b_f/b_w$	Seção U Simples Seção Z Simples	Seção U enrijecido Seção Z enrijecido Seção Cartola	Seção Rack	Seção tubular com solda de costura contínua
0,1	4,25	-	-	-
0,2	4,52	6,04	-	5,67
0,3	4,33	5,73	5,76	5,44
0,4	3,71	5,55	5,61	5,29
0,5	2,88	5,40	5,47	5,16
0,6	2,17	5,26	5,35	5,03
0,7	1,67	5,11	5,23	4,87
0,8	1,32	4,89	5,10	4,66
0,9	1,06	4,56	4,85	4,37
1,0	0,88	4,10	4,56	4,00

Nota 1: b_f , b_w , b_s e D são as dimensões nominais dos elementos

Nota 2: para o caso b, os valores são válidos para $0,1 \leq D/b_w \leq 0,3$

Nota 3: para o caso c, os valores são válidos para $0,1 \leq D/b_w \leq 0,3$ e $0,1 \leq b_s/b_w \leq 0,4$

Nota 4: para valores intermediários, interpolar linearmente

(Fonte: tabela 10 da NBR 14762:2010)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos

Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial

Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



EXERCÍCIO

Parte 2/3 – MSE

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

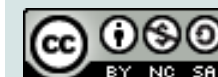
Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

EXERCÍCIO

Considerando a situação mostrada na figura, determine o N_{crd} de um perfil U 250 x 85 x 25 x 2,00 em aço com tensão de escoamento de 300MPa.

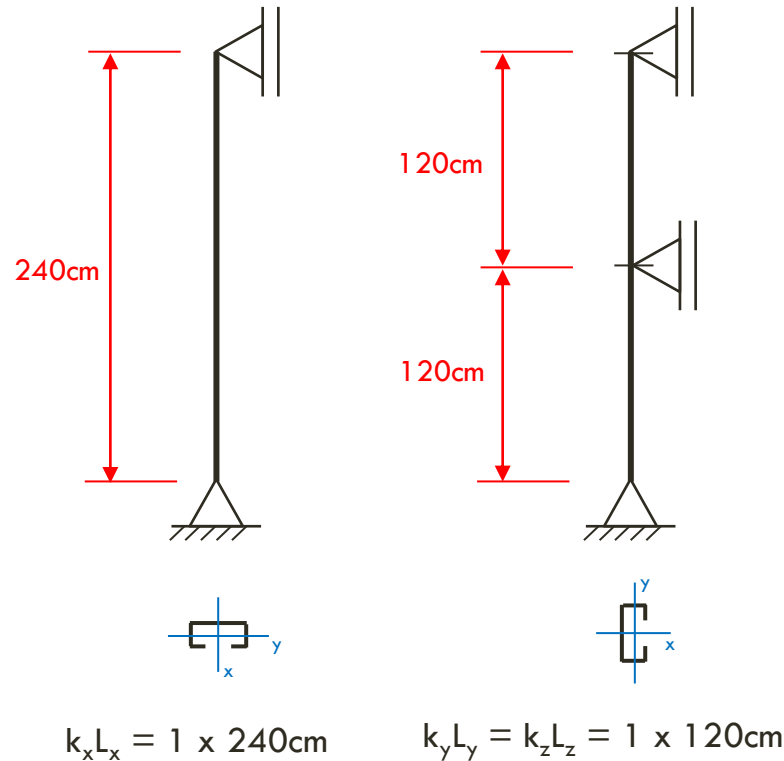
1. Dados da Questão

$b_w =$	25,0 cm
$b_f =$	8,5 cm
$D =$	2,5 cm
$t =$	0,2 cm
$r_i =$	0,2 cm

$f_y =$	30 kN/cm ²
$E =$	20000 kN/cm ²
$G =$	7700 kN/cm ²
$\nu =$	0,3

$k_x L_x =$	240 cm
$k_y L_y =$	120 cm
$k_z L_z =$	120 cm

$A =$	9,14 cm ²
$x_g =$	2,43 cm
$x_0 =$	6,09 cm
$I_x =$	871,52 cm ⁴
$W_x =$	69,72 cm ³
$r_x =$	9,77 cm
$I_y =$	88,98 cm ⁴
$W_y =$	14,67 cm ³
$r_y =$	3,12 cm
$I_t = J =$	0,12 cm ⁴
$C_w =$	11.477,06 cm ⁶
$r_o =$	11,93 cm



Instabilidade Global



$$\chi = 0,890$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade Global

Instabilidade Local (MLE)

Instabilidade Local (MSE)

Instabilidade Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

EXERCÍCIO

Considerando a situação mostrada na figura, determine o N_{cRd} de um perfil U 250 x 85 x 25 x 2,00 em aço com tensão de escoamento de 300MPa.

1. Dados da Questão

$b_w =$	25,0 cm
$b_f =$	8,5 cm
$D =$	2,5 cm
$t =$	0,2 cm
$r_i =$	0,2 cm

$f_y =$	30 kN/cm ²
$E =$	20000 kN/cm ²
$G =$	7700 kN/cm ²
$\nu =$	0,3

$k_x l_x =$	240 cm
$k_y l_y =$	120 cm
$k_z l_z =$	120 cm

$A =$	9,14 cm ²
$x_g =$	2,43 cm
$x_0 =$	6,09 cm
$I_x =$	871,52 cm ⁴
$W_x =$	69,72 cm ³
$r_x =$	9,77 cm
$I_y =$	88,98 cm ⁴
$W_y =$	14,67 cm ³
$r_y =$	3,12 cm
$I_t = J =$	0,12 cm ⁴
$C_w =$	11.477,06 cm ⁶
$r_o =$	11,93 cm



$$\sigma = \chi f_y = 0,890 \times 30 = 26,70 \text{ kN/cm}^2$$

3. Determinação da Área Efetiva (MSE)

$$\eta = \frac{b_f}{b_w} = \frac{8,5}{25,0} = 0,34$$

$$k_L = 6,8 - 5,8\eta + 9,2\eta^2 - 6,0\eta^3 = 5,66$$

$$N_L = k_L \frac{\pi^2 E}{12(1 - \nu^2) \left(\frac{b_w}{t}\right)^2} A = 59,72 \text{ kN}$$

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{A\sigma}{N_L}} = 2,021$$

$$A_{ef} = A \left(1 - \frac{0,15}{\lambda_p^{0,8}}\right) \frac{1}{\lambda_p^{0,8}}$$

$$A_{ef} = 4,76 \text{ cm}^2$$

4. Determinação do Esforço Resistente

$$N_{cRd} = \frac{\chi A_{ef} f_y}{\gamma} = \frac{0,890 \times 4,76 \times 30}{1,20}$$

$$N_{cRd} = 105,91 \text{ kN}$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhado Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

EXERCÍCIO

Considerando a situação mostrada na figura, determine o N_{crd} de um perfil U 250 x 85 x 25 x 2,00 em aço com tensão de escoamento de 300MPa.

1. Dados da Questão

$b_w =$	25,0 cm
$b_f =$	8,5 cm
$D =$	2,5 cm
$t =$	0,2 cm
$r_i =$	0,2 cm

$A =$	9,14 cm ²
$x_g =$	2,43 cm
$x_0 =$	6,09 cm
$I_x =$	871,52 cm ⁴
$W_x =$	69,72 cm ³
$r_x =$	9,77 cm
$I_y =$	88,98 cm ⁴
$W_y =$	14,67 cm ³
$r_y =$	3,12 cm
$I_t = J =$	0,12 cm ⁴
$C_w =$	11.477,06 cm ⁶
$r_o =$	11,93 cm

$f_y =$	30 kN/cm ²
$E =$	20000 kN/cm ²
$G =$	7700 kN/cm ²
$\nu =$	0,3

$k_x l_x =$	240 cm
$k_y l_y =$	120 cm
$k_z l_z =$	120 cm



Obs.: o aplicativo PFF NBR14762 não verifica a instabilidade por distorção

Utilizando o aplicativo PFF NBR 14762:

PFF-NBR14762	
Escolha do Material	
Tensão de Escoamento (fy)	30 kN/cm ²
Módulo de elasticidade Longitudinal (E)	20000 kN/cm ²
Módulo de elasticidade Transversal (G)	7700 kN/cm ²
Coefficiente de Poisson (v)	0.3
Dimensões do Perfil	
Altura do Perfil (bw)	250 mm
Largura da Aba (bf)	85 mm
Enrijecedor (D)	25 mm
Espessura (t)	2 mm

PFF-NBR14762	
Comprimento de Flambagem e Carregamentos	
Comprimento Destravado (Lx)	240 cm
Comprimento Destravado (Ly)	120 cm
Comprimento Destravado (Lz)	120 cm
Cb	1
Esforço Normal de Compressão (Ncsd)	1 kN
Esforço Normal de Tração (Ntsd)	1 kN
Esforço Cortante (Vsd)	1 kN
Momento Fletor (Msd)	1 kN.cm

VERIFICAR	
Resistência à compressão	105,95 kN
Resistência à tração	249,19 kN
Resistência ao cisalhamento	27,20 kN
Resistência à flexão	1429,09 kN.cm
Eq. de interação (Momento Fletor e Força Cortante combinados)	0,00
Eq. de interação (Flexo-compressão)	0,01
O perfil está ok!	

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhamento 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Concluindo a parte 2...

