

# ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA DOBRA NA RESISTÊNCIA À FLEXÃO ESTÁTICA DE UM PERFIL DE AÇO FORMADO A FRIO APLICADO NO SETOR DE ESTRUTURAS METÁLICAS

Diego de Medeiros Machado (1), Marcio Vito (2);

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1)diego\_mmachado@hotmail.com, (2)marciovito@unesc.net

## RESUMO

Os perfis de aço formado a frio, devido às variedades possíveis das formas transversais de serem obtidas e pelo custo baixo comparado com os perfis laminados, vêm ganhando espaço em obras de estruturas metálicas. A facilidade de manuseio deste tipo de material, para as empresas, melhora na elaboração de projetos adiantando o andamento das obras. O estudo definido sobre estruturas metálicas tem como objetivo verificar se os perfis metálicos formados a frio com espessura estabelecida de 12,7 mm, sofreram influência na dobra durante o ensaio de resistência a flexão estática em laboratório comparada este a resistência de cálculo tendo como fator principal determinar a possível ocorrência de fissuras na dobra na confecção do perfil. Após o ensaio de flexão estática simples foi efetuado ensaio de metalografia na seção mais solicitada com objetivo de verificar possível aparecimento de fissuras na mesma. Para os cálculos de resistência desconsideraram-se todos os coeficientes de majoração e minoração. Os resultados mostram que a resistência de cálculo é superior a resistência de ensaio, sendo que não ocorrem qualquer tipo de fissura na dobra.

*Palavras-chave: Estruturas Metálicas. Perfis formados a frio. Flexão. Dobra. Fissuras.*

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento na construção civil vem acelerando cada vez mais, os recursos e aprimoramento de novas técnicas utilizados em projeto e execuções de obras fazem com que o mercado de trabalho continue buscando outras formas e alternativas. Uma delas são os perfis metálicos formados a frio, os quais vêm ganhando espaço no mercado por apresentarem algumas vantagens em relação aos perfis laminados. A utilização deste tipo de material fica um pouco restrita, devido a recomendações das normas NBR 14762:10 e NBR 6355:03 que permitem projetos com perfis com

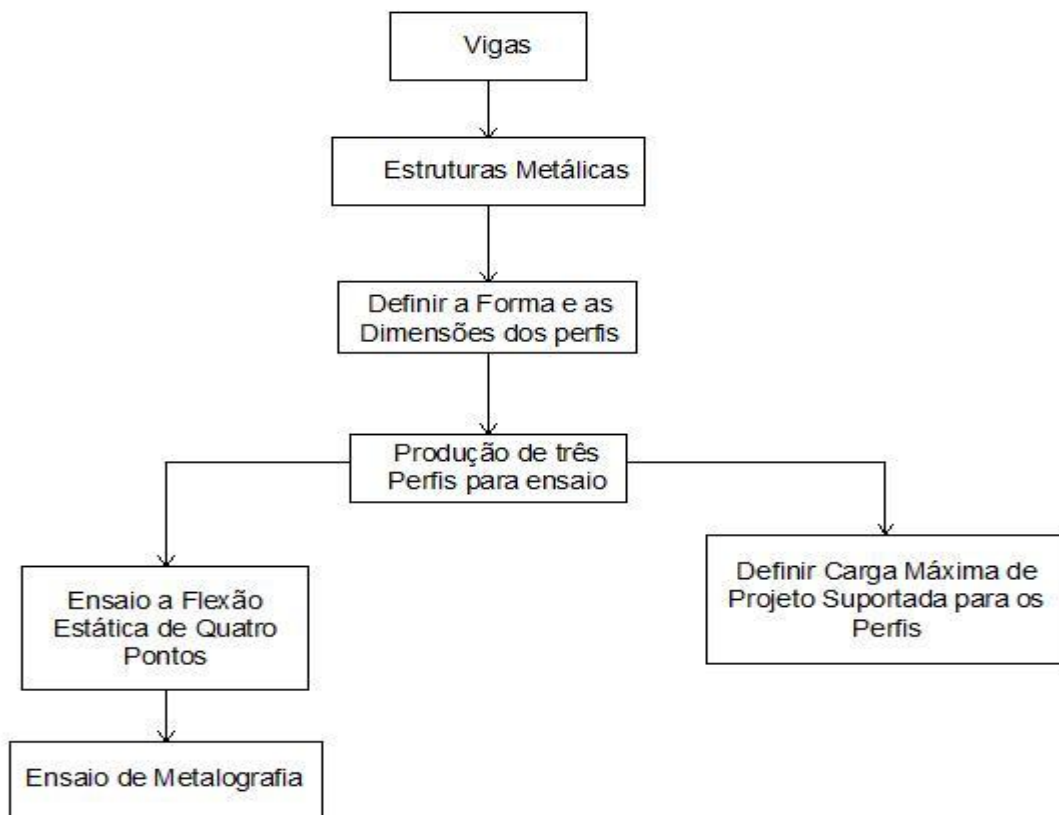
espessura com no máximo 8 mm. Mesmo com as recomendações de norma é comum o uso de perfis com espessura superior.

