

ANÁLISE DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO DE CHAPAS DE AÇO COM UMA DOBRA

Bruno Luciano Casagrande (1), Márcio Vito (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)brunolcasa_96@hotmail.com (2)marciovito@unesco.net

RESUMO

A indústria da construção civil com o objetivo de racionalizar os métodos construtivos e conseqüentemente reduzir custos tem optado pelo uso de Perfis de Aço Formados a Frio (PFF). No entanto há limitações tanto a nível normativo como de processos adotados para conformação desses perfis. De forma a analisar a possibilidade de uso de PFF, foram estudados perfis com dobra de 8,00 mm (máximo permitido), 9,52 mm e 12,70 mm de espessura com dobra a 180°, através de ensaios de tração simples, flexão estática, dureza de Brinell e metalografia das seções dobradas e sem dobras. Com os resultados obtidos foi analisada a influência da espessura da chapa no processo de dobra. Ficou evidente que as chapas dobradas com espessuras de 9,52 mm e 12,70 mm não sofreram danos e obtiveram um ganho de resistência à tração. No entanto as chapas com espessura de 8,00 mm sofreram rompimento já no processo de dobragem, sendo, portanto descartado sua participação nos ensaios. A conformabilidade de chapas de aços apresentou uma relação direta com a espessura aumentando sua eficiência de acordo com aumento de seção transversal de aço.

Palavras-chave: Aço, conformação, dobra, resistência.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil passa por momentos de grande incremento na produção direta e indireta para execução de obras. Dessa forma o desenvolvimento tecnológico é de extrema importância para a manutenção desse crescimento. As empresas estão procurando cada vez mais por sistemas racionais com intuito de garantir menor tempo de obra e obter redução de desperdícios, neste contexto o aço aparece como um dos materiais mais utilizados no mundo, no entanto no Brasil o aço é considerado um sistema construtivo como elemento de alto custo. Uma maneira de reduzir este custo é a utilização de perfis formados a frio (PFF). Este sistema apresenta maior variação de formas, assim favorecendo a elaboração e execução de projetos. Além da construção civil podemos encontrar perfis formados a frio na indústria automobilística (carros, caminhões leves), indústria aeronáutica

(estrutura dos aviões), transportes pesados (carroceria de vagões, construção naval), agroindústrias (maquinas e implementos agrícolas), porém, os PFFs podem sofrer algumas restrições em função de sua deformação.

Mais comumente, a conformabilidade de uma chapa metálica é a sua capacidade de se deformar, adquirindo a forma imposta pelos esforços gerados por uma matriz e por um punção, sem que ocorra falha ou aparecimento de defeitos que inviabilizem a utilização do produto (orelhas, enrugamentos, etc.) (Hosford, 1993; Semiatin, 1984; Mielnik, 1991). Esta falha pode ser devida à ocorrência de fratura ou à instabilidade plástica localizada (estricção), sendo esta última a causa mais comum da limitação da conformabilidade (Hosford, 1993).

Segundo CARVALHO (2006), os PFF levam vantagem sobre os perfis laminados: Os PFF têm a forma e as dimensões adequadas à solicitação, por ser um perfil criado pode-se otimizar suas dimensões até que o valor da resistência seja igual ao da solicitação, isto representa economia, facilidade de produção e baixo custo de estoque. Dentre os materiais metálicos comumente utilizados na conformação de chapas, o aço carbono, destaca-se por apresentar excelente conformabilidade.

Porém a utilização desse perfil fica restrita devido à recomendação da norma NBR 14762:10 que permite a utilização de perfis de chapa dobrada com até 8,00 mm de espessura e aços que devem apresentar a relação entre a resistência à ruptura (f_u) e a resistência de escoamento (f_y) maior ou igual a 1,08, como também em estudos desenvolvidos na mecânica dos meios contínuos, além da teoria clássica da plasticidade, destaca-se o enfoque experimental dado aos limites de conformabilidade de chapas de Keeler & Backhofen (1964) apud Stoughton (2000) e Goodwin (1968) apud Stoughton (2000).

Nesta linha, diversos autores apresentaram considerações teóricas acerca dos limites aceitáveis de deformação no processo de dobragem, desenvolvendo modelos matemáticos para apresentar de modo macroscópico alguns defeitos presentes no processo. Modelos estes considerados por Marciniak & Kuczynski (1967), sendo descrito em Marciniak & Duncan (1992).

Para DIAS (2006) os aços-carbono com até 0,30% de carbono (baixo carbono) são mais adequados à construção civil, pois podem ser soldados sem precauções especiais, já com o aumento do teor de carbono a ductibilidade do aço reduz causando problemas no processo de soldagem.

