



ANÁLISE DA CONFORMAÇÃO MECÂNICA E ANISOTROPIA DO AÇO DOMEX S700MC APLICADO EM IMPLEMENTOS RODOVIÁRIOS

Ismael João de Almeida¹

Joelson Vieira da Silva²

Mateus Milanez³

Resumo: Aços AAAR (Aço Avançado de Alta Resistência) vêm adquirindo destaque na área automotiva nos últimos anos, devido as suas propriedades mecânicas e metalúrgicas. Essas características proporcionam alta resistência mecânica e redução do peso estrutural de seus componentes. Este aço também pode ser aplicado na fabricação de implementos rodoviários principalmente pela redução de peso associada a alta resistência mecânica. Possibilitando o aumento do volume de cargas transportadas. O objetivo do presente estudo foi identificar o causador do surgimento de falha das peças projetadas com aço Domex S700MC após conformação mecânica, para isso foram realizados testes de caracterização mecânica e microestrutura identificando sua anisotropia.

Palavras-chave: Anisotropia. Conformação mecânica. Aço Domex S700MC.

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, com o desenvolvimento de novas variedades de aços de alta resistência e o aprimoramento das propriedades de conformação mecânica desses materiais, pode-se reduzir consideravelmente o peso de implementos rodoviários, principalmente em virtude da redução das espessuras da chapa do projeto. Isto permite um aumento na capacidade do transporte de cargas, proporcionando uma redução nos custos do transporte, em comparação aos aços estruturais convencionais. Segundo ANFIR (associação nacional dos fabricantes de implementos rodoviários) o semirreboque basculante ganhou mercado nos últimos anos devido sua versatilidade, e grande capacidade de transportes variados de carga

¹ Graduado em Tecnologia em Manutenção, Faculdade Satc. E-mail: ismael17almeida@hotmail.com;

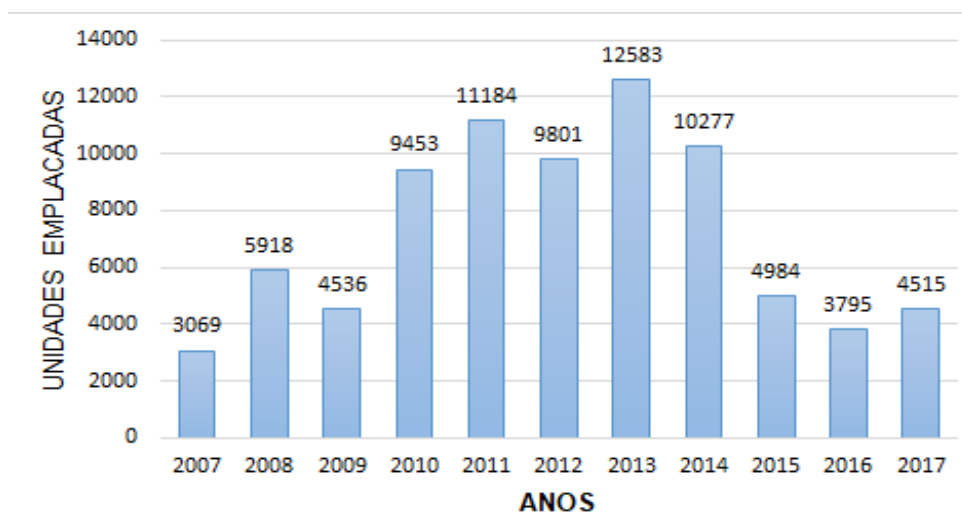
² Professor Faculdade Satc. E-mail: joelson.silva@satc.edu.br;

³ Professor Faculdade Satc. E-mail: mateus.milanez@satc.edu.br.



como grãos, minérios, areia e brita, além da facilidade de carga e descarga. Na Fig. 1 temos o emplacamento do semirreboque de 2007 a 2017 [1].

Figura 1: Emplacamento semirreboque basculante.



Fonte: Adaptado de [1].

Com a crescente venda do produto antes da crise nacional de 2015 as empresas de implementos rodoviários têm inovado cada vez mais no *design* e na capacidade de carga.

Para isso os engenheiros têm investido na capacidade dos aços avançados de alta resistência como é o caso do Domex S700MC e com isso o semirreboque basculante tem a capacidade de carregar mais produtos ou mercadorias, não ultrapassando o limite máximo da carga permitido pela norma de transportes, outra forma de ganhar lucratividade em tempos de crise é diminuindo os custos a partir de 2014 as empresas têm investido forte na engenharia de processo para redução de custo e prevenção de falhas. [1].