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

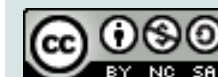
Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

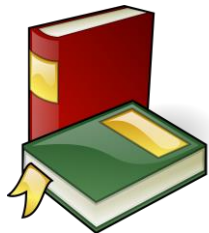
Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



SOBRE O MÉTODO DA LARGURA EFETIVA

von Karman em 1932

$$b_{ef} = ct \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,9t \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

$$c = \frac{\pi}{\sqrt{3(1-\nu^2)}} = 1,9$$

Winter em 1959

$$b_{ef} = 0,95t \sqrt{\frac{kE}{\sigma}} \left[1 - 0,208 \left(\frac{t}{b} \right) \sqrt{\frac{kE}{\sigma}} \right]$$

[apud JAVARONI (2015)]

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{\sigma}{\sigma_{cr}}} = \frac{\frac{b}{t}}{0,95 \sqrt{\frac{kE}{\sigma}}}$$

$$b_{ef} = \left[\left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p} \right) \frac{1}{\lambda_p} \right] b$$

Qual valor λ_p deve assumir para que $b_{ef} = b$?

Deve-se fazer, então:

$$\left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p} \right) \frac{1}{\lambda_p} = 1 \longrightarrow \lambda_p = 0,673$$

Com isso:

$$\text{Se } \lambda_p \leq 0,673: \quad b_{ef} = b$$

$$\text{Se } \lambda_p > 0,673: \quad b_{ef} = \left[\left(1 - \frac{0,22}{\lambda_p} \right) \frac{1}{\lambda_p} \right] b$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos

Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial

Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

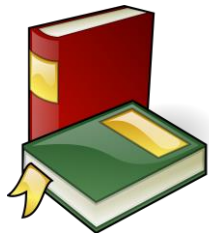
Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhagual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



SOBRE O MÉTODO DA SEÇÃO EFETIVA

BATISTA, E. M. (2010) **Effective section method: a general direct method for the design of steel cold-formed members under local-global buckling interaction**. Thin-Walled Structures. V. 48, pp. 345-356.



Pesquisa brasileira de alto nível!

Abordagem análoga a do
Método da Resistência Direta

Considera a interação entre as
instabilidades global e local

O estudo passou por processo
de validação experimental

O Método da Seção Efetiva, proposto pelo Prof. Eduardo Batista, da COPPE-UFRJ, é uma parametrização do Método da Resistência Direta.

CARVALHO *et al.* (2020)



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos

Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial

Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhagual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



PARTE 3

Instabilidade Distorcional

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

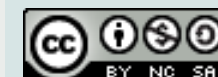
Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

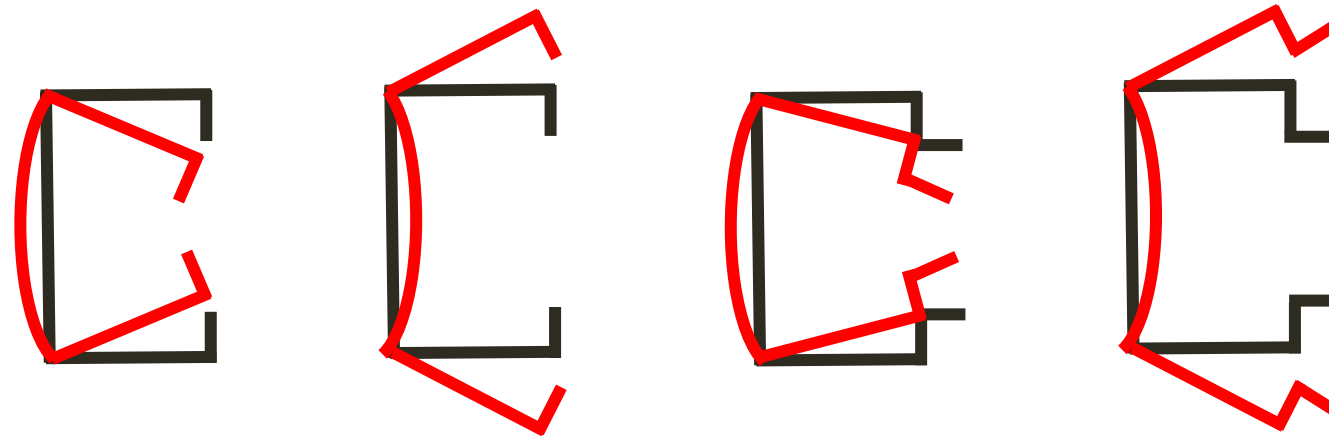
Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

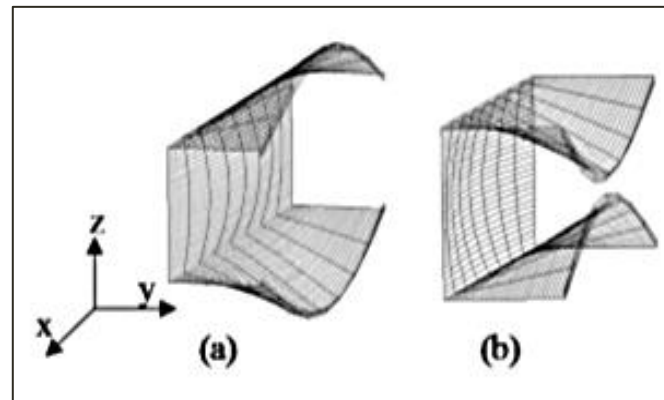


Instabilidade por Distorção

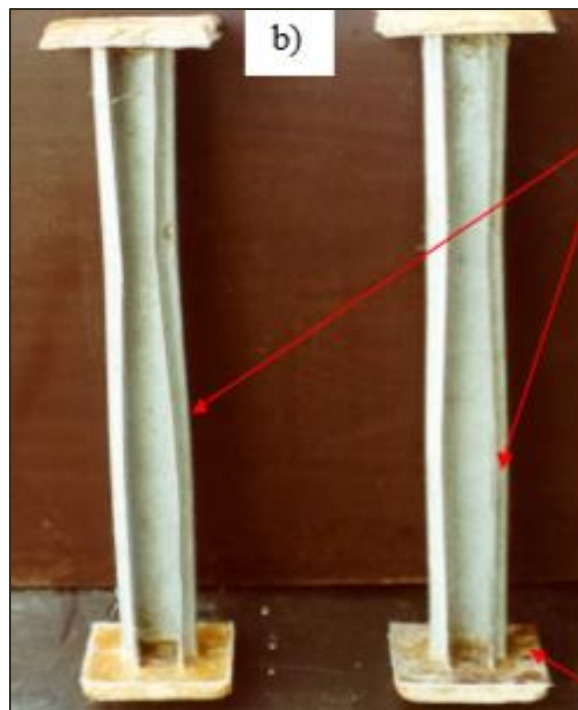
A seção transversal perde
sua forma inicial

Ocorre uma rotação dos
elementos comprimidos

Perfis U Simples não sofrem
Instabilidade Distorcional



(a) Seção que “Abre”; (b) Seção que “Fecha”
Fonte: PIERIN (2011)



VASQUEZ (2002)



VASQUEZ (2002)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio (Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial

Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



VASQUEZ (2002)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio (Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial

Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



VASQUEZ (2002)



VASQUEZ (2002)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio (Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial

Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

$$\lambda_{dist} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{dist}}}$$

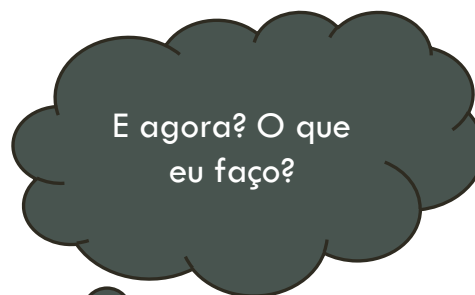
$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{Para } \lambda_{dist} \leq 0,561: & \chi_{dist} = 1 \\ \text{Para } \lambda_{dist} > 0,561: & \chi_{dist} = \left(1 - \frac{0,25}{\lambda_{dist}^{1,2}}\right) \frac{1}{\lambda_{dist}^{1,2}} \end{array} \right.$$

$$N_{cRd} = \frac{\chi_{dist} Af_y}{\gamma}$$

Fator de Minoração da resistência
($\gamma = 1,20$)

$N_{dist} = ?$ (N_{dist} é a força de flambagem elástica por distorção)

Importante: A NBR 14762/2010 não fornece expressão para N_{dist} .



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



SOLUÇÕES PARA O PROBLEMA

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Solução 1: Adotar perfis dispensados pela norma dessa verificação

Valores mínimos da relação D/b_w de barras com seção U enrijecido e seção Z enrijecido submetidas à compressão centrada, para dispensar a verificação da flambagem distorcional

	b_w/t				
b_f/b_w	250	200	125	100	50
0,4	0,02	0,03	0,04	0,04	0,08
0,6	0,03	0,04	0,06	0,06	0,15
0,8	0,05	0,06	0,08	0,10	0,22
1,0	0,06	0,07	0,10	0,12	0,27
1,2	0,06	0,07	0,12	0,15	0,27
1,4	0,07	0,08	0,12	0,15	0,27
1,6	0,07	0,08	0,12	0,15	0,27
1,8	0,07	0,08	0,12	0,15	0,27
2,0	0,07	0,08	0,12	0,15	0,27
b_f , b_w e D são as dimensões nominais dos elementos. Para valores intermediários, interpolar linearmente.					