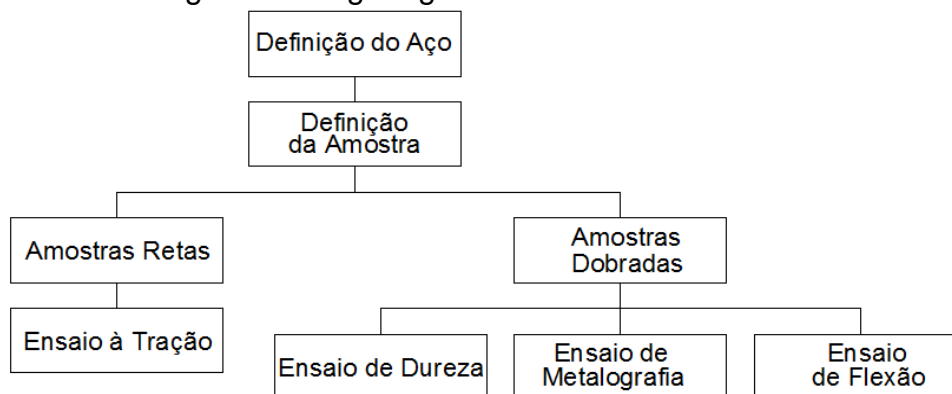
Nesse estudo foi utilizado o aço SAE 1020, pois é um dos aços mais utilizados na fabricação de perfil formados a frio, apresentando 0,2% de carbono.

Este estudo tem como principal objetivo verificar se chapas dobradas a frio com dobra á 180° e espessuras de 8,00 mm (máximo permitido), 9,52 mm e 12,70 mm sofrerão alterações em suas propriedades mecânicas quando comparado à amostra sem dobra. Com a finalidade de identificar possíveis falhas na dobra os ensaios escolhidos e analisados foram a dureza obtida através do ensaio de Brinell, a tração utilizando ensaios de tração simples, tração obtida pelo ensaio de flexão estática e por final metalografia para identificar as alterações nos grãos componentes do aço.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desse estudo foi seguido o organograma apresentado na Figura 01.

Figura 01: Organograma do Método de Estudo



Fonte: Autor (2014)

2.1. DEFINIÇÃO DA AMOSTRA

O aço escolhido para a fabricação das amostras foi o aço SAE 1020, este material esta de acordo com a NBR 14762:2010, 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 formados a frio.

Para os ensaios foram utilizados um total de 09 amostras, confeccionadas conforma a Tabela 01:

Tabela 01: Quantidade de Amostras

Espessura (mm)	Amostra
8 (Norma)	3
9,52	3
12,70	3

Fonte: Autor (2014)

Após o corte das amostras, foi verificado com uma trena maleável o tamanho das mesmas conforme Tabela 02.

Tabela 02: Dimensões das Amostras

Amostra	Espessura (mm)	Largura Inicial (mm)
1	8,00	101
2	8,00	101
3	8,00	101
A1	9,52	101
A2	9,52	101
A3	9,52	101
B1	12,70	191
B2	12,70	191
B3	12,70	191

Fonte: Autor (2014)

2.2. DOBRAGEM DAS AMOSTRAS

Segundo CARVALHO (2006), existe dois métodos para dobragem dos PFFs, com perfiladeiras ou com prensa dobradeira. Para realização desse estudo foi adotado para dobra das amostras o método de prensa dobradeira com capacidade de dobra para chapas com espessura até 12,7 mm.

Todas as amostras foram novamente medidas com uma trena maleável e anotadas conforme Tabela 03.

Tabela 03: Dimensões das amostras após a dobra

Amostra	Espessura (mm)	Largura Inicial (mm)	Largura Final (mm)	Alongamento (%)	Média (%)
1	8,00	101	116	14,85	
2	8,00	101	117	15,84	15,51±0,57
3	8,00	101	117	15,84	
A1	9,52	101	122	20,79	
A2	9,52	101	119	17,82	18,81±1,71
A3	9,52	101	119	17,82	
B1	12,70	191	212	10,99	
B2	12,70	191	212	10,99	10,99±0,00
B3	12,70	191	212	10,99	

Fonte: Autor (2014)

As Figuras 2.a e b mostram as amostras depois de dobradas.

Figura 2.a) amostras dobradas com 12,70 mm, b) amostras dobradas com 9,52 mm



Fonte: Autor (2014)

2.3. ENSAIO DE METALOGRAFIA

O ensaio de metalografia foi realizado no i-DT UNESC (instituto de engenharia e tecnologia), foram analisadas 02 amostras conforme Tabela 04.

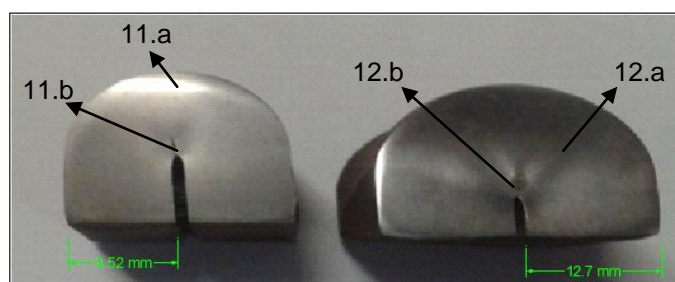
Tabela 04: Ensaio de Metalografia

Espessura (mm)	Amostra
9,52	1
12,70	1

Fonte: Autor (2014)

Para realização do ensaio as peças foram inicialmente preparadas, as mesmas passaram por uma politriz com lixas 80, 120, 320, 400, 500, 600, 800 e 1200, após recebeu um polimento utilizando óxido de alumínio (alumina) e por último um ataque químico, onde foi utilizado o NITAL (ácido nítrico e álcool), no término desse processo as amostras estavam prontas para realização do ensaio de metalografia, (Figura 03), onde foi utilizado um microscópio Olympus BX 41 led e um software para captação de dados.