O presente trabalho pretende verificar se os perfis utilizados fora das citações de norma podem ser utilizados, verificando se o mesmo sofre influência na dobra no ensaio de resistência a flexão estática simples mantendo a resistência de cálculo. Com os resultados obtidos nos ensaios dos perfis formados a frio, poderemos coletar dados que contribuirão para uma análise mais profunda sobre o uso contínuo destes perfis como elemento estrutural para construção civil.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo em análise foi desenvolvido conforme o organograma apresentado na figura 01.

Figura 1: Organograma do método de estudo

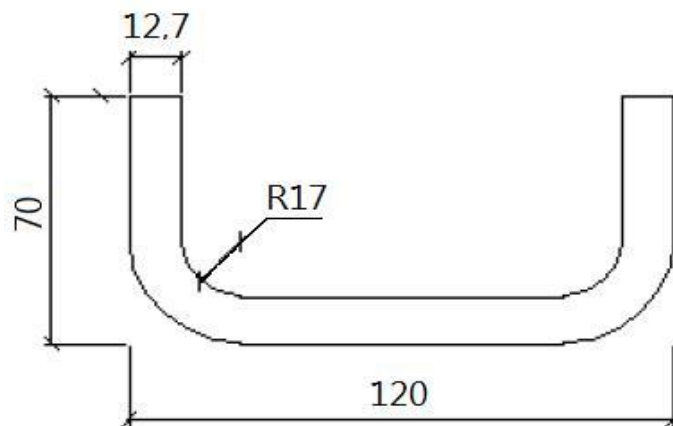


Fonte: Do autor (2013)

## 2.1 ESPECIFICAÇÕES DO PERFIL

Conforme o organograma da figura 01 foi definido as dimensões e a forma dos perfis adotando-se um perfil do tipo U de 120 x 70 x 12,7 mm com comprimento de 2300 mm (figura 02).

Figura 02: Detalhe das Dimensões adotadas



Fonte: Do Autor (2013)

## 2.2 PRODUÇÃO DOS PERFIS

Segundo CARVALHO (2010) existe dois métodos para produção de perfis formado a frio; com perfiladeiras ou com prensa dobradeira. Para realização do trabalho foi adotado o método de prensa dobradeira com capacidade de dobra para chapas com espessura de 12,7 mm.

O aço escolhido para a fabricação dos perfis foi o ASTM A36, este de acordo com a NBR 8800:08 atende as prescrições da NBR 14762:10, onde a relação entre a resistência à ruptura e a resistência ao escoamento ( $f_u/f_y$ ) do aço deve ser maior ou igual a 1,08, sendo indicado para produção de perfis formado a frio.

### 2.2.1 Verificações das dimensões dos perfis

Para utilizar os perfis nos ensaios, as dimensões devem atender as exigências da NBR 8800:08 que descreve tolerâncias de  $\pm 2$  mm no comprimento das barras. A

tabela 01 apresenta as dimensões dos perfis após sua fabricação dentro das tolerâncias exigidas segundo a norma.

Tabela 01: Inspeção das dimensões dos perfis

$N^{\circ}$	Comp.(mm)	Aba 1 (mm)	Aba 2 (mm)	Alma (mm)
1	2302	69,3	70,1	121
2	2301	70,2	71,6	120,4
3	2302	70,1	68,3	121,8

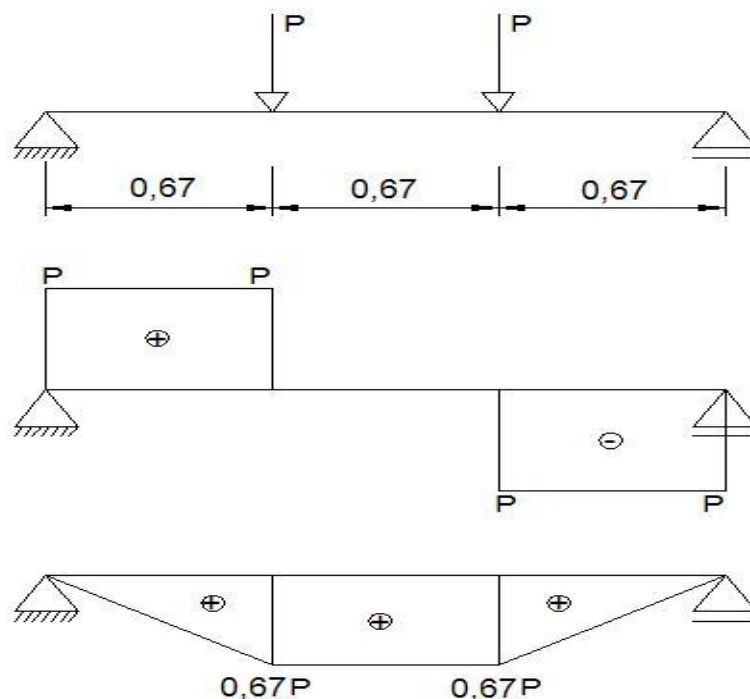
Fonte: Do autor (2013)