(Fonte: Tabela 11 da NBR 14762 (2010))

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Solução 1: Adotar perfis dispensados pela norma dessa verificação

Lista de Perfis Dispensados da Verificação de Instabilidade por Distorção (U_e e Z_{90})

U_{en} 75 x 40 x 15 x 1,5
 U_{en} 100 x 40 x 17 x 1,2
 U_{en} 100 x 40 x 17 x 1,5
 U_{en} 100 x 40 x 17 x 2,0
 U_{en} 100 x 50 x 17 x 1,2
 U_{en} 100 x 50 x 17 x 1,5
 U_{en} 100 x 50 x 17 x 2,0
 U_{en} 125 x 50 x 17 x 2,0
 U_{en} 125 x 50 x 17 x 2,25
 U_{en} 150 x 60 x 20 x 2,0
 U_{en} 150 x 60 x 20 x 2,25
 U_{en} 150 x 60 x 20 x 2,65
 U_{en} 150 x 60 x 20 x 3,00

U_{en} 200 x 100 x 25 x 2,65
 U_{en} 200 x 100 x 25 x 3,00
 U_{en} 200 x 100 x 25 x 3,35
 U_{en} 200 x 100 x 25 x 3,75
 U_{en} 250 x 100 x 25 x 2,65
 U_{en} 250 x 100 x 25 x 3,00
 U_{en} 250 x 100 x 25 x 3,35
 U_{en} 250 x 100 x 25 x 3,75
 U_{en} 250 x 100 x 25 x 4,25
 U_{en} 250 x 100 x 25 x 4,75

Z_{90} 75 x 40 x 15 x 1,2
 Z_{90} 75 x 40 x 15 x 1,5
 Z_{90} 100 x 50 x 17 x 1,2
 Z_{90} 100 x 50 x 17 x 1,5
 Z_{90} 100 x 50 x 17 x 2,0
 Z_{90} 125 x 50 x 17 x 2,0
 Z_{90} 125 x 50 x 17 x 2,25
 Z_{90} 150 x 60 x 20 x 2,0
 Z_{90} 150 x 60 x 20 x 2,25
 Z_{90} 150 x 60 x 20 x 2,65
 Z_{90} 150 x 60 x 20 x 3,00

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

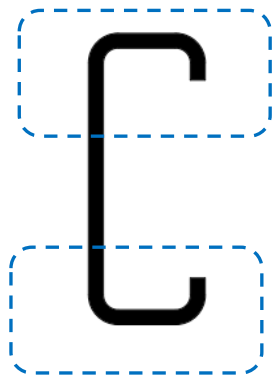
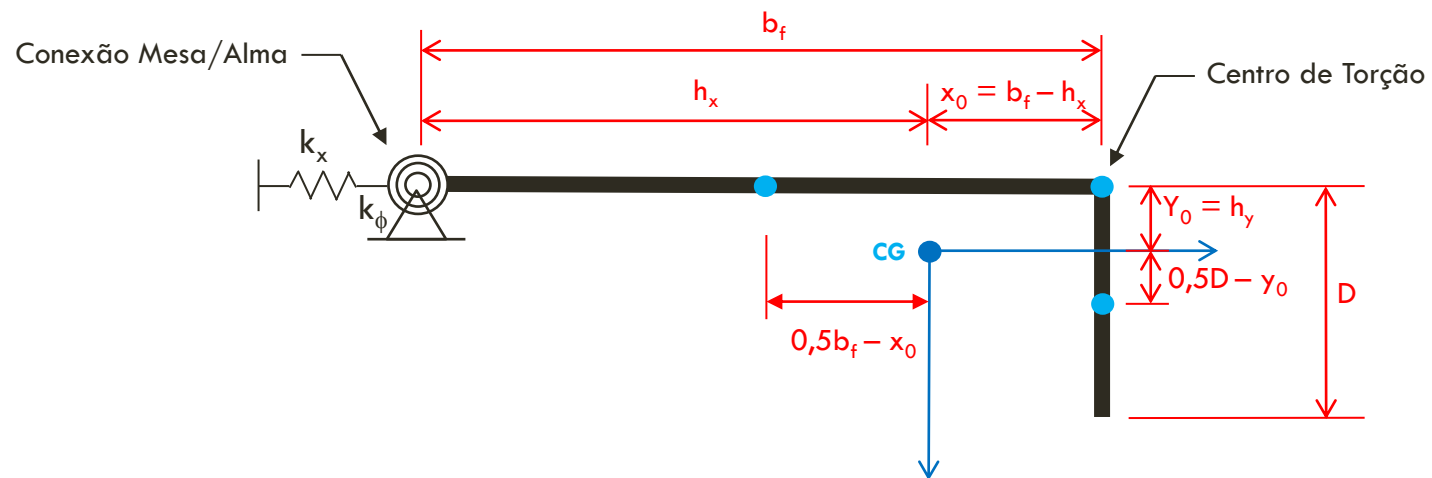
Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-CompartilhaIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Solução 2: Modelo de HANCOCK (apud JAVARONI (2015))



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

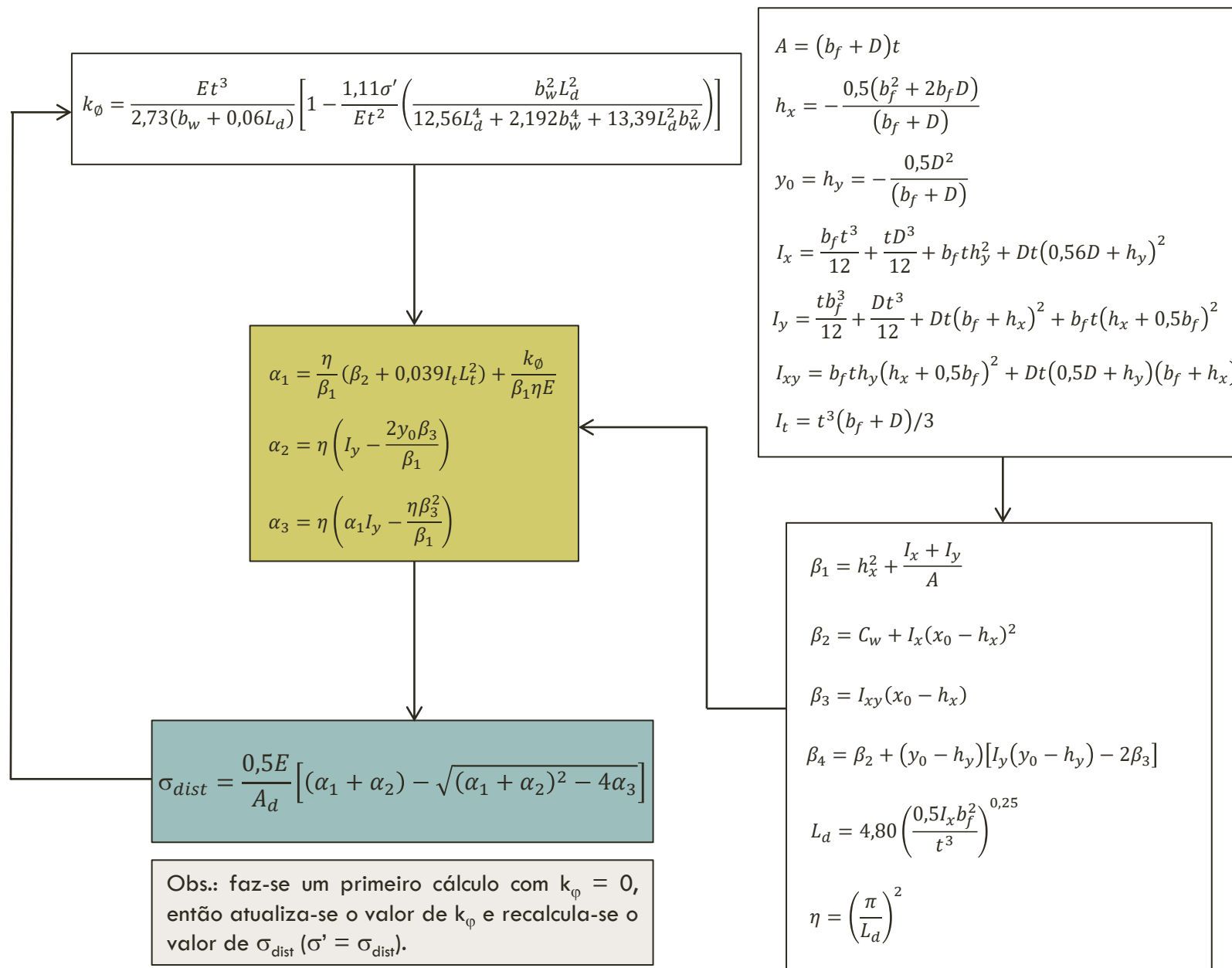
Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhagual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio (Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: **04**
Assunto: **PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial**
Quantidade de Slides: **78**

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

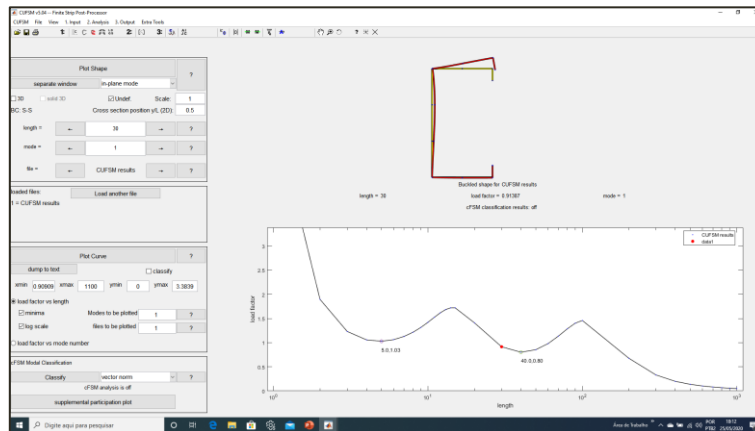
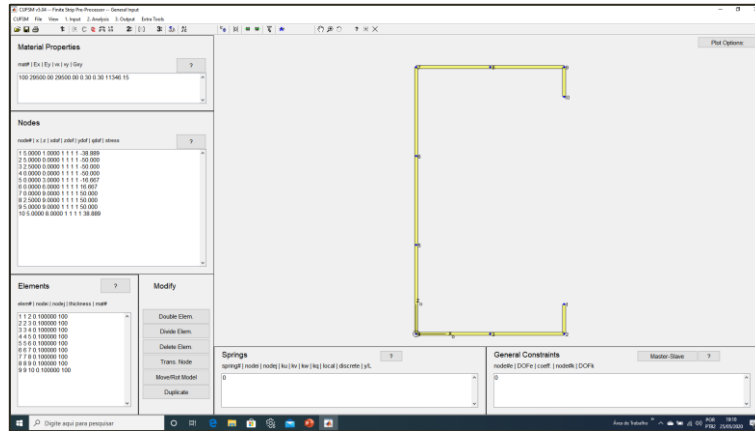
Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Solução 3: Uso de programa computacional (MEF ou MFF)