Figura 03: Amostras para Metalografia

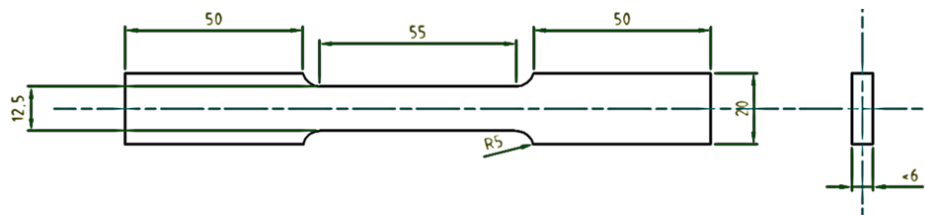


Fonte: Autor (2014)

2.4. ENSAIO DE TRAÇÃO

O ensaio de tração simples foi realizado para verificar o alongamento, tensão de escoamento e tensão de ruptura do corpo de prova padrão (Figura 04), sendo ensaiados 03 corpos de prova (CP) normalizados pela ASTM A370:13. Para isso foi utilizado o equipamento EMIC modelo DL10000 (Máquina Universal de Ensaio) com capacidade máxima de 10 toneladas, que está localizada no i-DT UNESC.

Figura 04: Corpo de prova padrão (mm)



Fonte: Autor (2014)

Para medir o alongamento elástico de forma direta foi utilizado extensômetro, equipamento da marca EMIC, posicionado no corpo de prova, como mostra a Figura 05.

Figura 05: Posicionamento do extensômetro



Fonte: Autor (2014)

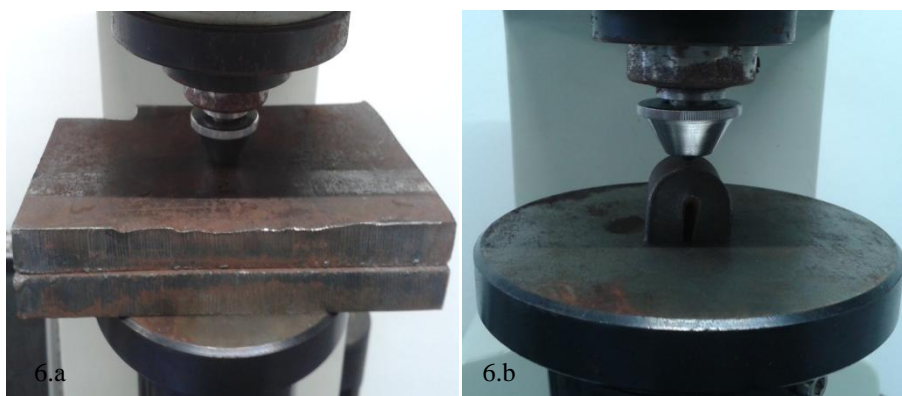
2.5. ENSAIO DE DUREZA

Segundo PFEIL (2008), Denomina-se dureza a resistência ao risco ou abrasão. Na prática mede-se dureza pela resistência que a superfície do material oferece à penetração de uma peça de maior dureza. Existem diversos processos como Brinell, Rockwell e Shore, sendo o primeiro adotado para realização dos ensaios nesse artigo.

Segundo SOUZA (1979), a dureza por penetração, proposta por J. A. Brinell em 1900, denominada dureza Brinell e simbolizada por *HB*, é o tipo de dureza mais usado até os dias de hoje na engenharia. O ensaio de dureza de Brinell foi realizado seguindo a norma ASTM E10,

Os parâmetros adotados para o ensaio de Brinell foram: carga de 750 kgf (*Q*) e diâmetro da esfera (*D*) igual a 5,00 mm. O ensaio foi realizado na parte reta da chapa e na dobra de acordo com a Figura 6.a e b.

Figura 6.a) Ensaio na parte reta da amostra, b) Ensaio na parte dobrada da amostra



Fonte: Autor (2014)

Para obter a dureza Brinell foi calculado através da seguinte equação:

$$HB = \frac{Q}{\pi * D * (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.1)$$

O parâmetro (*d*) é o diâmetro da calota esférica medida através de um micrômetro óptico. Segundo SOUZA (1979) existe uma correlação empírica entre a dureza Brinell e o limite de resistência convencional que resulta aproximadamente a tensão de ruptura a tração do aço, para essa correlação utiliza-se $f_u \approx 0,36HB$.