O objetivo principal deste trabalho foi estudar o comportamento do aço Domex S700MC depois da conformação mecânica (dobra), em sentidos de laminação alternados, em corpo de provas com geometria definidas por normas regulamentadoras. O material foi avaliado através do ensaio de tração a fim de

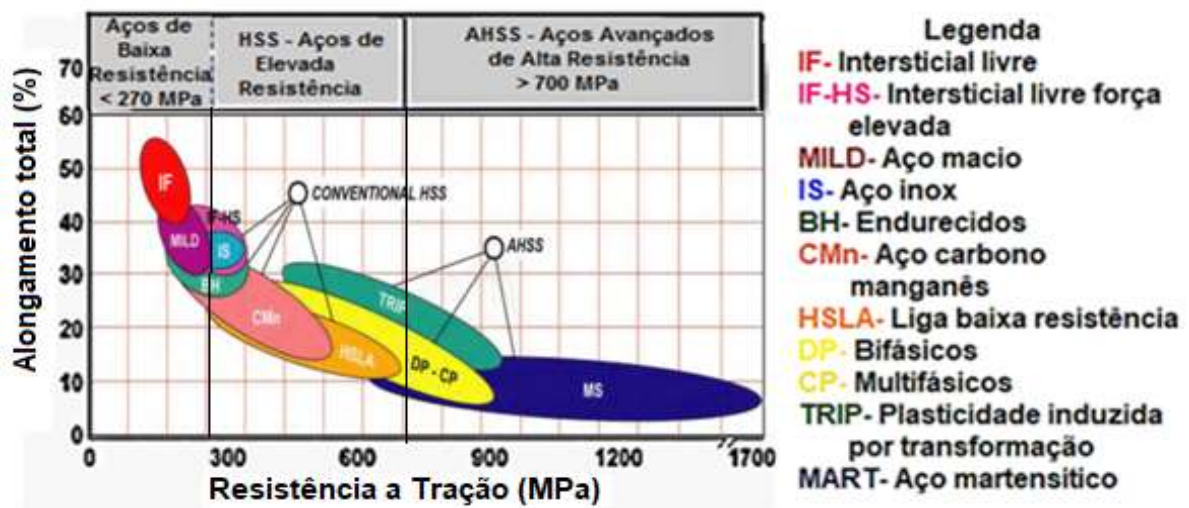
fornecer um laudo técnico evidenciando o sentido com maior resistência mecânica a ser cortado, para um eventual processo de conformação mecânica (dobra).

2 AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA

Aços de Alta Resistência contêm microadições de Nióbio, Titânio e Vanádio que proporcionam uma microestrutura ferrítica-perlítica mais refinada e com capacidade de endurecimento por precipitação, gerando maior resistência mecânica. Em contrapartida, esse material apresenta uma ligeira perda de sua conformabilidade. Para amenizar este problema, foram desenvolvidos os aços bifásicos ou *Dual Phase* cuja microestrutura peculiar minimiza as perdas de estampabilidade decorrentes dos maiores níveis de resistência mecânica [2].

A partir da década de 1990 todos esses novos aços foram englobados numa só família, designada como aços avançados de alta resistência AAAR, conforme a Fig. 2.

Figura 2: Classificação dos aços AAAR.

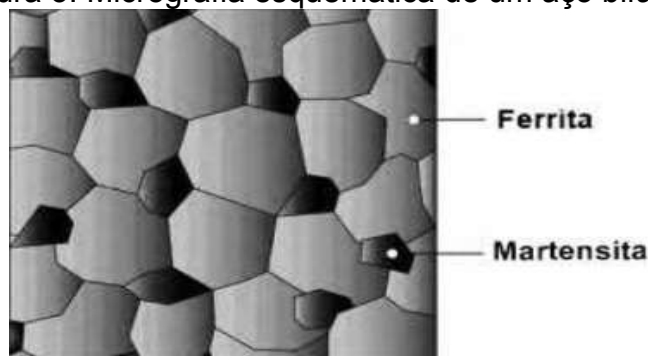


Fonte: Adaptado de cap.2 pag.4 [3]

Muito antes disso, mais precisamente em 1970 aços bifásicos já estavam dentro das indústrias, a aplicação desses aços tem se multiplicado devido à grande necessidade de redução de peso no setor automotivo, isso acontece porque sua

composição metalúrgica de 80% ferrita poligonal com 20% de martensita distribuídas em ilhotas, conforme mostra a Fig. 3 [2]

Figura 3: Micrografia esquemática de um aço bifásico.



Fonte: Adaptada de [4]

Atribuído com materiais leves como o alumínio e o polímero, a fabricação automotiva tem ganhado na redução de poluentes e na economia de combustível por tornar seus produtos cada vez mais leves e compactos [2]. O início da formação de qualquer aço está relacionado diretamente com sua aplicação. Os aços de alta resistência como Domex S700MC, são utilizados em grande escala atualmente. As metalúrgicas têm usado este material em diversos tipos de processos mecânicos como laminação, conformação mecânica, fabricações mecânicas de caçambas e máquinas pesadas (5). De acordo com o fabricante, as especificações das propriedades mecânica são seguidas de acordo com as especificações apresentadas na Fig.4.

Figura 4: Propriedades mecânicas do AAAR Domex 700MC.