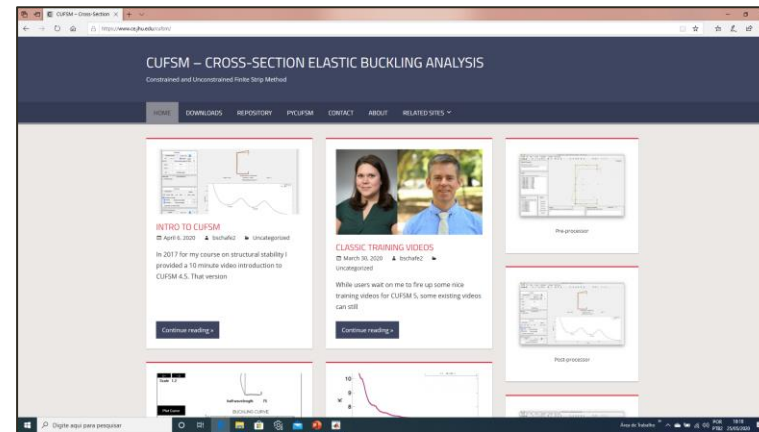
Programa CUFSM

Constrained and Unconstrained Finite Strip Method

By Ben Shafer

Fonte: <https://www.ce.jhu.edu/cufsm/>

Johns Hopkins University



Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhagual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Solução 4: Usar o programa DimPerfil

DimPerfil 4.0 - Dimensionamento de Perfis de Aço Formados a Frio

File Help

Escolha do Perfil Cálculo dos Esforços

Dimensões do perfil [cm]

Escolha do Perfil (NBR 6355)

$b_w = 10$ $t = 0.12$
 $b_f = 5$ $\alpha =$
 $D = 1.7$ $\beta = 90$
 $De =$ $\theta =$

Propriedades Geométricas a serem calculadas

☒ Seção Bruta ☐ Seção Efetiva NBR 14762/2010 ☐ Deslocamentos

Tensão de trabalho - σ : 25 kN/cm2

Atualizar

☒ N 10 kN
☐ M_x 10 kN.cm
☐ M_y 10 kN.cm

Propriedades Geométrica da Seção

Cálculo das Propriedades da Seção

$b_f = 5$ cm $b_w = 10$ cm $D = 1.7$ cm
 $\alpha = 0^\circ$ $\beta = 90^\circ$ $A = 1.7$ cm²
 $I_x = 44.08075$ cm⁴ $I_y = 10.12565$ cm⁴ $I_{xt} = 0.01301$ cm⁴
 $I_t = 0.01301$ cm⁴ $x_g = -1.78778$ cm $y_g = 0$ cm
 $x_0 = -4.27212$ cm $r_x = 4.03064$ cm $r_y = 1.9318$ cm
 $r_x = 4.03064$ cm $r_y = 1.9318$ cm $I_w = 240.10897$ cm⁶
 $W_y = 3.15223$ cm³ $m = 2.12995$ ka/m
 $\omega_0 = 0^\circ$

By Edson Lubas Silva



O **DimPerfil** verifica a Instabilidade por Distorção e pode ser baixado gratuitamente do site do Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA).

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Solução 5: Usar as tabelas apresentadas por PIERIN *et al.* (2013)



Apresenta as forças e os momentos críticos devido às flambagens local e distorcional dos perfis comerciais listados na NBR 6355/2003.

Programa Computacional INSTAB
(Método das Faixas Finitas)

PIERIN, I.; SILVA, V. P.; ROVERE, H. L. (2013). **Forças normais e momentos fletores críticos de perfis formados a frio**. Revista da estrutura de aço. Volume 2; No. 1. Centro Brasileiro da Construção em Aço.

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Tabela 2 - Forças normais e momentos fletores críticos para perfis Ue.

Ue	N _g (kN)	N _{dist} (kN)	M _{g,x} (kNm)	M _{dist,x} (kNm)	M _{g,y} (kNm)
50 x 25 x 10 x 1,20	86,96	95,51	4,51	2,81	0,91
50 x 25 x 10 x 1,50	167,79	154,62	8,70	4,51	1,77
50 x 25 x 10 x 2,00	368,58	290,84	20,01	8,40	4,16
50 x 25 x 10 x 2,25	520,84	378,53	27,89	10,88	5,88
50 x 25 x 10 x 2,65	836,40	547,38	----	15,62	9,54
50 x 25 x 10 x 3,00	1187,74	726,23	----	20,60	13,72
75 x 40 x 15 x 1,20	55,27	89,68	4,27	3,88	0,98
75 x 40 x 15 x 1,50	107,75	143,66	8,29	6,18	1,90
75 x 40 x 15 x 2,00	254,45	265,86	19,44	11,34	4,50
75 x 40 x 15 x 2,25	360,94	343,33	27,49	14,57	6,39
75 x 40 x 15 x 2,65	586,37	490,11	44,30	20,70	10,41
75 x 40 x 15 x 3,00	847,53	645,28	63,26	27,11	15,05
100 x 40 x 17 x 1,20	37,17	98,93	5,48	5,27	0,71
100 x 40 x 17 x 1,50	72,46	130,03	10,66	8,41	1,39
100 x 40 x 17 x 2,00	170,82	240,76	25,11	15,45	3,28
100 x 40 x 17 x 2,25	242,78	310,64	35,58	19,87	4,67
100 x 40 x 17 x 2,65	394,49	444,88	57,60	28,27	7,58
100 x 40 x 17 x 3,00	569,22	584,89	82,67	37,03	10,96
100 x 40 x 17 x 3,35	788,23	747,51	113,43	47,14	15,21
100 x 50 x 17 x 1,20	39,69	80,47	4,59	4,61	0,90
100 x 50 x 17 x 1,50	77,37	128,77	8,93	7,33	1,75
100 x 50 x 17 x 2,00	183,07	237,89	21,00	13,44	4,14
100 x 50 x 17 x 2,25	260,17	306,91	29,73	17,25	5,88
100 x 50 x 17 x 2,65	423,49	438,45	48,10	24,49	9,57
100 x 50 x 17 x 3,00	612,14	575,60	69,02	32,04	13,86
100 x 50 x 17 x 3,35	847,59	736,27	94,77	40,71	19,23
125 x 50 x 17 x 2,00	132,56	207,10	25,12	15,98	3,20
125 x 50 x 17 x 2,25	188,40	267,92	35,59	20,57	4,55
125 x 50 x 17 x 2,65	306,68	384,19	57,53	29,31	7,42
125 x 50 x 17 x 3,00	442,53	506,44	82,46	38,40	10,72
125 x 50 x 17 x 3,35	613,93	649,98	112,86	48,97	14,88
125 x 50 x 20 x 3,75	879,48	895,65	160,54	69,71	21,26
150 x 60 x 20 x 2,00	110,38	198,64	25,22	18,45	3,20
150 x 60 x 20 x 2,25	156,88	256,17	35,79	23,69	4,55
150 x 60 x 20 x 2,65	255,84	366,14	58,08	33,63	7,41
150 x 60 x 20 x 3,00	369,84	480,79	83,62	43,96	10,74
150 x 60 x 20 x 3,35	514,04	615,16	115,34	55,90	14,93
150 x 60 x 20 x 3,75	717,09	791,95	159,50	71,60	20,86
150 x 60 x 20 x 4,25	1038,13	1051,52	----	94,49	30,26
150 x 60 x 20 x 4,75	1438,65	1358,58	----	121,17	42,09
200 x 75 x 20 x 2,00	78,67	153,26	24,95	19,54	2,91
200 x 75 x 20 x 2,25	111,82	198,14	35,41	25,13	4,13
200 x 75 x 25 x 2,65	187,37	331,35	59,08	42,75	6,92
200 x 75 x 25 x 3,00	271,36	434,37	85,40	55,73	10,04

Fonte: PIERIN *et al.* (2013)