### 2.3 DETERMINAÇÃO DA CARGA MÁXIMA DE CÁLCULO SUPOSTADA PARA OS PERFIS

Os cálculos foram elaborados de acordo com o método da seção efetiva da NBR 14762:10, definindo os valores máximo de carga do perfil, desconsiderando todos os coeficientes de majoração e minoração nos cálculos.

Foi definido que o tipo de carregamento para o trabalho será com esforços concentrado de quatro pontos, conforme a figura 03.

Figura 03: Esforços solicitantes na viga de aço



Fonte: Do autor (2013)

### 2.3.1 Barras submetidas à flexão estática simples

Esta subseção aplica-se a barras prismáticas submetidas a momento fletor e força cortante. No dimensionamento devem ser verificados todos os estados-limites serviço aplicáveis, conforme prescrições da NBR 14762:10 devem ainda ser atendidas as seguintes condições:

$$M_{Sd} \leq M_{Rd}$$

$$V_{Sd} \leq V_{Rd}$$

Onde

$M_{Sd}$  é o momento fletor solicitante de cálculo;

$M_{Rd}$  é o momento fletor resistente de cálculo;

$V_{Sd}$  é a força cortante solicitante de cálculo;

$V_{Rd}$  é a força cortante resistente de cálculo.

### 2.3.2 Momento fletor

O momento fletor resistente de cálculo  $M_{Rd}$  deve ser tomado como o menor valor calculado, para início de escoamento da seção efetiva, flambagem lateral com torção, flambagem por distorção.

$$M_{Sd} \leq M_{Rd}$$

$$0,67P \leq 1184,91 \tag{2.1}$$

$$P \leq 1768,19 \text{ kgf}$$

Onde:

P é a carga máxima;

### 2.3.3 Verificação do esforço cortante

O cálculo para o esforço cortante resistente  $V_{Rd}$  é apresentado conforme a interação abaixo:

$$V_{Sd} \leq V_{Rd}$$

$$P \leq 7439,85 \text{ kgf} \quad (2.2)$$

### 2.3.4 Momento fletor e força cortante combinados

Para barras sem enrijecedores transversais de alma, o momento fletor solicitante de cálculo e a força cortante solicitante de cálculo na mesma seção, devem satisfazer à equação a seguir:

$$\begin{aligned} (MSd/MRd)^2 + (VSd/VRd)^2 &\leq 1,0 \\ (0,67P/1184,89)^2 + (P/7439,71)^2 &\leq 1,0 \\ P &\leq 1720,23 \text{ kgf} \end{aligned} \quad (2.3)$$

### 2.3.5 Cálculo de deslocamentos

Para carregamento com esforço concentrado em quatro pontos o deslocamento é determinado conforme a interação 2.4:

$$\begin{aligned} d_{max} &= \frac{23Pl^3}{648EI} \\ 0,804 &= \frac{23 \times P \times 201^3}{648 \times 20000 \times 200,59} \\ P &= 11,19 \text{ kN ou } 1141,06 \text{ kgf} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Onde:

$d_{max}$  é o deslocamento máximo;

L é o comprimento da viga;

I é o momento de inércia;

E é o módulo de elasticidade.