Propriedades Mecânicas			
ESCOAMENTO	RESISTÊNCIA A TRAÇÃO	ALONGAMENTO	
R_{eH} N/mm ² mín	R_m N/mm ² mín - max	< 3 mm A_{90} % mín	≥ 3 mm A_5 % mín
700*)	750 - 950	10	12

Fonte: [5]



2.2 PROCESSO DE LAMINAÇÃO E ANISOTROPIA

A laminação de metais, sendo um processo de conformação mecânica, tem por definição aquecer o material acima ou abaixo da temperatura de recristalização, onde as placas, ou lingotes de metal passam por um forno e depois, por grandes cilindros, afim de comprimir e diminuir a espessura do material. Com isso, ocorre um aumento na largura e no comprimento, já que a largura é definida pela espessura dos rolos do cilindro, o comprimento obtido será maior [6].

Os materiais sob a forma de chapa de aço, possuem orientação preferencial dos planos e direções cristalinas do metal após uma grande deformação por trabalho mecânico (anisotropia cristalográfica) ou devido ao alinhamento de inclusões, vazios ou segregação. Chamamos esses materiais de anisotrópicos [7].

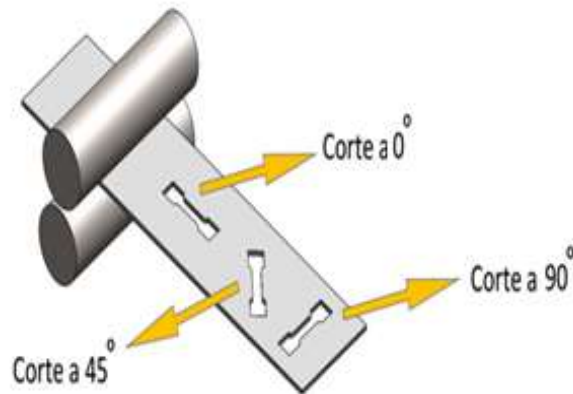
Para o esclarecimento da anisotropia precisamos entender o que é um material isotrópico, onde sua medida de ductilidade não interfere. Partimos do princípio que todo material é isotrópico, ou seja, independente da direção de laminação em que se realizou a medição dentro da chapa as propriedades físicas e mecânicas serão as mesmas. A transformação do metal, do lingote à chapa e sua subsequente fabricação, agrega ao material diferente orientação nas direções cristalográficas. Isso também pode ocorrer devido aos processos mecânicos [8].

Materiais que são completamente isotrópicos, todas as orientações estão presentes de uma mesma base, ou seja, não há variação das propriedades mecânicas quando estas são medidas em diferentes direções, no entanto, existe uma tendência dos grãos terem certos planos cristalográficos ou direções, claramente alinhadas com a direção da primeira conformação. Como resultado, alguns sistemas são orientados, o que permite uma deformação mais fácil em algumas direções do que em outras. Esta condição cria a anisotropia plástica, em que as propriedades na direção de laminação são diferentes das direções transversais, de forma que a curva tensão x deformação, e propriedades como tensão de escoamento, força de tração e taxa de encruamento, são afetadas por esta orientação cristalográfica [7].

Para se avaliar a anisotropia plástica se usa o índice de anisotropia R. O índice de anisotropia plástica R, é definido como a razão da deformação verdadeira na largura (WL) e a deformação verdadeira na espessura (WE) no teste de um corpo

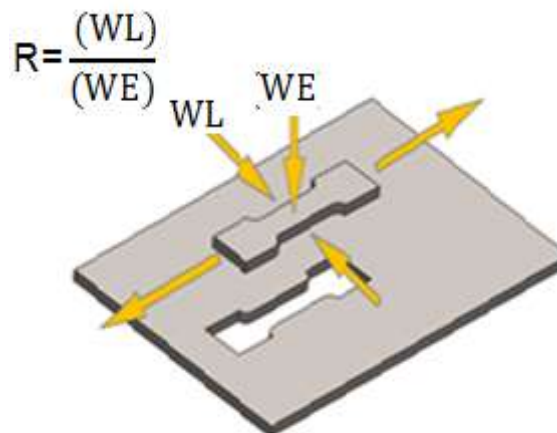
de prova padrão. A Fig.5 (a) mostra o corpo de prova na chapa laminada e na Fig.5 (b) mostra o corpo de prova medindo anisotropia plástica [4].

Figura 5: cortes dos corpos de prova (a).



Fonte: Do autor

Figura 6: Modo de medir o valor R de Lankford (b).



Fonte: [7]

Um método de obter R é compilar a deformação na largura (WL) versus a deformação na espessura (WE) para vários corpos de prova até a estricção com alongamento de 10% a 20%. Nos materiais comuns de conformação, o resultado será uma linha reta. O valor de R é constante e corresponde simplesmente a inclinação da curva [7], [4].