Ue	N _g (kN)	N _{dist} (kN)	M _{g,x} (kNm)	M _{dist} (kNm)	M _{g,y} (kNm)
200 x 75 x 25 x 3,35	377,17	553,18	118,35	70,65	13,95
200 x 75 x 25 x 4,75	1063,56	1208,85	326,85	151,55	39,42
200 x 75 x 30 x 6,30	2515,66	2478,60	----	317,57	93,21
200 x 100 x 25 x 2,65	205,11	319,40	48,32	34,40	9,29
200 x 100 x 25 x 3,00	297,04	417,29	69,81	44,77	13,48
200 x 100 x 25 x 3,35	412,85	530,58	96,74	56,68	18,74
200 x 100 x 25 x 3,75	578,02	679,90	134,75	72,22	26,29
200 x 100 x 25 x 4,25	839,86	896,06	194,04	94,74	38,19
200 x 100 x 25 x 4,75	1168,17	1150,73	267,50	120,73	53,23
250 x 85 x 25 x 2,00	61,33	143,87	24,80	25,41	2,64
250 x 85 x 25 x 2,25	87,17	185,49	35,25	32,61	3,76
250 x 85 x 25 x 2,65	142,17	264,86	57,41	46,23	6,13
250 x 85 x 25 x 3,00	205,90	347,93	83,04	60,35	8,87
250 x 85 x 25 x 3,35	286,19	444,61	115,15	76,67	12,33
250 x 85 x 25 x 3,75	399,99	572,03	160,62	98,07	17,27
250 x 85 x 25 x 4,25	580,19	759,67	231,69	129,20	25,09
250 x 85 x 25 x 4,75	805,62	980,44	319,24	165,44	34,90
250 x 85 x 30 x 6,30	1902,26	2075,83	----	350,26	82,66
250 x 100 x 25 x 2,65	149,09	273,15	57,34	41,13	7,21
250 x 100 x 25 x 3,00	215,92	358,04	82,81	53,62	10,44
250 x 100 x 25 x 3,35	300,10	456,68	114,69	68,01	14,53
250 x 100 x 25 x 3,75	420,19	587,19	159,70	86,93	20,35
250 x 100 x 25 x 4,25	610,56	777,07	229,68	114,30	29,57
250 x 100 x 25 x 4,75	849,29	1001,18	315,51	146,13	41,21
300 x 85 x 25 x 2,00	47,88	----	23,06	28,30	2,17
300 x 85 x 25 x 2,25	68,05	----	32,77	36,40	3,08
300 x 85 x 25 x 2,65	110,78	----	53,41	51,76	5,03
300 x 85 x 25 x 3,00	160,45	----	77,25	67,78	7,28
300 x 85 x 25 x 3,35	222,63	----	107,18	86,30	10,12
300 x 85 x 25 x 3,75	311,18	----	149,60	110,73	14,14
300 x 85 x 25 x 4,25	450,58	----	216,11	146,38	20,52
300 x 85 x 25 x 4,75	624,57	----	298,38	188,02	28,49
300 x 85 x 30 x 6,30	1471,93	1639,62	----	397,82	67,46
300 x 100 x 25 x 2,65	115,74	----	56,14	47,04	5,89
300 x 100 x 25 x 3,00	167,62	----	81,17	61,48	8,53
300 x 100 x 25 x 3,35	232,98	367,96	112,60	78,15	11,86
300 x 100 x 25 x 3,75	325,64	474,76	157,12	100,05	16,61
300 x 100 x 25 x 4,25	472,33	632,61	226,66	132,02	24,13
300 x 100 x 25 x 4,75	657,05	818,06	312,46	169,28	33,57

Fonte: PIERIN *et al.* (2013)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio (Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos

Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial

Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

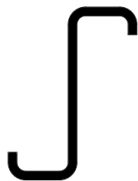


Tabela 4 - Forças normais e momentos fletores críticos para perfis Z90.

Z90	N _k (kN)	N _{dist} (kN)	M _{k,x} (kNm)	M _{dist,x} (kNm)	M _{k,y} (kNm)	M _{dist,y} (kNm)
50 x 25 x 10 x 1,20	80,96	95,81	4,51	2,81	2,35	1,31
50 x 25 x 10 x 1,50	157,25	155,79	8,70	4,51	4,56	2,11
50 x 25 x 10 x 2,00	367,89	294,31	20,01	8,40	10,65	3,95
50 x 25 x 10 x 2,25	519,85	383,47	27,89	10,88	15,00	5,11
50 x 25 x 10 x 2,65	834,79	555,45	----	15,62	24,06	7,37
50 x 25 x 10 x 3,00	1183,05	737,94	----	20,60	34,15	9,75
75 x 40 x 15 x 1,20	55,27	90,30	4,27	3,88	2,53	1,91
75 x 40 x 15 x 1,50	107,75	144,87	8,29	6,18	4,92	3,05
75 x 40 x 15 x 2,00	254,45	268,72	19,44	11,34	11,60	5,61
75 x 40 x 15 x 2,25	360,94	347,39	27,49	14,57	16,46	7,22
75 x 40 x 15 x 2,65	586,37	497,86	44,30	20,70	26,72	10,28
75 x 40 x 15 x 3,00	845,92	654,91	63,26	27,11	38,48	13,48
100 x 50 x 17 x 1,20	39,69	80,47	4,59	4,61	2,77	2,07
100 x 50 x 17 x 1,50	77,37	128,91	8,93	7,33	5,40	3,30
100 x 50 x 17 x 2,00	183,07	238,56	21,00	13,44	12,73	6,06
100 x 50 x 17 x 2,25	259,69	307,87	29,73	17,25	18,08	7,79
100 x 50 x 17 x 2,65	423,49	440,81	48,10	24,49	29,38	11,07
100 x 50 x 17 x 3,00	611,00	580,16	69,02	32,04	42,42	14,50
100 x 50 x 17 x 3,35	847,59	742,63	94,77	40,71	58,69	18,45
125 x 50 x 17 x 2,00	132,56	203,75	25,12	15,98	12,73	5,67
125 x 50 x 17 x 2,25	188,40	263,82	35,59	20,57	18,08	7,30
125 x 50 x 17 x 2,65	306,12	379,17	57,53	29,31	29,39	10,41
125 x 50 x 17 x 3,00	442,53	500,77	82,46	38,40	42,44	13,65
125 x 50 x 17 x 3,35	612,80	643,22	112,86	48,97	58,71	17,41
125 x 50 x 20 x 3,75	879,48	882,71	160,54	69,71	70,33	25,80

Fonte: PIERIN *et al.* (2013)

Tabela 4 - Forças normais e momentos fletores críticos para perfis Z90 (continuação).

Z90	N _k (kN)	N _{dist} (kN)	M _{k,x} (kNm)	M _{dist,x} (kNm)	M _{k,y} (kNm)	M _{dist,y} (kNm)
150 x 60 x 20 x 2,25	156,88	252,19	35,79	23,69	18,43	8,37
150 x 60 x 20 x 2,65	255,84	360,58	58,08	33,63	3-----	11,89
150 x 60 x 20 x 3,00	369,84	474,74	83,62	43,96	43,35	15,55
150 x 60 x 20 x 3,35	513,10	607,67	115,34	55,90	60,10	19,78
150 x 60 x 20 x 3,75	717,09	784,07	159,50	71,60	83,82	25,34
150 x 60 x 20 x 4,25	1036,22	1041,96	----	94,49	120,98	33,46
150 x 60 x 20 x 4,75	1435,98	1347,90	----	121,17	241,05	104,16
200 x 75 x 20 x 2,00	78,67	150,86	24,95	19,54	14,22	6,14
200 x 75 x 20 x 2,25	111,82	195,13	35,41	25,13	20,19	7,90
200 x 75 x 25 x 2,65	187,37	324,62	59,08	42,75	30,14	14,12
200 x 75 x 25 x 3,00	271,36	425,59	85,40	55,73	43,62	18,41
200 x 75 x 25 x 3,35	377,17	542,99	118,35	70,65	60,58	23,35
200 x 75 x 25 x 3,75	527,14	697,77	164,91	90,22	84,68	29,84
200 x 75 x 25 x 4,25	764,58	924,16	237,58	118,66	122,66	39,22
200 x 75 x 25 x 4,75	1061,62	1189,48	326,85	151,55	170,22	50,14
200 x 75 x 30 x 6,30	2511,03	2432,27	----	317,57	330,77	110,16
250 x 85 x 25 x 2,00	61,33	140,50	24,80	25,41	13,95	7,39
250 x 85 x 25 x 2,25	87,17	181,31	35,25	32,61	19,84	9,48
250 x 85 x 25 x 2,65	142,17	259,04	57,41	46,23	32,32	13,44
250 x 85 x 25 x 3,00	205,90	340,59	83,04	60,35	46,74	17,56
250 x 85 x 25 x 3,35	286,19	435,41	115,15	76,67	64,85	22,30
250 x 85 x 25 x 3,75	399,99	561,28	160,62	98,07	90,55	28,51
250 x 85 x 25 x 4,25	580,19	746,10	231,69	129,20	130,88	37,66
250 x 85 x 25 x 4,75	805,62	964,41	319,24	165,44	181,03	48,08
250 x 85 x 30 x 6,30	1902,26	2030,70	----	350,26	376,74	106,51
300 x 85 x 25 x 2,00	47,88	----	23,06	28,30	13,96	6,99
300 x 85 x 25 x 2,25	68,05	----	32,77	36,40	19,84	8,98
300 x 85 x 25 x 2,65	110,78	----	53,41	51,76	32,33	12,76
300 x 85 x 25 x 3,00	160,45	253,23	77,25	67,78	46,76	16,69
300 x 85 x 25 x 3,35	222,63	325,90	107,18	86,30	64,88	21,24
300 x 85 x 25 x 3,75	311,18	419,13	149,60	110,73	90,58	27,23
300 x 85 x 25 x 4,25	450,58	562,82	216,11	146,38	130,93	35,96
300 x 85 x 25 x 4,75	624,57	739,86	298,38	188,02	181,12	46,14
300 x 85 x 30 x 6,30	1469,27	1602,35	----	397,82	376,89	102,23

Fonte: PIERIN *et al.* (2013)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio (Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhagual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

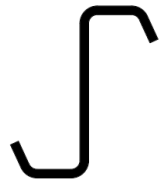


Tabela 5 - Forças normais e momentos fletores críticos para perfis Z45.