## 2.4 ENSAIO DOS PERFIS POR FLEXÃO ESTÁTICA SIMPLES

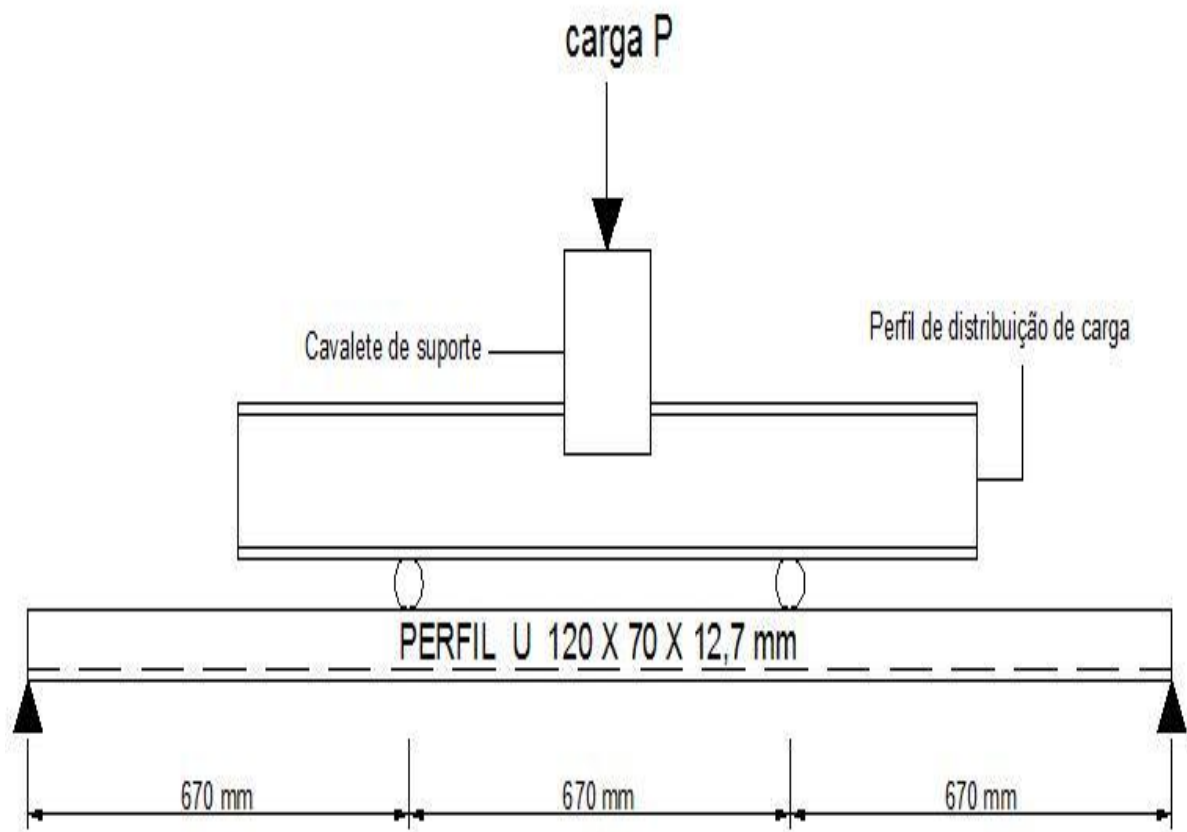
O ensaio foi realizado no Laboratório Experimental de Estruturas (LEE), localizado no I Parque – IDT-Unesc. Foram fabricados três perfis para realização do ensaio, analisando as deformações geradas na flexão simples.

A aplicação do carregamento foi feita por meio de um macaco hidráulico no sentido vertical, de cima para baixo transmitido por meio de uma viga rígida, distribuindo as cargas para viga metálica do ensaio posicionada logo abaixo.

Para que a viga metálica não sofresse torção durante o ensaio, as abas do perfil foram interligadas com cinco talas de aço soldadas na viga (figura 05). Desta forma as abas ficaram travadas impedindo deformações por torção.

A aplicação desse carregamento será monitorada através de células de cargas, onde se quantificará a força. A força aplicada aumentará de acordo com o tempo (gradualmente) e o deslocamento será acompanhado pelo LVDT (figura 04).

Figura 04: Disposição da viga no ensaio



Fonte: Do autor (2013)



Figura 5: Talas de aço soldadas nas abas do perfil



Fonte: Do autor (2013)

#### 2.4.1 Ensaio dos Perfis

Os perfis foram apoiados em dois cavaletes e as cargas foram passadas para os perfis através de dois roletes e instalado no cento da viga o LVDT, para medir o deslocamento vertical (figura 06).

Figura 06: Posicionamento do perfil para realização o ensaio



Fonte: Do autor (2012)