O valor de R é calculado pela Eq. (1).



$$R = \frac{(WL)}{(WE)} = R = \frac{\ln\left(\frac{L_f}{L_0}\right)}{\ln\left(\frac{C_f \cdot L_f}{C_0 \cdot L_0}\right)} \quad (1)$$

Onde:

R = índice de anisotropia plástica

L₀ = largura inicial

L_f = Largura final

E₀ = espessura inicial

E_f = espessura final

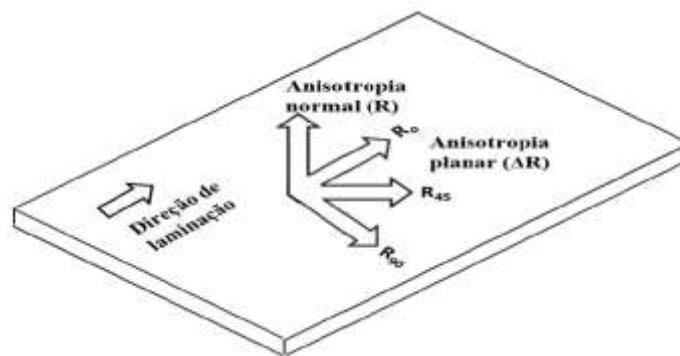
C₀ = comprimento inicial

C_f = comprimento final

O parâmetro de anisotropia R pode ser obtido para diferentes direções na chapa. Normalmente, amostras são removidas de chapas a 0° 45° e 90° da direção de laminação. Testando-se chapas perfeitamente isotrópicas ou não direcionais, todos os valores de R seriam iguais a uma unidade. Para a maioria dos aços e outros materiais, entretanto, há variações dos valores de R com a direção. [7].

Essa variação de R dentro do plano da chapa, Fig. 6, é chamada de anisotropia planar. [8].

Figura 6: Método de amostragem de R médio de Lankford.



Fonte: [8]

O coeficiente de anisotropia planar (ΔR) provoca uma divergência do comportamento mecânico no plano da chapa do material. Ou seja, propriedades mecânicas variam conforme as direções. E são predispostas ao orelhamento. Um valor de (ΔR) negativo pode levar a formação de orelhas a 45° em relação a direção de laminação, enquanto um (ΔR) positivo indica a formação de orelhas a 0° e 90° com a direção de laminação. A equação matemática do coeficiente de anisotropia planar (ΔR) é apresentada conforme Eq.2 [7].

$$\Delta R = \frac{R_{0^\circ} + R_{90^\circ} - 2R_{45^\circ}}{2} \quad (2)$$

Onde:

ΔR = Coeficiente de anisotropia planar

A direção cristalográfica pode ocorrer em três direções, entretanto, sua ausência no plano da chapa, não significa que as propriedades medidas em uma direção perpendicular ou normal à chapa são iguais àquelas do plano da chapa [8].

A importância prática desta anisotropia normal não foi totalmente reconhecida até recentemente por duas razões: as propriedades na direção da



espessura são geralmente desconhecidas e nem podem ser medidas, e os efeitos da anisotropia normal não são visualmente evidentes, como no caso da trinca. Ultimamente, tem sido dado reconhecimento ao fato de que as chapas de metal muitas vezes exibem um fluxo de força na direção de sua espessura bem diferente daquela de seu plano. É de fato possível ter um nível de anisotropia normal muito alto (espessura) em uma chapa com pouca ou nenhuma anisotropia planar (rotacional) [9].

Em geral toma-se o corpo de prova em várias direções em relação à direção de laminação: a 0° , 45° e 90° , normalmente, obtendo-se assim R_{0° , R_{45° e R_{90° , respectivamente.

Analisando estes valores, pode-se ter os seguintes casos limites:

Primeiro caso: $R_{0^\circ} = R_{45^\circ} = R_{90^\circ} = 1$ (isotropia total);

Segundo caso: $R_{0^\circ} = R_{45^\circ} = R_{90^\circ} \neq 1$ (anisotropia pura);

Terceiro caso: $R_{0^\circ} \neq R_{45^\circ} \neq R_{90^\circ} \neq 1$ (anisotropia normal + isotropia pura).

É de interesse notar que no segundo caso o material apresenta curvas iguais de tensão x deformação, apesar de ser anisotrópico. Por isso este tipo de anisotropia é difícil de ser visualizado [6].

Outra maneira de determinação de R é através do valor de \bar{R} médio, denominado anisotropia média, sendo dado pela Eq.3 [8]

$$\bar{R} = \frac{R_{0^\circ} + R_{90^\circ} + 2R_{45^\circ}}{4} \quad (3)$$

Onde:

\bar{R} = Média do Índice de anisotropia plástica

3 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

Em uma empresa metalúrgica do setor de transporte, o assoalho de aço Domex S700MC AAAR do semirreboque basculante (carreta utilizada para transporte de carga) vem sendo alvo de estudo devido ao surgimento de trincas na estrutura do assoalho recorrentes da dobra lateral. Essa dobra é feita com punção ferramenta da prensa dobradeira.

Ao iniciar o estudo, identificou-se que este defeito não era recorrente em todas as peças do assoalho. Para observar com profundidade as trincas da estrutura foram realizadas ensaios de líquido penetrante, conforme norma ABNT NBR 16450:2016. Com isso, identificamos a possibilidade de o defeito ser causado pela anisotropia do material. Na Fig.7 (a) temos a imagem do semirreboque em questão, na Fig.7 (b) temos o semirreboque com a seta indicando a região com problemas recorrentes de trincas.