Ainda segundo SOUZA (1979) a unidade N/mm² ou Kgf/mm², que deveria ser sempre colocada após o valor de *HB*, pode ser omitido.

Para as amostras dobradas é necessário fazer uma correção do valor obtido no ensaio de Brinell, em função do diâmetro da amostra para impressão da calota esférica, nesse caso os valores foram corrigidos através da escala Rockwell B, a Tabela 05 apresenta os dados corrigidos para cada amostra dobrada.

Tabela 05: Correção de HB

Amostra	HB	HRB	Correção HRB	HRB corrigido	HB corrigido
A4 (dobra)	164,26	85,53	1,50	87,03	170,70
A5 (dobra)	148,88	80,66	1,50	82,16	153,39
A6 (dobra)	161,30	84,77	1,50	86,27	167,44
B4 (dobra)	129,87	73,68	1,61	75,29	133,78
B5 (dobra)	124,62	71,46	1,64	73,10	128,50
B6 (dobra)	133,17	75,06	1,66	76,72	137,65

Fonte: Autor (2014)

Após as correções dos valores de HB para as amostras dobradas, foi determinada a tensão de ruptura empírica para todas as amostras (Tabela 06).

Tabela 06: Tensão de ruptura empírica

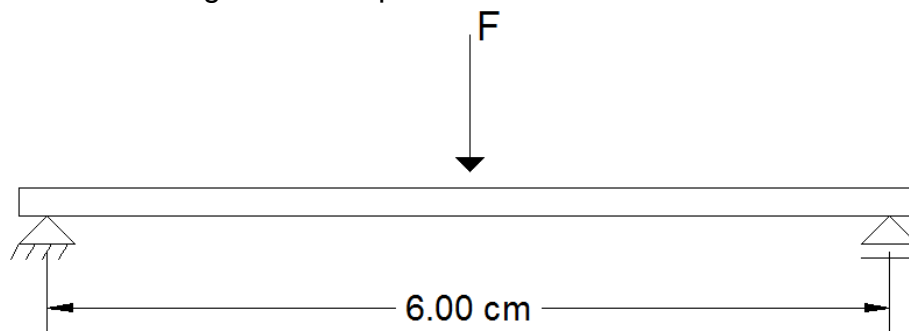
Amostra	d (mm)	D (mm)	HB	K	F (Kgf)	<i>f_u</i> de tração (MPa)
A1	2,63		127,74			451,11
A2	2,60	5,00	130,96	0,36	750	462,50
A3	2,58		133,17			470,32
Média	2,60±0,03		130,62±2,73			463,31±9,66
A4 (dobra)	2,34		170,70			602,84
A5 (dobra)	2,45	5,00	153,39	0,36	750	541,71
A6 (dobra)	2,36		167,44			591,33
Média	2,38±0,06		163,84±9,20			578,63±32,48
B1	2,84		107,92			381,13
B2	2,84	5,00	107,92	0,36	750	381,13
B3	2,76		114,94			405,94
Média	2,81±0,05		110,26±4,05			389,40±14,32
B4 (dobra)	2,61		133,78			472,46
B5 (dobra)	2,66	5,00	128,5	0,36	750	453,81
B6 (dobra)	2,58		137,65			486,12
Média	2,62±0,04		133,31±4,59			470,80±16,22

Fonte: Autor (2014)

2.6. ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICO

Foram realizados seis ensaios de flexão estáticos de três pontos, sendo o corpo de prova colocado sobre dois apoios e aplicado uma carga concentrada no centro da amostra (Figura 07). Esses ensaios foram realizados utilizando o equipamento da EMIC modelo DL10000 (Máquina Universal de Ensaio) com capacidade máxima de 10 toneladas, que está localizada no i-DT UNESC.

Figura 07: Esquema do ensaio de flexão



Fonte: Autor (2014)

Para obter as amostras para o ensaio, foi necessário cortar as peças das Figuras 2.a e b, sendo aproveitada a parte dobrada da mesma e posicionadas de modo que a dobra fosse submetida ao esforço de tensão de tração na flexão, como mostra a Figura 08.

Figura 08: Posicionamento da amostra



Fonte: Autor (2014)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os resultados obtidos nos ensaios, iniciou-se a fase de comparação entre os dados coletados. Utilizou-se um nível de confiança de 95% para todos os ensaios. Comparando o alongamento obtido no processo de dobra com o do ensaio à tração simples (Tabela 07), observa-se que todas as amostras apresentaram valores abaixo do limite de ruptura, no entanto as amostras com espessura de 8,00 mm, mesmo não atingindo o limite de alongamento romperam no sentido longitudinal (Figura 09).

Figura 09: Trinca na amostra de 8,00 mm de espessura



Fonte: Autor (2014)

Esse tipo de trinca que apareceram nas amostras de 8,00 mm ocorreu em função da pequena quantidade de área de aço disponível para o alongamento, no caso das amostras de 9,52 mm e 12,70 mm essas seções são mais espessas assim não causando esse tipo de falha.