Z45	N _t (kN)	N _{desl} (kN)	M _{cx} (kNm)	M _{desl,x} (kNm)	M _{cy} (kNm)	M _{desl,y} (kNm)
100 x 50 x 17 x 1,20	39,62	52,99	4,67	2,83	2,80	1,29
100 x 50 x 17 x 1,50	77,23	86,08	9,08	4,56	5,42	2,08
100 x 50 x 17 x 2,00	182,05	162,76	21,29	8,52	12,53	3,89
100 x 50 x 17 x 2,25	258,73	212,48	30,09	11,06	17,49	5,04
100 x 50 x 17 x 2,65	419,55	308,56	48,20	15,94	----	7,26
100 x 50 x 17 x 3,00	604,15	412,28	----	21,11	----	9,62
100 x 50 x 17 x 3,35	831,69	534,31	----	27,20	----	12,40
125 x 50 x 17 x 2,00	131,84	146,22	25,39	10,26	12,53	3,68
125 x 50 x 17 x 2,25	187,03	191,47	35,75	13,34	17,50	4,79
125 x 50 x 17 x 2,65	302,78	279,92	----	19,28	----	6,92
125 x 50 x 17 x 3,00	436,05	375,38	----	25,60	----	9,19
125 x 50 x 17 x 3,35	599,28	488,89	----	33,08	----	11,87
125 x 50 x 20 x 3,75	860,08	666,08	----	45,55	----	16,95
150 x 60 x 20 x 2,00	109,98	138,27	25,56	11,75	13,01	4,20
150 x 60 x 20 x 2,25	156,31	180,14	36,18	15,22	18,34	5,44
150 x 60 x 20 x 2,65	253,98	261,86	58,26	21,89	29,28	7,82
150 x 60 x 20 x 3,00	366,48	348,99	----	28,96	41,17	10,34
150 x 60 x 20 x 3,35	506,54	452,24	----	37,21	----	13,30
150 x 60 x 20 x 3,75	703,95	592,32	----	48,22	----	17,23
150 x 60 x 20 x 4,25	1005,63	801,06	----	64,61	----	23,08
150 x 60 x 20 x 4,75	1363,92	1051,63	----	83,98	----	30,04
200 x 75 x 20 x 2,00	78,25	109,98	25,06	13,01	15,22	4,14
200 x 75 x 20 x 2,25	111,22	143,74	35,44	16,87	21,66	5,37
200 x 75 x 25 x 2,65	186,36	234,13	59,74	27,48	30,13	9,18
200 x 75 x 25 x 3,00	269,41	310,89	86,01	36,15	43,14	12,07
200 x 75 x 25 x 3,35	373,77	400,95	118,25	46,27	59,03	15,45
200 x 75 x 25 x 3,75	521,42	521,42	----	59,74	80,42	19,93
200 x 75 x 25 x 4,25	752,10	700,75	----	79,46	----	26,52
200 x 75 x 25 x 4,75	1040,31	916,32	----	102,86	----	34,30
200 x 75 x 30 x 6,30	2409,11	1899,49	----	211,90	----	73,79
250 x 85 x 25 x 2,00	61,12	101,90	25,05	16,57	14,62	4,86
250 x 85 x 25 x 2,25	86,86	132,69	35,56	21,40	20,78	6,28
250 x 85 x 25 x 2,65	141,41	192,25	57,74	30,67	33,82	9,00
250 x 85 x 25 x 3,00	204,43	255,81	83,10	40,42	48,84	11,85
250 x 85 x 25 x 3,35	283,12	330,65	114,34	51,81	67,55	15,18
250 x 85 x 25 x 3,75	394,98	431,53	----	66,93	93,57	19,60
250 x 85 x 25 x 4,25	569,75	582,27	----	89,23	----	26,11
250 x 85 x 25 x 4,75	786,68	763,37	----	115,66	----	33,82
250 x 85 x 30 x 6,30	1812,01	1624,56	----	240,92	----	73,40
300 x 85 x 25 x 2,00	47,62	76,87	23,23	18,86	14,62	4,64
300 x 85 x 25 x 2,25	67,57	100,88	32,98	24,43	20,78	6,01
300 x 85 x 25 x 2,65	110,01	148,88	53,56	35,15	33,83	8,63
300 x 85 x 25 x 3,00	158,76	202,75	77,17	46,48	48,85	11,39
300 x 85 x 25 x 3,35	219,49	258,75	106,27	59,74	67,56	14,62
300 x 85 x 25 x 3,75	305,67	337,62	----	77,47	93,60	18,92
300 x 85 x 25 x 4,25	439,35	469,02	----	103,71	----	25,28
300 x 85 x 25 x 4,75	603,31	608,90	----	134,79	----	32,81
300 x 85 x 30 x 6,30	1386,76	1333,52	----	281,58	----	71,35

Fonte: PIERIN *et al.* (2013)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio (Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



EXERCÍCIO

Parte 3/3

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial

Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

EXERCÍCIO

Considerando a situação mostrada na figura, determine o N_{cRd} de um perfil U 250 x 85 x 25 x 2,00 em aço com tensão de escoamento de 300MPa.

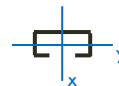
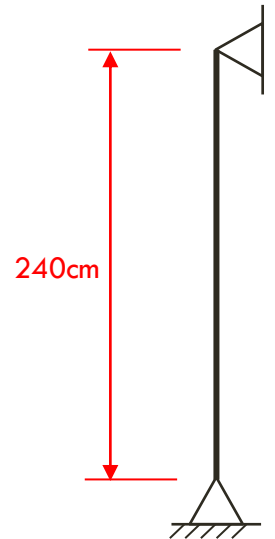
1. Dados da Questão

$b_w =$	25,0 cm
$b_f =$	8,5 cm
$D =$	2,5 cm
$t =$	0,2 cm
$r_i =$	0,2 cm

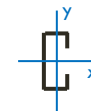
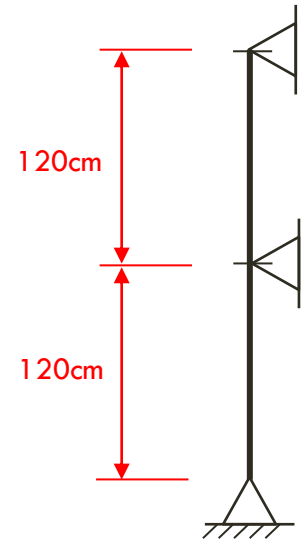
$f_y =$	30 kN/cm ²
$E =$	20000 kN/cm ²
$G =$	7700 kN/cm ²
$\nu =$	0,3

$k_x L_x =$	240 cm
$k_y L_y =$	120 cm
$k_z L_z =$	120 cm

$A =$	9,14 cm ²
$x_g =$	2,43 cm
$x_0 =$	6,09 cm
$I_x =$	871,52 cm ⁴
$W_x =$	69,72 cm ³
$r_x =$	9,77 cm
$I_y =$	88,98 cm ⁴
$W_y =$	14,67 cm ³
$r_y =$	3,12 cm
$I_t = J =$	0,12 cm ⁴
$C_w =$	11.477,06 cm ⁶
$r_o =$	11,93 cm



$$k_x L_x = 1 \times 240 \text{ cm}$$



$$k_y L_y = k_z L_z = 1 \times 120 \text{ cm}$$

Instabilidade Global

$$\chi = 0,890$$

Instabilidade Local (MLE)

$$A_{ef} = 5,64 \text{ cm}^2$$

Esforço Resistente (I.G.)

$$N_{cRd,1} = 125,49 \text{ kN}$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhagual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



Ue	N _g (kN)	N _{dist} (kN)	M _{g,x} (kNm)	M _{dist} (kNm)	M _{g,y} (kNm)
200 x 75 x 25 x 3,35	377,17	553,18	118,35	70,65	13,95
200 x 75 x 25 x 4,75	1063,56	1208,85	326,85	151,55	39,42
200 x 75 x 30 x 6,30	2515,66	2478,60	----	317,57	93,21
200 x 100 x 25 x 2,65	205,11	319,40	48,32	34,40	9,29
200 x 100 x 25 x 3,00	297,04	417,29	69,81	44,77	13,48
200 x 100 x 25 x 3,35	412,85	530,58	96,74	56,68	18,74
200 x 100 x 25 x 3,75	578,02	679,90	134,75	72,22	26,29
200 x 100 x 25 x 4,25	839,86	896,06	194,04	94,74	38,19
200 x 100 x 25 x 4,75	1168,17	1150,73	267,50	120,73	53,23
250 x 85 x 25 x 2,00	61,33	143,87	24,80	25,41	2,64
250 x 85 x 25 x 2,25	87,17	185,49	35,25	32,61	3,76
250 x 85 x 25 x 2,65	142,17	264,86	57,41	46,23	6,13
250 x 85 x 25 x 3,00	205,90	347,93	83,04	60,35	8,87
250 x 85 x 25 x 3,35	286,19	444,61	115,15	76,67	12,33
250 x 85 x 25 x 3,75	399,99	572,03	160,62	98,07	17,27
250 x 85 x 25 x 4,25	580,19	759,67	231,69	129,20	25,09
250 x 85 x 25 x 4,75	805,62	980,44	319,24	165,44	34,90
250 x 85 x 30 x 6,30	1902,26	2075,83	----	350,26	82,66
250 x 100 x 25 x 2,65	149,09	273,15	57,34	41,13	7,21
250 x 100 x 25 x 3,00	215,92	358,04	82,81	53,62	10,44
250 x 100 x 25 x 3,35	300,10	456,68	114,69	68,01	14,53
250 x 100 x 25 x 3,75	420,19	587,19	159,70	86,93	20,35
250 x 100 x 25 x 4,25	610,56	777,07	229,68	114,30	29,57
250 x 100 x 25 x 4,75	849,29	1001,18	315,51	146,13	41,21
300 x 85 x 25 x 2,00	47,88	----	23,06	28,30	2,17
300 x 85 x 25 x 2,25	68,05	----	32,77	36,40	3,08
300 x 85 x 25 x 2,65	110,78	----	53,41	51,76	5,03
300 x 85 x 25 x 3,00	160,45	----	77,25	67,78	7,28
300 x 85 x 25 x 3,35	222,63	----	107,18	86,30	10,12
300 x 85 x 25 x 3,75	311,18	----	149,60	110,73	14,14
300 x 85 x 25 x 4,25	450,58	----	216,11	146,38	20,52
300 x 85 x 25 x 4,75	624,57	----	298,38	188,02	28,49
300 x 85 x 30 x 6,30	1471,93	1639,62	----	397,82	67,46
300 x 100 x 25 x 2,65	115,74	----	56,14	47,04	5,89
300 x 100 x 25 x 3,00	167,62	----	81,17	61,48	8,53
300 x 100 x 25 x 3,35	232,98	367,96	112,60	78,15	11,86
300 x 100 x 25 x 3,75	325,64	474,76	157,12	100,05	16,61
300 x 100 x 25 x 4,25	472,33	632,61	226,66	132,02	24,13
300 x 100 x 25 x 4,75	657,05	818,06	312,46	169,28	33,57

Fonte: PIERIN *et al.* (2013)

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio (Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos

Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial

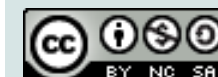
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

EXERCÍCIO

Considerando a situação mostrada na figura ao lado, determine o N_{cRd} de um perfil U 250 x 85 x 25 x 2,00 em aço com tensão de escoamento de 300MPa.