Figura 7: semirreboque basculante (a).



Fonte: Do autor (2018)

Figura 8: Identificando local de trincas recorrente (b).



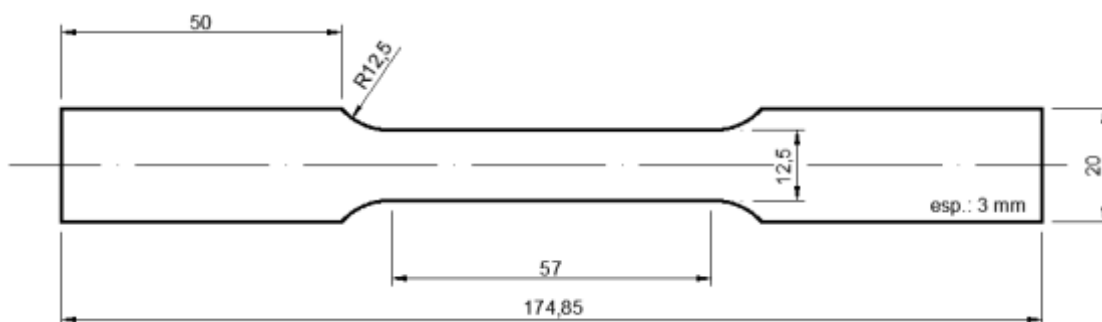
Fonte: Do autor (2018)

3.1 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO

3.1.1 Preparação dos corpos de prova para tração

Para identificar a anisotropia do Domex 700MC utilizamos como base a norma ASTM E8/E8M que determina as dimensões dos corpos de prova para o ensaio de tração conforme a Fig.8, onde utilizamos a mesma espessura da fabricação do assoalho de 3 mm.

Figura 9: Corpo de Prova ensaio de tração conforme norma ASTM E8.

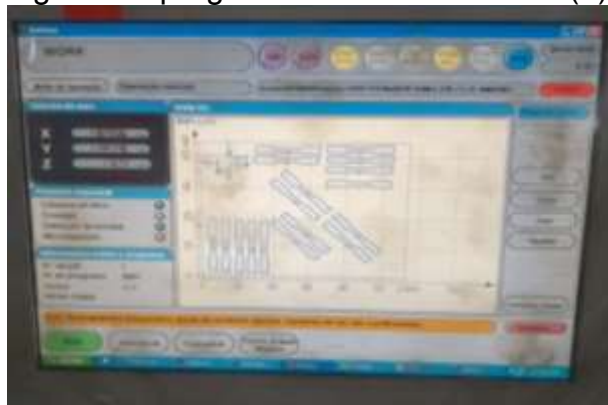


Fonte: [9]

Para fabricação dos corpos de prova, foi utilizado um retalho de chapa, cortado por intermédio da máquina de corte laser Bystronic *by Sprint pro 3015*, conforme Fig.9 (a) e 9 (b). Foi Realizado através de comando CNC o corte com maior

precisão, minimizando possíveis distorções causados por usinagem ou outros cortes com maior aporte térmico.

Figura 10: programa corte a laser CNC (a).



Fonte: Do autor (2018)

Figura 11: Máquina Bystronic (b).



Fonte: Do autor(2018)

Para os cálculos de anisotropia, é necessário retirar de uma mesma chapa 5 corpos de prova em diferentes ângulos. Como a chapa utilizada possuía geometria quadrada não foi possível identificar o sentido de laminação, tendo que recorrer ao ensaio metalográfico para apontar o sentido de laminação, sendo assim foram retirados os 5 corpos de prova em diferentes ângulos $0^\circ=1$, $45^\circ=3$, e $90^\circ= 2$, conforme apresentado na Fig.10 (b) que exibe a chapa, após a retirada dos corpos de prova para ensaio de tração e a Fig.10 (a) temos a imagem da chapa após a retirada das amostras para o ensaio metalográfico.

Figura 12: Amostra para ensaio de metalografia (a).



Fonte: Do autor (2018)

Figura 13: Retalho dos corpos de prova (b).



Fonte: Do autor (2018)

3.1.2 Ensaio metalografico

A amostra retirada da chapa executada pela máquina de corte a laser foi encaminhada para uma máquina de corte metalografico da marca Arotec, modelo ARCOR 120 e cortada em duas peças, identificadas pelo entalhe em uma delas conforme a Fig.11 (a) Após a caracterização, as mesmas foram embutidas em baquelite Fig.11 (b).

Figura 14: Peças embutidas (a).



Fonte: Do autor (2018)

Figura 15: As duas peças demarcadas (b).



Fonte: Do autor (2018)

Para realizar a metalografia foi utilizada como base a norma ASTM E3 que identifica o procedimento para preparação da amostra. As imagens foram examinadas com auxílio do microscópio óptico Olympus modelo BX41M – led com câmera acoplada.