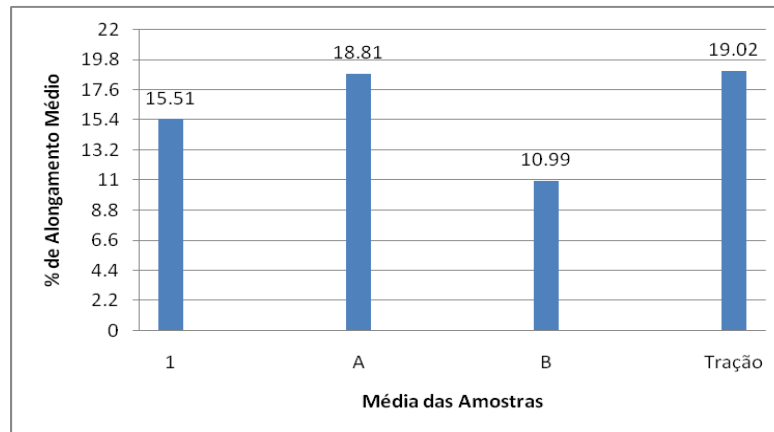
Tabela 07: Comparação dos alongamentos na dobra e na tração simples

Amostra	Alongamento (%)	Média (%)	Alongamento na Tração (%)
1	14,85		
2	15,84	15,51±0,57	
3	15,84		
A1	20,79		
A2	17,82	18,81±1,71	19,02±2,94
A3	17,82		
B1	10,99		
B2	10,99	10,99±0,00	
B3	10,99		

Fonte: Autor (2014)

Os valores acima são mostrados na Figura 10 através de um gráfico de barras, sendo 1 para amostras de 8,00 mm, A para peças com 9,52 mm, B para as de 12,70 mm e tração para o alongamento obtido no ensaio de tração simples.

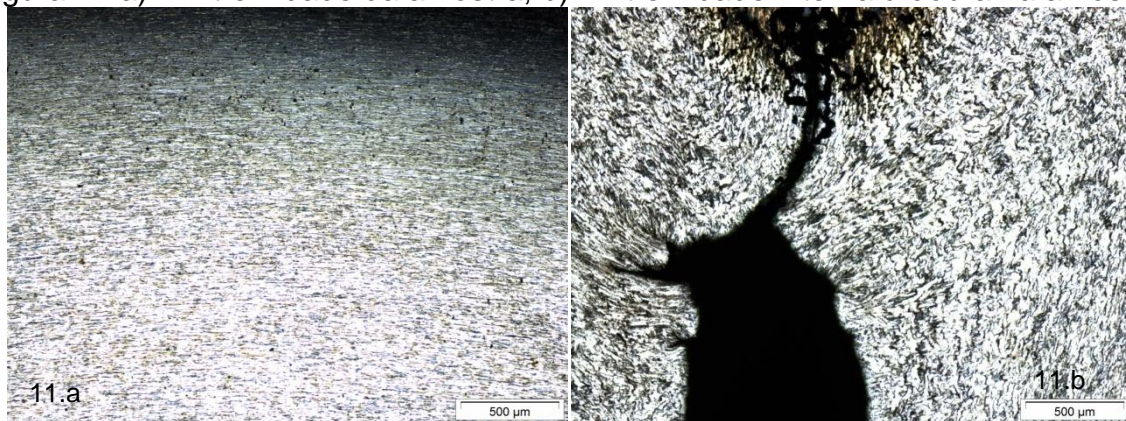
Figura 10: Comparativo de alongamento (%)



Fonte: Autor (2014)

Pode-se verificar que as amostras de 9,52 mm no ensaio de metalografia, os cristais na extremidade externa da amostra (Figura 11.a) apresentam alongamento no sentido horizontal e a aproximação no sentido vertical, porém quando observamos na extremidade interna à dobra, os cristais tem como comportamento se comprimirem (Figura 11.b). Na Figura 03 esta marcada a posição das imagens microscópicas para as amostras de 9.52 mm e 12,70 mm.