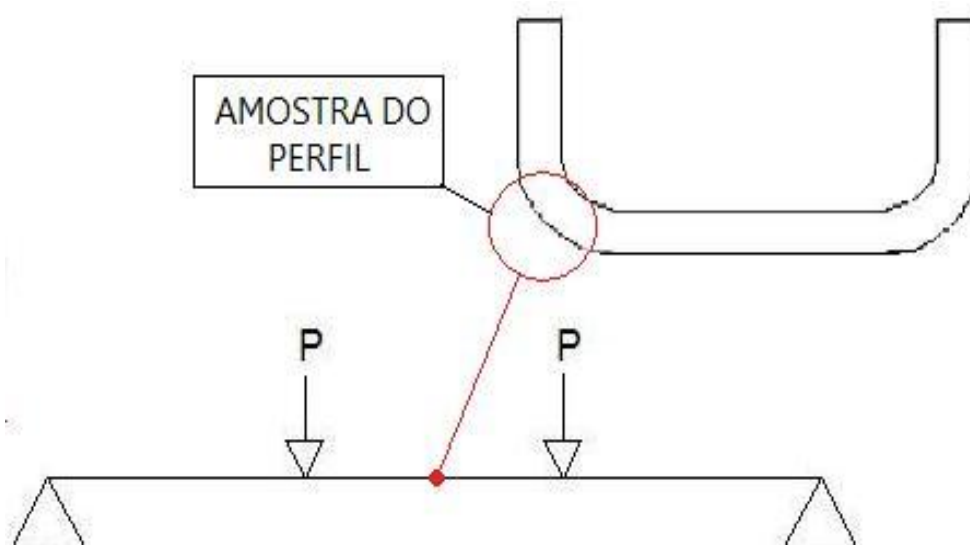
Ao decorrer do ensaio pode ser observado que não ocorreu nenhuma deformação decorrente do esforço de torção senão o da flexão. O posicionamento do perfil com a alma apoiada sobre o cavalete e as talas de aço soldadas nas abas do perfil contribuíram para que as deformações fossem somente ao esforço de flexão.

## 2.5 FISSURAS PROVENIENTES DA DOBRA DA CHAPA

Os perfis após serem fabricados, passaram por uma inspeção visual para verificar possíveis fissuras decorrente do processo de dobragem do aço não apresentando nenhuma anormalidade.

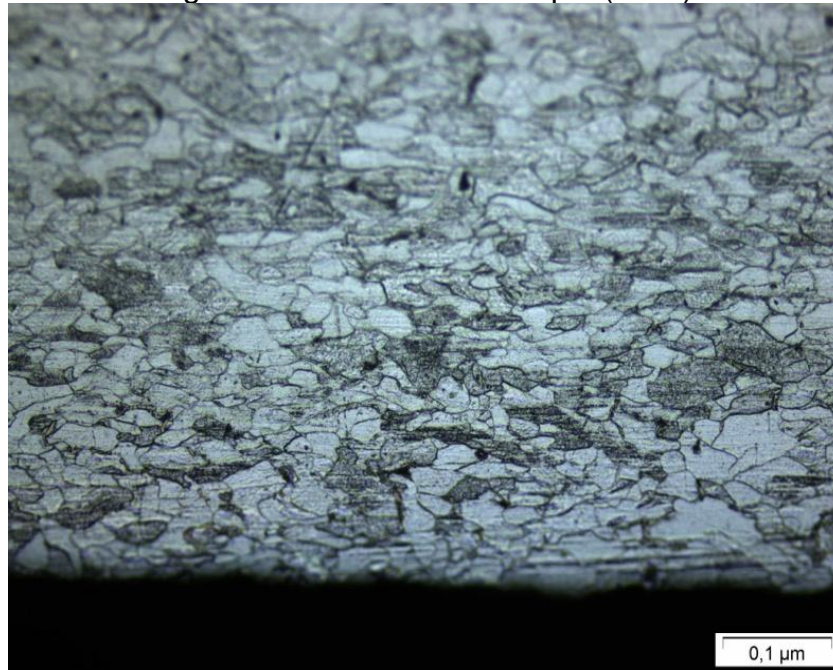
Com o objetivo de verificar o surgimento de fissuras na dobra do perfil após o ensaio à flexão estática, foi coletada uma amostra para cada perfil (figura 07) e realizada inicialmente uma análise microscopia com aumento de 200X, onde não se identificou o surgimento de fissuras nas extremidades (figura 08).

Figura 07: Local da amostra retirada do perfil



Fonte: Do Autor (2013)

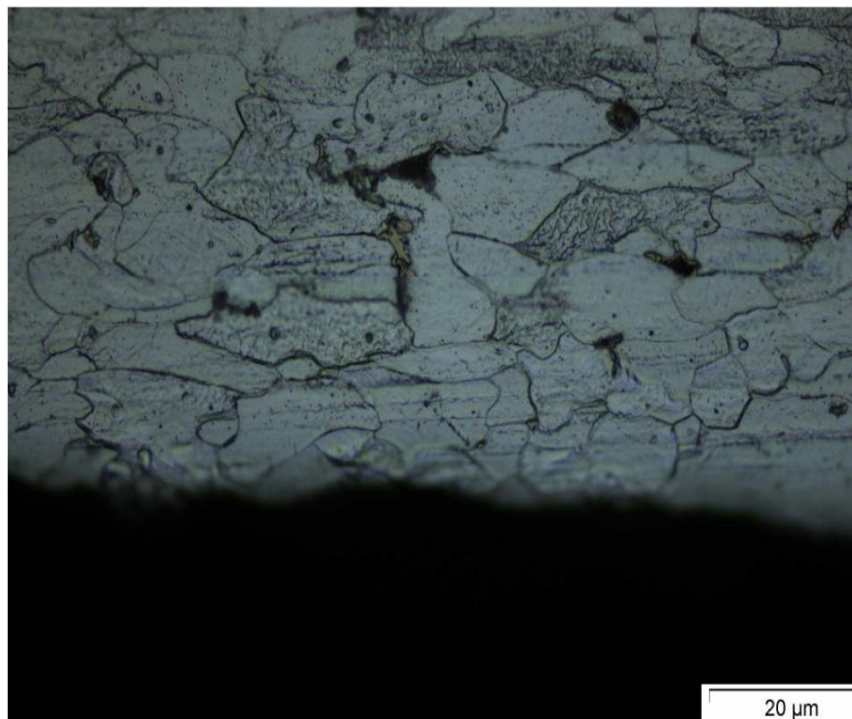
Figura 08: Análise microscopia (200x)