3.1.3 Ensaio de tração

O ensaio de tração realizado nos 15 corpos de prova, 5 de cada um dos 3 ângulos, foi realizado em uma máquina de ensaios universais da marca EMIC, modelo DL 10000 com o uso de extensômetro acoplado e nas condições de ensaio estipulados pela norma ASTM E8/E8M, Velocidade de ensaio de 10 mm/min e temperatura de 21°C.

Todas as dimensões dos corpos de prova foram retiradas antes e após os ensaios para realização dos cálculos da anisotropia do aço em questão, que foi efetuado com os valores obtidos antes e depois da ruptura do material.

4 ANALISE DE DADOS E RESULTADOS

Neste capítulo serão descritos os resultados alcançados com os testes mecânicos, com foco em criar um laudo técnico do problema em questão fornecendo soluções para empresa de transporte rodoviário.

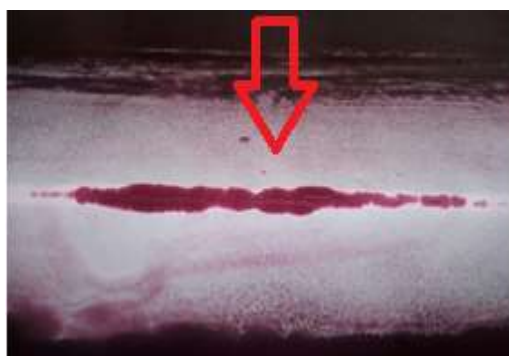
O primeiro resultado foi obtido através do líquido penetrante que foi aplicado na região afetada pela dobra conforme a norma ABNT NBR 16450:2016. Como podemos observar na Fig. 12 (a) é possível visualizar o surgimento da trinca, que não se prolonga por toda a extensão da dobra. Fig.12 (b) trinca em foco.

Figura 16: Pode-se observar a região da dobra (a).



Fonte: Do autor (2018)

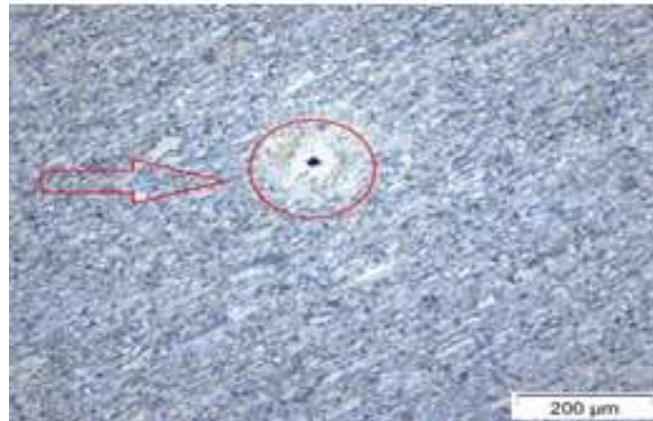
Figura 17: Trinca em foco (b).



Fonte: Do autor (2018)

Em seguida foi realizado o teste metalográfico para comparar a estrutura do material com seu respectivo *data sheet*, Fig. 13. Nos resultados das amostras do ensaio de metalografia, consegue-se identificar precipitações, podendo se tratar de inclusões não metálicas.

Figura 18: Ensaio de metalografia revelando precipitação no ponto em destaque.

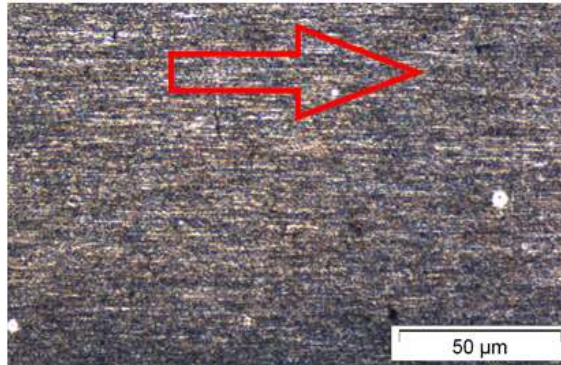


Fonte: Do autor (2018)

Devido à grande taxa de deformação no processo de fabricação da chapa, há uma grande distorção da rede cristalina, dificultando a identificação das fases presentes. Entretanto podemos identificar uma matriz Ferrítica e uma possível fase Perlitica ou Martensítica, como mostra a figura acima. Contudo não foi possível identificar estas fases de forma clara, sendo necessário o uso de técnicas mais apuradas de análises.

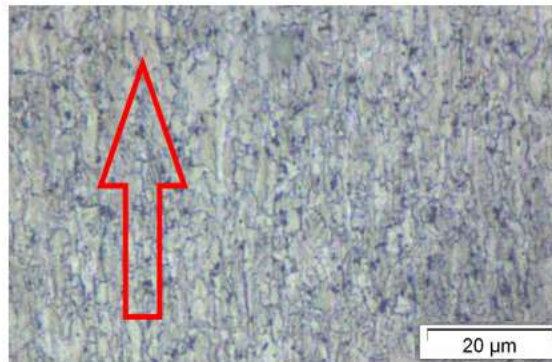
De acordo com o ensaio metalográfico, pode-se identificar o sentido de laminação obedecendo a marcação das amostras, conforme podemos observar nas Fig. 14 (a) e 14 (b).