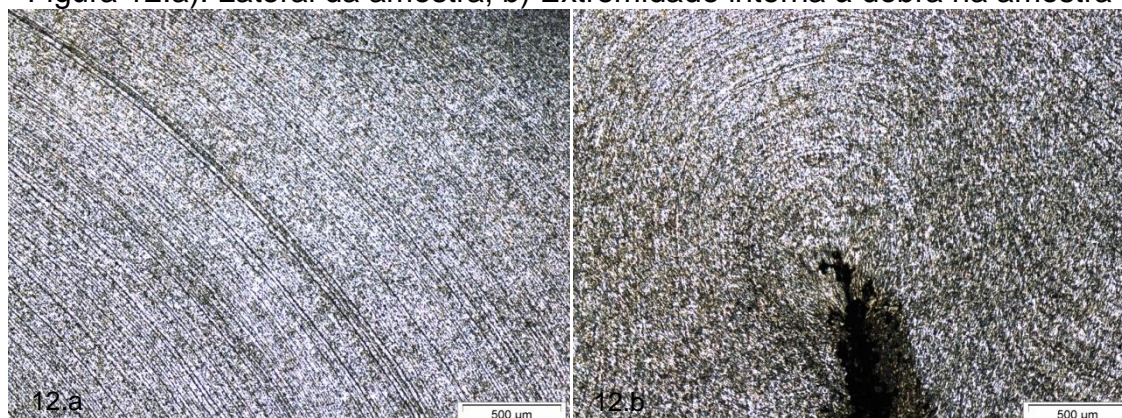
Figura 11.a) : Extremidade da amostra, b): Extremidade interna à dobra na amostra



Fonte: Autor (2014)

As Figuras 12.a e b mostra quando analisado microscopicamente a peça de 12,70 mm o comportamento dos cristais foi semelhante à amostra de 9,52 mm de espessura. Segundo SCHAEFFER (1995), à medida que a deformação prossegue, os grãos giram, alinham-se na direção dos espaços deformantes, dando lugar a uma nova estrutura microscópica de grãos alongados e menores.

Figura 12.a): Lateral da amostra, b) Extremidade interna à dobra na amostra



Fonte: Autor (2014)

Os resultados do ensaio de dureza Brinell mostra que houve um aumento de HB nas amostras ensaiadas na parte dobrada, onde, realizando o cálculo de tensão de ruptura empírico que o método disponibiliza, as mesmas peças tiveram acréscimo na sua resistência, a Tabela 08 apresenta os resultados obtidos e o percentual diferencial entre o ensaio realizado na dobra e na parte reta da amostra.

Tabela 08: Resultados ensaio de dureza Brinell

Amostra	Amostra	HB (reta)	HB (dobra)	f_u de tração (reta) (MPa)	f_u de tração (dobra) (MPa)	Diferença entre f_u (MPa)	% de Acréscimo de Tensões
A1(reta)	A4 (dobra)	127,74	170,7	451,11	602,84	151,73	33,63
A2(reta)	A5 (dobra)	130,96	153,39	462,5	541,71	79,21	17,13
A3(reta)	A6 (dobra)	133,17	167,44	470,32	591,33	121,02	25,73
Média		130,62±2,73	163,84±9,20	461,31±9,66	578,63±32,48	117,32±36,40	25,50±8,25
B1(reta)	B4 (dobra)	107,92	133,78	381,13	472,46	91,33	23,96
B2(reta)	B5 (dobra)	107,92	128,5	381,13	453,81	72,68	19,07
B3(reta)	B6 (dobra)	114,94	137,65	405,94	486,12	80,19	19,75
Média		110,26±4,05	133,31±4,59	389,40±14,32	470,80±16,22	81,40±9,38	20,93±2,65

Fonte: Autor (2014)

Observando a Tabela 08, quanto maior for o número de HB maior é a tensão de ruptura empírica. Para as amostras A (dobra) ocorreu um aumento na média de tensão de tração de 25,50 % e nas amostras B (dobra) este aumento foi de 20,93 % aumento significativo de resistência se dá em função da aproximação dos cristais do aço na extremidade da dobra. Segundo SCHAEFFER (1995), no caso de se tratar de uma deformação a frio, ocorre em geral um aumento de resistência à dureza, esse fenômeno é denominado de encruamento.

No ensaio a tração simples (Tabela 09), o alongamento até a ruptura ficou em média de 19,02% e os corpos de prova apresentaram características de resistência

superior ao mínimo exigido que é de 350MPa para tensão de escoamento e 420MPa para tensão de ruptura.

Os valores da tensão de ruptura são muito inferiores aos obtidas na tensão da força máxima, esse decréscimo de tensão ocorre pela diminuição da área da seção causada pelo alongamento e por fim chegando à estricção. A tensão na força máxima é maior que a de escoamento pelo fato que após o início do escoamento ocorre o encruamento dos cristais assim tendo uma capacidade de suporte maior.

Tabela 09: Resultados do ensaio de Tração

Amostra	Alongamento na ruptura (%)	Tensão de escoamento (MPa)	Tensão de ruptura (MPa)	Tensão na força máxima (MPa)
CP1	19,13	480,69	452,29	627,84
CP2	21,90	370,31	312,42	545,11
CP3	16,03	451,26	442,60	608,22
Média	19,02	434,09	402,44	593,72
Desvio	+ 2,94	+ 57,16	+78,11	+ 43,23

Fonte: Autor (2014)

Os resultados obtidos no ensaio de flexão estão na Tabela 10, na mesma esta exposta à tensão máxima de flexão na tração, além de dados para o calculo.