1. Dados da Questão

$b_w =$	25,0 cm
$b_f =$	8,5 cm
$D =$	2,5 cm
$t =$	0,2 cm
$r_i =$	0,2 cm

$f_y =$	30 kN/cm ²
$E =$	20000 kN/cm ²
$G =$	7700 kN/cm ²
$\nu =$	0,3

$k_x L_x =$	240 cm
$k_y L_y =$	120 cm
$k_z L_z =$	120 cm

$A =$	9,14 cm ²
$x_g =$	2,43 cm
$x_0 =$	6,09 cm
$I_x =$	871,52 cm ⁴
$W_x =$	69,72 cm ³
$r_x =$	9,77 cm
$I_y =$	88,98 cm ⁴
$W_y =$	14,67 cm ³
$r_y =$	3,12 cm
$I_t = J =$	0,12 cm ⁴
$C_w =$	11.477,06 cm ⁶
$r_o =$	11,93 cm



5. Instabilidade por Distorção

$$N_{dist} = 143,87 \text{ kN} \quad (\text{Tabela 2 – PIERIN et al. (2013)})$$

$$\lambda_{dist} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{dist}}} = \sqrt{\frac{9,14 \times 30}{143,87}} = 1,380 > 0,561$$

$$\chi_{dist} = \left(1 - \frac{0,25}{\lambda_{dist}^{1,2}}\right) \frac{1}{\lambda_{dist}^{1,2}} = 0,564$$

$$N_{cRd,2} = \frac{\chi_{dist} Af_y}{\gamma} = \frac{0,564 \times 9,14 \times 30}{1,2}$$

$$N_{cRd,2} = 128,81 \text{ kN}$$

6. Esforço Resistente da Barra

$$N_{cRd,1} = 125,49 \text{ kN}$$

$$N_{cRd,2} = 128,81 \text{ kN}$$

$$N_{cRd} = 125,49 \text{ kN}$$

7. Verificação da Esbeltez Máxima

$$\lambda_x = \frac{k_x L_x}{r_x} = \frac{240}{9,77} = 24,56 < 200 \quad \text{Ok!}$$

$$\lambda_y = \frac{k_y L_y}{r_y} = \frac{120}{3,12} = 38,46 < 200 \quad \text{Ok!}$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhado Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

EXERCÍCIO – CASO 2

Considerando a situação mostrada na figura, determine o N_{crd} de um perfil U 250 x 85 x 25 x 2,00 em aço com tensão de escoamento de 300MPa.

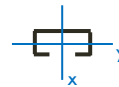
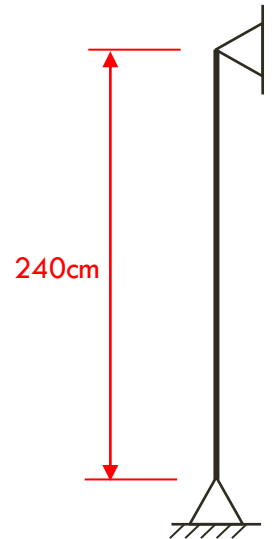
1. Dados da Questão

$b_w =$	25,0 cm
$b_f =$	8,5 cm
$D =$	2,5 cm
$t =$	0,2 cm
$r_i =$	0,2 cm

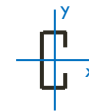
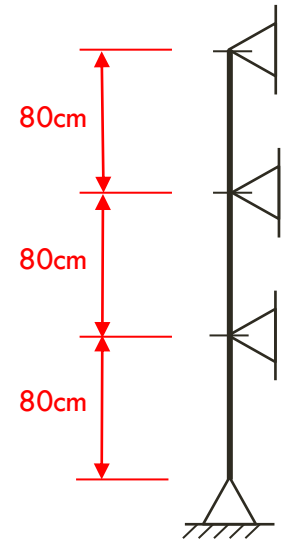
$f_y =$	30 kN/cm ²
$E =$	20000 kN/cm ²
$G =$	7700 kN/cm ²
$\nu =$	0,3

$k_x L_x =$	240 cm
$k_y L_y =$	120 cm
$k_z L_z =$	120 cm

$A =$	9,14 cm ²
$x_g =$	2,43 cm
$x_0 =$	6,09 cm
$I_x =$	871,52 cm ⁴
$W_x =$	69,72 cm ³
$r_x =$	9,77 cm
$I_y =$	88,98 cm ⁴
$W_y =$	14,67 cm ³
$r_y =$	3,12 cm
$I_t = J =$	0,12 cm ⁴
$C_w =$	11.477,06 cm ⁶
$r_o =$	11,93 cm



$$k_x L_x = 240 \text{ cm}$$



$$k_y L_y = k_z L_z = 80 \text{ cm}$$

Instabilidade Global

$$\chi = 0,938$$

Instabilidade Local (MLE)

$$A_{ef} = 5,53 \text{ cm}^2$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhagual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

EXERCÍCIO – CASO 2

Considerando a situação mostrada na figura, determine o N_{cRd} de um perfil U 250 x 85 x 25 x 2,00 em aço com tensão de escoamento de 300MPa.

1. Dados da Questão

$b_w =$	25,0 cm
$b_f =$	8,5 cm
$D =$	2,5 cm
$t =$	0,2 cm
$r_i =$	0,2 cm

$f_y =$	30 kN/cm ²
$E =$	20000 kN/cm ²
$G =$	7700 kN/cm ²
$\nu =$	0,3

$k_x l_x =$	240 cm
$k_y l_y =$	120 cm
$k_z l_z =$	120 cm

$A =$	9,14 cm ²
$x_g =$	2,43 cm
$x_0 =$	6,09 cm
$I_x =$	871,52 cm ⁴
$W_x =$	69,72 cm ³
$r_x =$	9,77 cm
$I_y =$	88,98 cm ⁴
$W_y =$	14,67 cm ³
$r_y =$	3,12 cm
$I_t = J =$	0,12 cm ⁴
$C_w =$	11.477,06 cm ⁶
$r_o =$	11,93 cm



4. Determinação do Esforço Resistente

$$N_{cRd,1} = \frac{\chi A_{ef} f_y}{\gamma} = \frac{0,938 \times 5,53 \times 30}{1,2}$$

$$N_{cRd,1} = 129,62 \text{ kN}$$

5. Instabilidade por Distorção

$$N_{dist} = 143,87 \text{ kN} \quad (\text{Tabela 2 – PIERIN et al. (2013)})$$

$$\lambda_{dist} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{dist}}} = \sqrt{\frac{9,14 \times 30}{143,87}} = 1,380 > 0,561$$

$$\chi_{dist} = \left(1 - \frac{0,25}{\lambda_{dist}^{1,2}}\right) \frac{1}{\lambda_{dist}^{1,2}} = 0,564$$

$$N_{cRd,2} = \frac{\chi_{dist} A f_y}{\gamma} = \frac{0,564 \times 9,14 \times 30}{1,2}$$

$$N_{cRd,2} = 128,81 \text{ kN}$$

6. Conclusão – Esforço Resistente

$$N_{cRd,1} = 129,62 \text{ kN}$$

$$N_{cRd,2} = 128,81 \text{ kN}$$

$$N_{cRd} = \text{Menor}(N_{cRd,1}, N_{cRd,2})$$

$$N_{cRd} = 128,81 \text{ kN}$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial

Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

EXERCÍCIO – CASO 2

Considerando a situação mostrada na figura, determine o N_{crd} de um perfil U 250 x 85 x 25 x 2,00 em aço com tensão de escoamento de 300MPa.

1. Dados da Questão

$b_w =$	25,0 cm
$b_f =$	8,5 cm
$D =$	2,5 cm
$t =$	0,2 cm
$r_i =$	0,2 cm

$A =$	9,14 cm ²
$x_g =$	2,43 cm
$x_0 =$	6,09 cm
$I_x =$	871,52 cm ⁴
$W_x =$	69,72 cm ³
$r_x =$	9,77 cm
$I_y =$	88,98 cm ⁴
$W_y =$	14,67 cm ³
$r_y =$	3,12 cm
$I_t = J =$	0,12 cm ⁴
$C_w =$	11.477,06 cm ⁶
$r_o =$	11,93 cm

$f_y =$	30 kN/cm ²
$E =$	20000 kN/cm ²
$G =$	7700 kN/cm ²
$\nu =$	0,3

$k_x L_x =$	240 cm
$k_y L_y =$	120 cm
$k_z L_z =$	120 cm



7. Verificação da Esbeltez Máxima

$$\lambda_x = \frac{k_x L_x}{r_x} = \frac{240}{9,77} = 24,56 < 200 \quad Ok!$$

$$\lambda_y = \frac{k_y L_y}{r_y} = \frac{80}{3,12} = 25,65 < 200 \quad Ok!$$

Sugestão: Refazer o caso 2 usando o Método da Seção Efetiva.