Figura 19: Amostra cortada à 0° com entalhe (a).



Fonte: Do autor(2018)

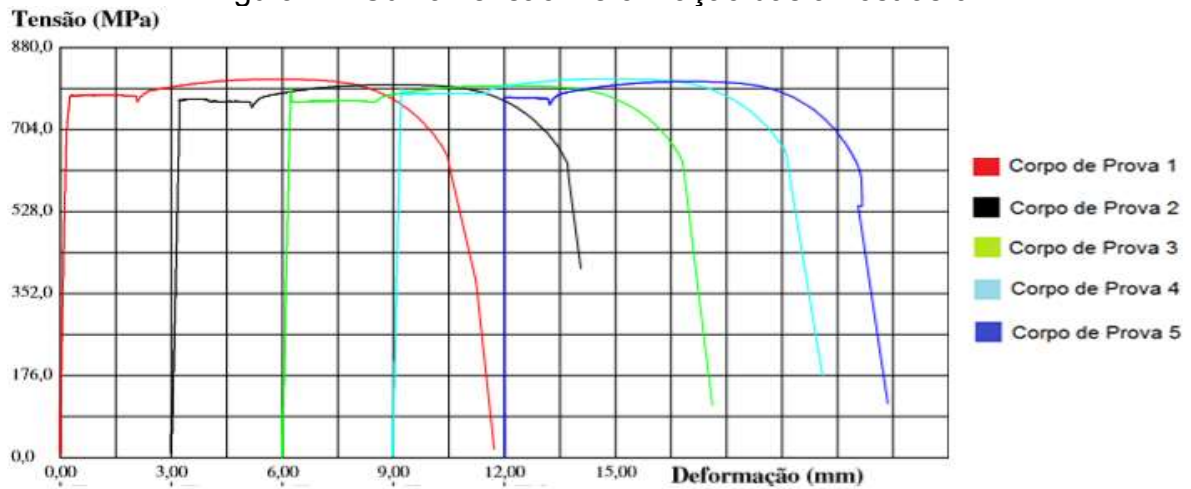
Figura 20: Amostra cortada à 90° (b).



Fonte: Do autor (2018)

O ensaio de tração apresentou para todos os corpos de prova, uma pequena deformação elástica com presença de um patamar secundário de deformação bem claro, onde a tensão de escoamento e a tensão máxima estão muito próximas. A Fig.15 apresenta os gráficos obtidos para as amostras ensaiadas a 0°.

Figura 21: Curva Tensão-Deformação das amostras 0°.

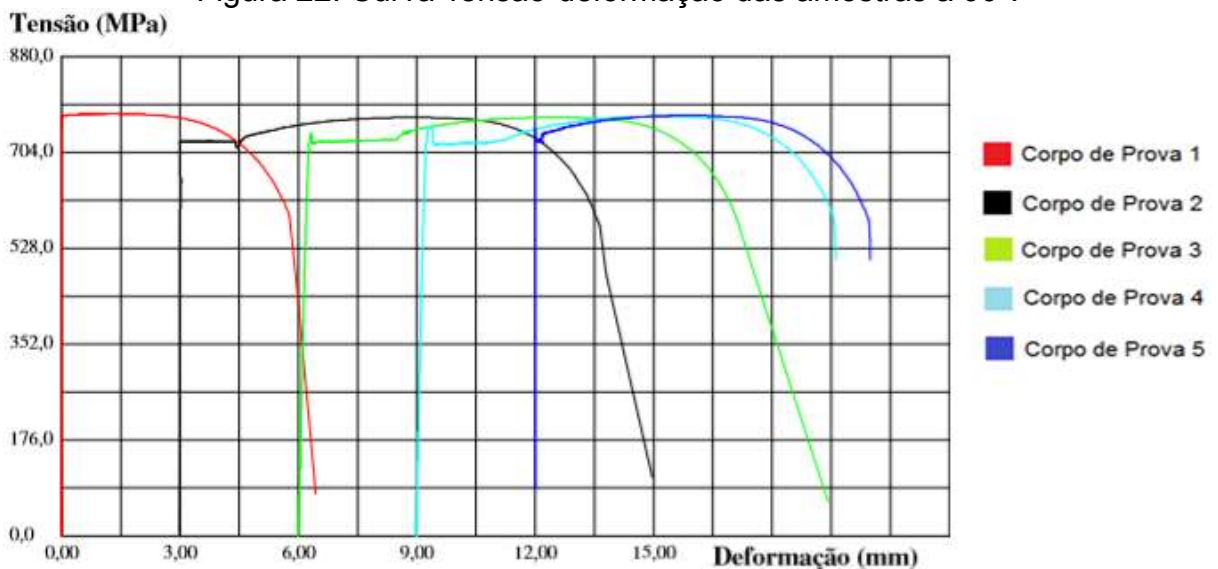


Fonte: Do autor (2018)

Com uma média de $807 \pm 6,8$ MPa de limite de resistência tração e $763,8 \pm 16,3$ MPa de limite de escoamento, alongamento de $21\% \pm 1$ e estricção de $14\% \pm 1$ o aço Domex S700MC no sentido de laminação a 0° , teve índices dentro da resistência mecânica esperado pelo fabricante encontrando-se dentro das especificações indicadas pela norma DIN EN 10149 [10].