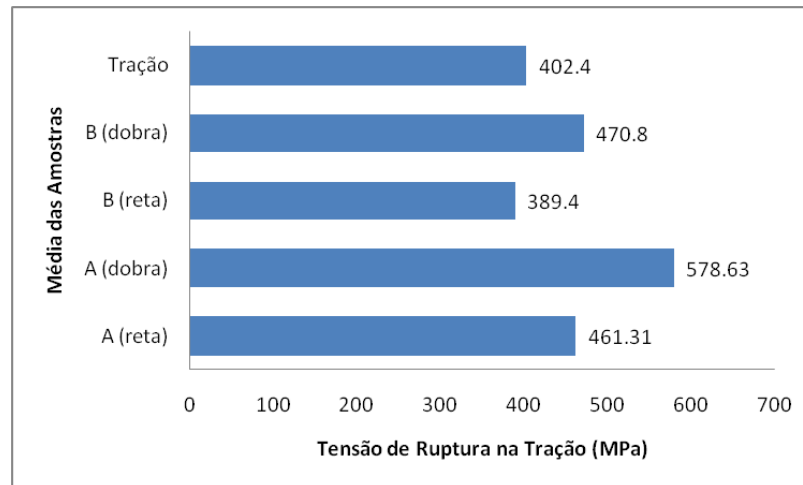
Tabela 10: Resultados ensaio de flexão

Amostra	Área (cm ²)	Carga (kN)	Momento Máximo (kN*cm)	Tensão de flexão na tração (MPa)
A1	2,78	60,01	90,00	1273,41
A2	2,68	38,84	58,26	857,30
A3	2,37	62,61	93,92	1653,71
Média	2,61±0,21	53,82±13,04	80,73±19,56	1235,63±398,34
B1	3,33	73,27	109,91	1214,89
B2	3,70	92,84	139,26	1229,53
B3	3,83	69,18	103,77	889,50
Média	3,62±0,26	78,43±12,65	117,65±18,97	1111,31±192,23

Fonte: Autor (2014)

Pode-se considerar que mesmo com uma dobra já presente na amostra, as mesmas tiveram uma alta tensão de flexão na tração. Comparando-se o resultado que obtivemos no ensaio de tração simples, força máxima, com os corpos de provas, esses valores são em media 2 vezes menores que os obtidos no ensaio de flexão estático de três pontos.

Figura 13: Comparativo de Tensões de Ruptura na Tração

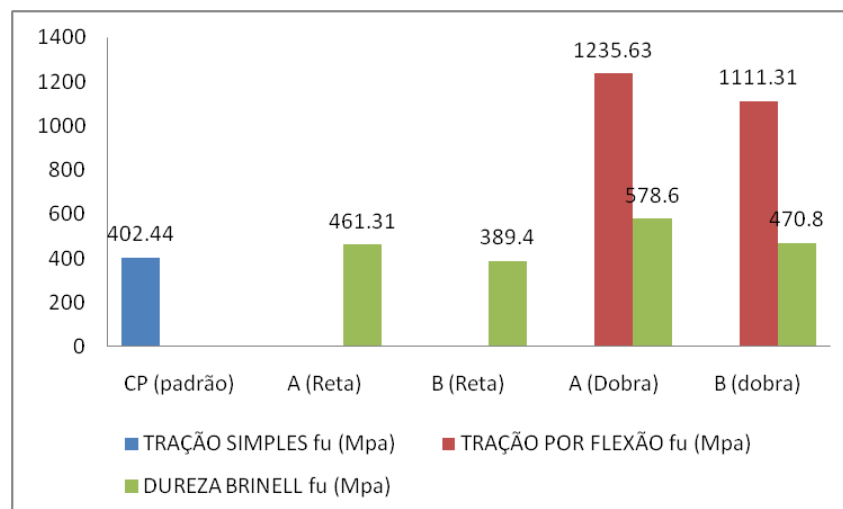


Fonte: Autor (2014)

A Figura 13 apresenta um gráfico comparativo entre as médias obtidas no ensaio de tração e o ensaio de Dureza Brinell, observando o mesmo verificou-se que somente a amostra B (12,70 mm) reta, apresentou valores abaixo da obtida à tração.

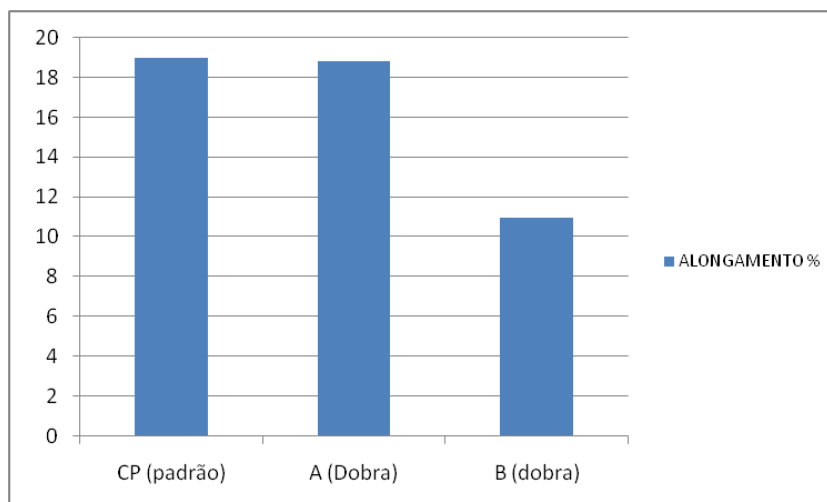
Nas Figuras 14 e 15 está mostrados o resumo dos valores à tração e de alongamento obtidos nos respectivos ensaios.