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

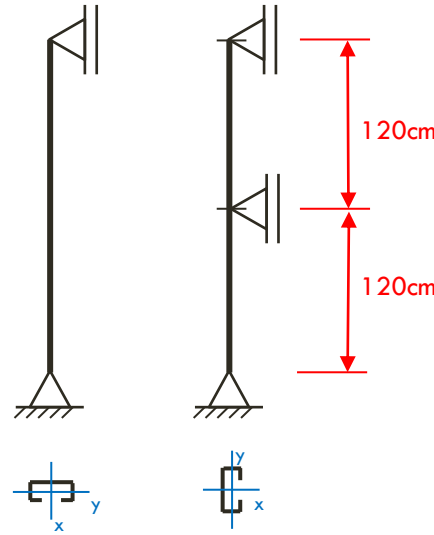
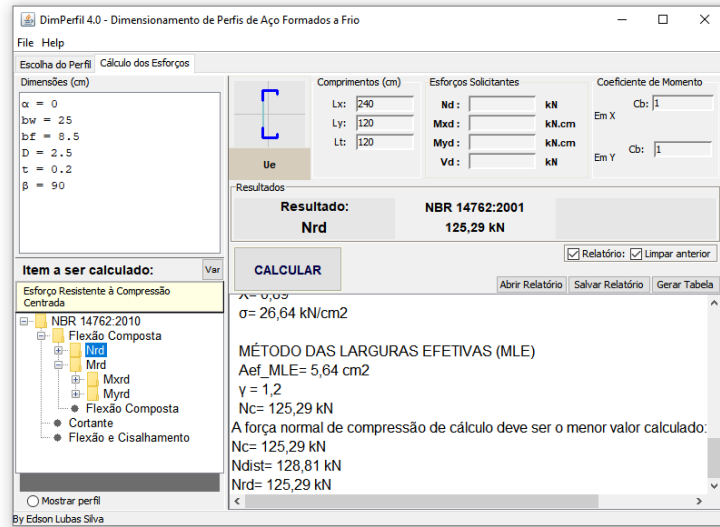
Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



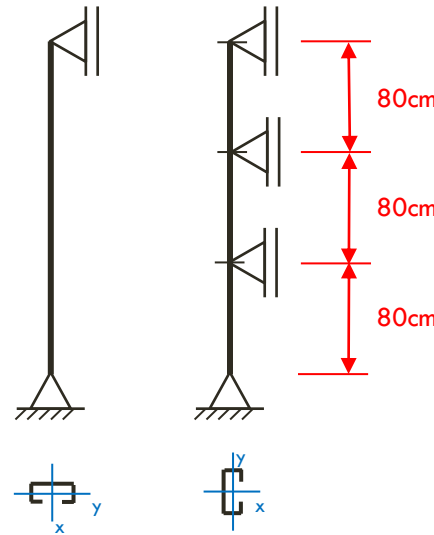
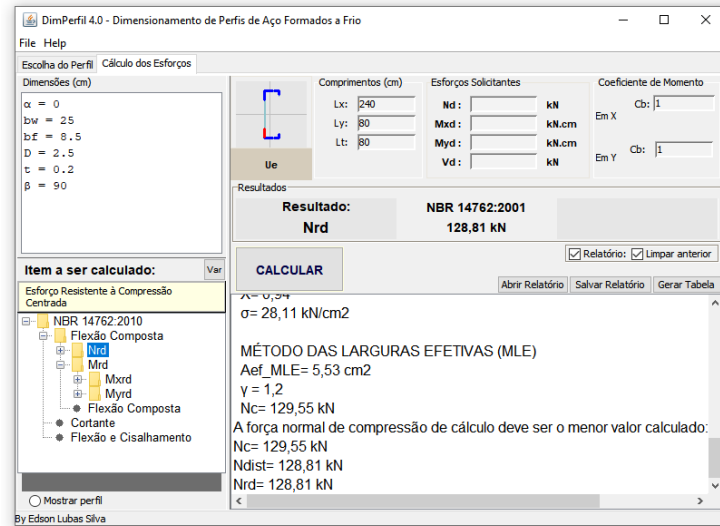
O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).



$$N_{cRd,1} = 125,49 \text{ kN}$$

$$N_{cRd,2} = 128,81 \text{ kN}$$

$$N_{cRd} = 125,49 \text{ kN}$$



$$N_{cRd,1} = 129,62 \text{ kN}$$

$$N_{cRd,2} = 128,81 \text{ kN}$$

$$N_{cRd} = 128,81 \text{ kN}$$

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio (Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
 Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos

Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04

Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial

Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhamento 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2008). NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, RJ.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2010). NBR 14762 – **Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**. Rio de Janeiro, RJ.

BATISTA, E. M. (2010). **Effective section method: a general direct method for the design of steel cold-formed members under local-global buckling interaction**. Thin-Walled Structures. V. 48, pp. 345-356.

BRANQUINHO, M. A. (2017). **Sobre o comportamento estrutural e o dimensionamento de cantoneiras de aço formadas a frio submetidas à compressão e conectadas por uma aba**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, EESC/USP. São Carlos, SP.

CARVALHO, P. R. M.; GRIGOLETTI, G.; BARBOSA, G. D. (2020). **Curso básico de perfis formados a frio**. 3ed. Publicado pelos autores. Porto Alegre, RS.

CHODRAUI, G, M. B. (2006). **Análise teórica e experimental de perfis de aço formados a frio submetidos à compressão**. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, EESC/USP. São Carlos, SP.

FAKURY, R. H.; SILVA, A. L. C.; CALDAS, R.B. (2017). **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. Person Education do Brasil Ltda. São Paulo, SP.

FERREIRA, W. G. (2004). **Dimensionamento de elementos de perfis de aço laminados e soldados**. Grafer editora. Vitória, ES.

JAVARONI, C. E. (2015). **Estruturas de aço: dimensionamento de perfis formados a frio**. Elsevier editora Ltda. São Paulo, SP.

LUBAS ENGENHARIA LTDA. **Software DimPerfil 4.0: dimensionamento de perfis de aço formados a frio**. Disponível em <https://www.cbca-acobrasil.org.br/>. Último acesso em 20 de junho de 2020.

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

MAIA, W. F. (2008). **Sobre a estabilidade de cantoneiras de aço formadas a frio submetidas à compressão**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, EESC/USP. São Carlos, SP.

PIERIN, I. (2011). **A instabilidade de perfis formados a frio em situação de incêndio**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.

PIERIN, I.; SILVA, V. P.; ROVERE, H. L. (2013). **Forças normais e momentos fletores críticos de perfis formados a frio**. Revista da estrutura de aço. Volume 2; No. 1. Centro Brasileiro da Construção em Aço.

REIS, A.; CAMOTIM, D. (2001). **Estabilidade estrutural**. Editora McGraw-Hill de Portugal.

SASSO, F.C.; RAMIRES, F. B., PRAVIA, Z.M. (2019). **PFF-NBR14762 (aplicativo)**. Universidade de Passo Fundo. Disponível em: play.google.com/store/apps/details?id=produtos.felipe.pffdesign. Último acesso em 29 de junho de 2020.

SCHAFER, B. W.; ÀDANY, S. (2006). **"Buckling analysis of cold-formed steel members using CUFSM: conventional and constrained finite strip methods"**. Eighteenth International Specialty Conference on Cold-Formed Steel Structures, Orlando, FL. October 2006. (SOFTWARE CUFSM v. 5.04 Disponível em <https://www.ce.jhu.edu/cufsm/> (Último acesso em 20 de junho de 2020).

SILVA, E. L. (2006). **Sobre o dimensionamento de perfis de aço formados a frio**. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, POLI/USP. São Paulo, SP.

VAZQUEZ, E. G. (2002). **Análise teórica e experimental da instabilidade torcional de perfis formados a frio sob compressão centrada**. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio De Janeiro. Rio de Janeiro, RJ.

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilhual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

IMAGENS/ILUSTRAÇÕES



Imagem de [Cikler-Free-Vector-Images](#) por [Pixabay](#)



Imagem de [Daniel Mena](#) por [Pixabay](#)

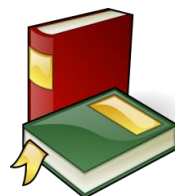


Imagem de [Cikler-Free-Vector-Images](#) por [Pixabay](#)

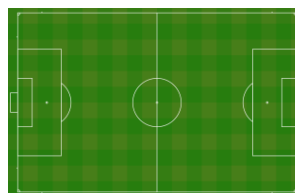


Imagem de [OpenClipart-Vectors](#) por [Pixabay](#)



Imagem de [OpenClipart-Vectors](#) por [Pixabay](#)

FIM DA AULA

Estruturas de Aço em Perfis Formados a Frio
(Curso Básico – Versão 1)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC

Prof. Luciano Barbosa dos Santos
Contato: lbsantos@ctec.ufal.br

Número do Arquivo: 04
Assunto: PFF – Barras Submetidas à Compressão Axial
Quantidade de Slides: 78

Instabilidade
Global

Instabilidade
Local (MLE)

Instabilidade
Local (MSE)

Instabilidade
Distorcional



O trabalho PFF – BARRAS SUBMETIDAS À COMPRESSÃO AXIAL: NOTAS DE AULA de Luciano Barbosa dos Santos está licenciado com uma Licença [Creative Commons - Atribuição-NãoComercial-Compartilha Igual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).