Fonte: Do Autor (2013)

Para confirmar o resultado foi realizada em seguida uma ampliação na imagem, microscopia (500x) conforme a figura 09. Os resultados se mantiveram, constando que o perfil não apresentou microfissuras nas suas extremidades.

Figura 09: Análise microscopia (200x)



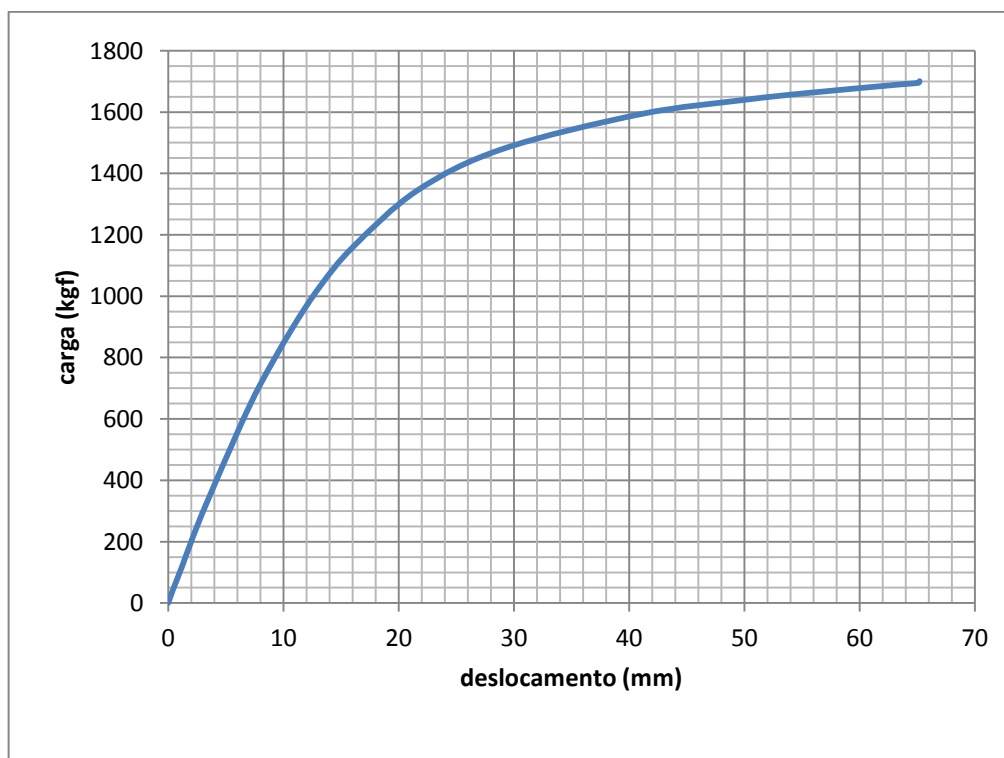
Fonte: Do Autor (2013)

Para impedir a fissuração do aço na dobra, o raio interno de dobragem deve respeitar valores mínimos especificados. Para espessuras menores ou iguais a 6,30mm deve ser considerado o tamanho do raio igual à espessura da chapa (PFEIL, 2010).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As informações obtidas no ensaio foram analisadas e comparadas com os resultados apresentados nos cálculos. A semelhança dos gráficos apresentados nas figuras 10,12, e 14, demonstram o comportamento do material durante o ensaio.