Figura 14: Resumo das Tensões de Ruptura à Tração para cada ensaio



Fonte: Autor (2014)

Figura 15: Resumo do alongamento para cada ensaio



Fonte: Autor (2014)

4. CONCLUSÕES

Analisando o alongamento das amostras observamos que as peças com espessura de 8,00 mm trincaram durante o processo de dobramento como mostrada a Figura 09, segundo ROCHA (2006), a avaliação da conformabilidade de chapas de aço é um fator importante, pois a partir dela pode-se definir se um material apresentará bom desempenho quando submetido à determinada operação de conformação. De acordo com ROCHA (2006) a conformabilidade não pode ser definida simplesmente como uma propriedade dependente unicamente do material, ela depende também do processo de conformação que será utilizado e da espessura da chapa. Verificando que todas as amostras foram igualmente dobradas, as de 8,00 mm romperam pela falta de área de aço na dobra, sendo assim não devemos dobrá-las a um ângulo de 180 graus. Analisando as amostras de espessuras de 9,52 mm e 12,70 mm, concluímos que pelo seu alongamento e a seção de aço disponível elas podem ser utilizadas.

Quando verificado a trinca na dobra, as amostras de 8,00 mm foram descartadas, não sendo realizados os outros ensaios nas mesmas.

Através do ensaio de Dureza Brinell, concluímos que o ensaio realizado na parte dobrada apresenta valores superiores ao ensaiado na parte reta, pois, no ponto analisado ocorre o encruamento do mesmo, sendo esse aumento de resistência em média 25,50% para as amostras de 9,52 mm e 20,93% para as de 12,70 mm.

Analisando somente pelo ensaio de dureza, fica viável a utilização das amostras dobradas a um ângulo de aproximadamente 180 graus.

Nas amostras estudadas não ficou evidente o surgimento de trincas ou rompimento dos cristais, quando as mesmas foram submetidas à análise metalográfica, porém, os cristais se deformaram por alongamento, Segundo LUBLINER (1990) um corpo sofre deslocamento de corpo rígido, se a distância entre todas as suas partículas não sofrem mudança, do contrario é deformação.

Conclui-se após todos os ensaios e de acordo com as Figuras 14 e 15 a utilização de perfis formados a frio com espessura de 9,52 mm e 12,70 mm para uma dobra de aproximadamente 180 graus, é possível seu uso apresentando capacidade de suporte de carga superior e alongamento inferior a peças retas.

Sugere-se futuros trabalhos com uma sequência de espessura, mantendo a de 8,00 mm como intermediária de forma a identificar precisamente o ponto de ruptura da chapa em função da quantidade de massa de aço a ser dobrada.

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.

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.

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

HOSFORD, W. F.; CADDELL, R. M. **Metal Forming: Mechanics and Metallurgy,** 2.ed. Prentice Hall PTR, March 24, 1993. 384 p.

KEELER, SP., BACKHOFEN WA. **Plastic instability and facture in sheet stretched over rigid punches.** ASM Transactions Quarterly, n. 56 p. 25-48, 1964.

LUBLINER, Jacob. **Plasticity Theory.** New York, Macmillan Publishing Company, 1990.

MARCINIAK, Z.; DUNCAN, J. L. **The mechanics of sheet metal forming.** Edward Arnold, 1992.

MIELNIK, E.M. **Metalworking Science and Engineering,** McGraw-Hill, USA, 1991.
CALADINE, C.R. **Engineering Plasticity,** Oxford: Pergamon Press, 1969.

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

ROCHA, M.R. **Estudo da conformabilidade dos aços inoxidáveis austeníticos 304n e 304h e suas correlações com as microestruturas obtidas**. Tese submetida ao programa de Pós – Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais da Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do título Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais. Florianópolis, 2006. 154 p.

SCHAEFFER, Lirio. **Conformação dos metais: metalurgia e mecânica**. Porto Alegre: Rigel, 1995. 108 p.

SEMIATIN, S. L.; JONAS, J. J. **Formability and Workability of Metals: Plastic Instability and Flow Localization**. ASM Series in Metal Processing, v. 2, 1984. 299 p.

SOUZA, Sérgio Augusto de. . **Ensaio Mecânicos de materiais metálicos**. 4 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1979. 239 p.

STOUGHTON, T. B. A. **General Forming Limit Criterion for Sheet Metal Forming**. International Journal of Mechanical Sciences, v. 42, 2000. p. 1-27.