Figura 10: Carga x Deslocamento (Perfil 01)



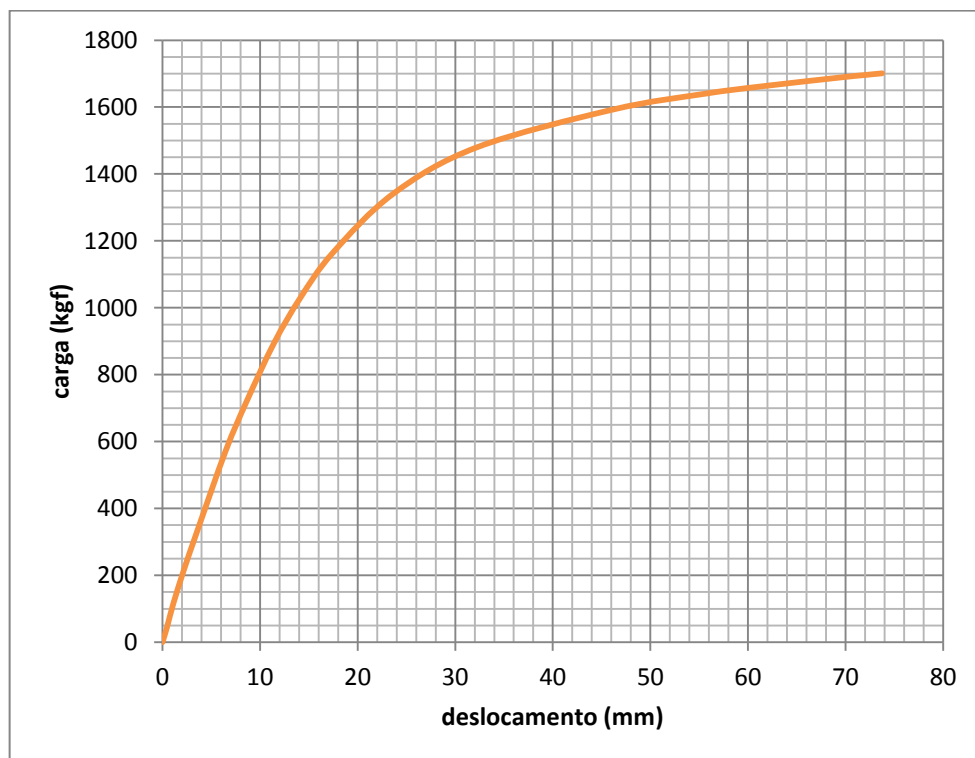
Fonte: Do autor (2013)

Figura 11: Ensaio à flexão estática (Perfil 01)



Fonte: Do autor (2013)

Figura 12: Carga x Deslocamento (Perfil 02)



Fonte: Do autor (2013)

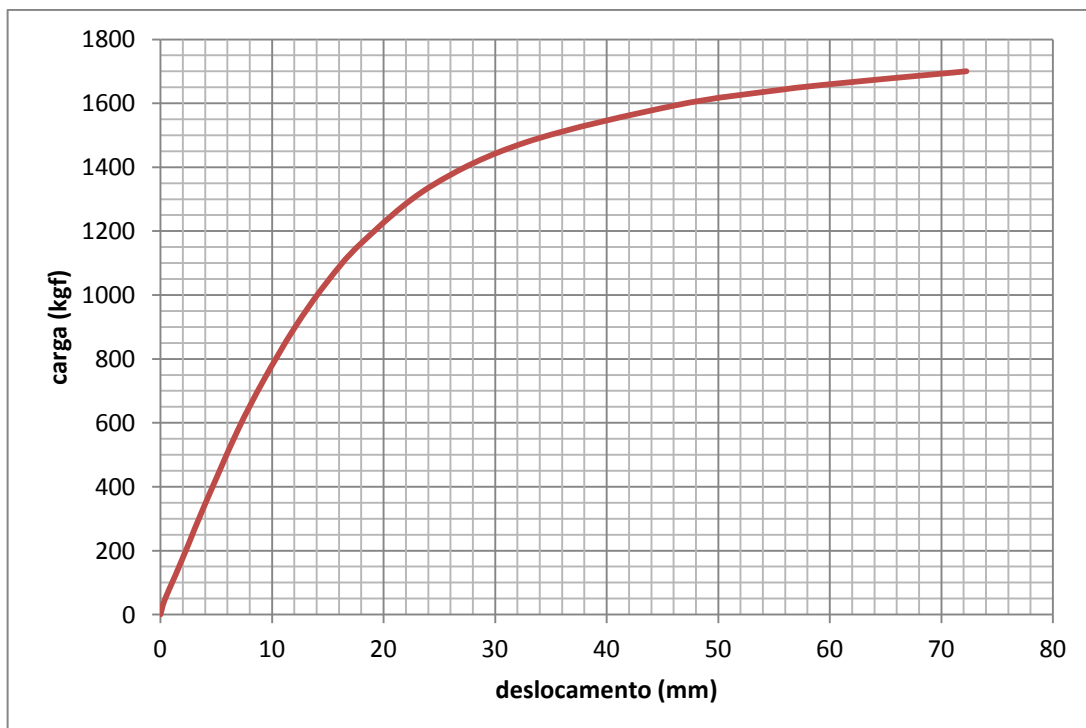


Figura 13: Ensaio à flexão estática (Perfil 02)



Fonte: Do autor (2013)

Figura 14: Carga x Deslocamento (Perfil 03)



Fonte: Do autor (2013)

Figura 15: Ensaio à flexão estática (Perfil 03)



Fonte: Do autor (2013)

As cargas máximas definidas em cálculo foram elaboradas de acordo com o Método da Seção Efetiva (MSE) da NBR 14762:10, desconsiderando todos os coeficientes de minoração e majoração. A carga de cálculo encontrada pelo MSE foi de 3440,46 kgf e para flecha admissível máxima para esforços em quatro apoios foi de 0,804 cm com valor de carga calculado de 2282,12 kgf.

Com os resultados apresentados nos ensaios constatou-se que a carga máxima de cálculo foi superior a de ensaio, comprovando que os perfis não resistem à carga projetada. Pode ser verificado (tabela 02) que os resultados do ensaio das cargas em relação a flecha admissível máxima de 0,804 cm foram inferiores ao de calculo. Comprovando que o trabalho a frio dos perfis influenciam na resistência dos resultados apresentados.

Tabela 02: Resultados obtidos nos ensaios à flexão

	<b>CARGA (kgf)</b>	<b>DESLOCAMENTO (mm)</b>	<b>Carga no deslocamento máximo</b>
<b>PERFIL 01</b>	1700,39	65,19	716,43
<b>PERFIL 02</b>	1700,53	73,75	680,71
<b>PERFIL 03</b>	1700,38	72,24	653,70
<b>MÉDIA</b>	1700,43	70,39	683,61
<b>DESVIO</b>	$\pm 0,08$	$\pm 4,57$	$\pm 19,10$

Fonte: Do Autor (2013)

Foi considerado nos ensaios o desvio padrão de  $\pm 0,08$  para as cargas aplicadas,  $\pm 4,57$  para os deslocamentos e  $\pm 19,10$  para carga no deslocamento máximo.

A ductibilidade do aço foi outro dado importante a destacar, após a viga receber a carga de ensaio a deformação sofrida, teve uma recuperação parcial no momento em que era aliviada a carga sobre o perfil.

#### 4. CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido foi destinado ao setor de estruturas metálicas, apresentando de forma simplificada as definições e características do aço, principalmente aos perfis formado a frio.

Para a realização da pesquisa foi definido a forma e dimensão do perfil, sendo fabricados pelo método de prensa dobradeira três amostras do perfil tipo U de 120 x 70 x 12,7 mm com comprimento de 2300 mm.

Para realização dos ensaios utilizou-se as recomendações da norma NBR 14762:10, determinando a máxima carga de cálculo desconsiderando todos os coeficientes de majoração e minoração.

Durante os ensaios constatou-se que a resistência de calculo foi superior a dos resultados obtidos nos ensaios, às vigas se deformaram facilmente com um esforço



abaixo do esperado, demonstrando que a dobra do trabalho a frio pode ser um fator a qual influenciou de alguma forma nos resultados.

Após os ensaios foi verificado através de análise metalográfica a ocorrência de fissuras, sendo que o resultado não apresentou nenhuma patologia.

A pesquisa apresentou resultados onde os perfis formado a frio com espessura de 12,7 mm, devem passar por novos estudos de forma a detectar outros fatores responsáveis pela redução na capacidade de resistência dos perfis, uma vez que não apresentou qualquer tipo de fissuras na dobra, tais estudos podem ser determinante o aumento excessivo de ductilidade.

Os resultados obtidos confirmam a recomendação prescrita na NBR 14762:10 e NBR 6355:03 que limitam para perfis de chapa dobrada espessuras com no máximo 8 mm.

## 5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14762. **Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio.** Rio de Janeiro: ABNT, 2010. 87 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6355. **Perfis estruturais de aço formados a frio - Padronização.** Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 37 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8800. **Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.** Rio de Janeiro: ABNT, 2008. 237 p.

CARVALHO, Paulo Roberto Marcondes de et al. **Curso básico de perfis de aço formados a frio.** 2. ed Porto Alegre: [s.n.], 2006. 374 p.

CHIAVERIVI, V. **Aço e ferro fundidos.** 7. ed São Paulo: Associação Brasileira de Metais, 1996

CUSTÓDIO, Fabio Sumara. **Análise da influência da dobra na resistência à flexão de um perfil de aço formado a frio aplicado no setor de estruturas metálicas.** 2012. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem.** 5. ed. São Paulo: Ziguarte, 2006. 159 p.

DONIM, Vitor Cerqueira. **Tabelas para verificação de perfis formados a frio.** 2009. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Católica do Salvador, Salvador.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Estruturas de aço: dimensionamento prático.** 8. ed Rio de Janeiro: LTC, 2010. 357 p.