A Fig. 16 apresenta os gráficos obtidos para todas as amostras ensaiadas a 90° .

Figura 22: Curva Tensão-deformação das amostras à 90° .

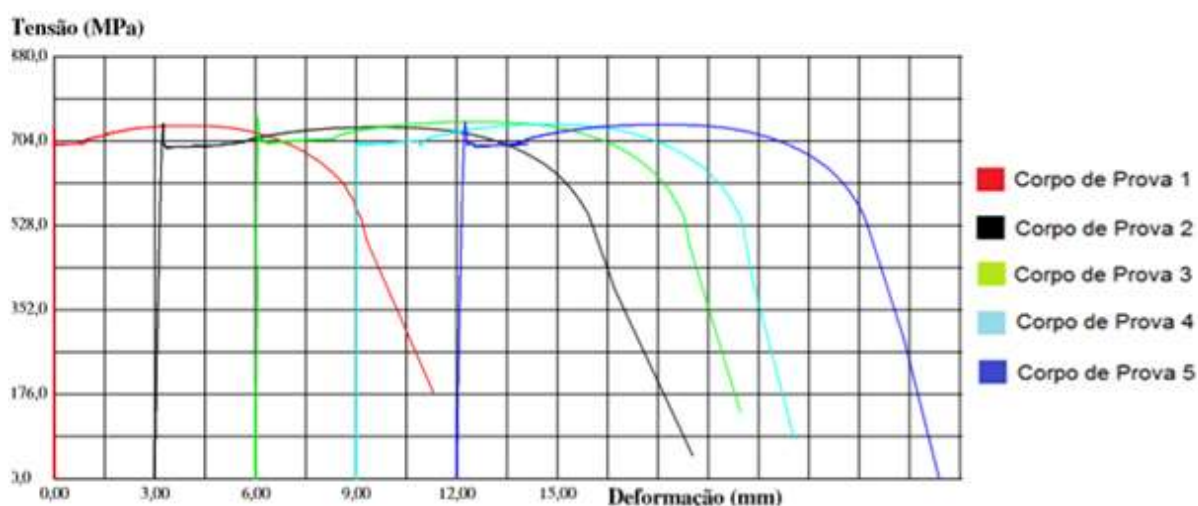


Fonte: Do autor (2018)

Analisando os ensaios mecânicos de tração a 90°, observa-se que ocorreu uma queda no limite de escoamento e no limite de resistência à tração, em comparação ao ensaio realizado a 0°. Com média de limite resistência máxima de $771 \pm 2,9$ MPa e limite de escoamento de $733 \pm 7,5$ MPa. Alongamento médio de $19\% \pm 5$ e estrição média de $16\% \pm 2$ o aço Domex S700MC no sentido de laminação a 90° teve índices dentro da resistência mecânica esperado pelo fabricante encontrando-se dentro das especificações indicadas pela norma DIN EN 10149 [10]

Para finalizar, foram ensaiadas as amostras no sentido de 45° conforme a Fig. 17 abaixo:

Figura 23: Teste de tração com sentido da laminação a 45°.



Fonte: Do autor (2018)

Na amostra com sentido de laminação a 45°, a resistência a tração média foi de $743 \pm 5,7$ MPa e o limite de escoamento médio obtido foi de $706,4 \pm 13,5$ MPa. Podemos perceber uma queda considerável nos limites de resistência a tração e no limite de escoamento. Com alongamento médio de $23\% \pm 3$ e estrição média de $17\% \pm 2$ o aço Domex S700MC no sentido de laminação a 45° teve índices dentro da resistência mecânica esperado pelo fabricante encontrando-se dentro das especificações indicadas pela norma DIN EN 10149 [10].



Como pode ser observado nas figuras, há uma variação dos resultados de resistência mecânica onde o ângulo de 45° apresentou em média de valores menores de resistência mecânica e escoamento, apesar dos valores estarem dentro do estipulado pelo fabricante.

Calcularam-se os índices de anisotropia em cada corpo de prova. Os valores apresentados na Tab.1 são as médias dos valores que se obtém para cada sentido de laminação.

Tabela 1: Valores dos índices de anisotropia encontrados.

R0°	1.1
R90°	0.5
R45°	0.8
R médio	0.81
ΔR	0.04

Fonte: Do autor (2018)

Os cálculos de anisotropia foram realizados com base nos valores obtidos no ensaio de tração. Os cálculos são apresentados abaixo:

Cálculo do coeficiente de anisotropia corpo de prova 0°:

$$R = \frac{\ln\left(\frac{L_f}{L_0}\right)}{\ln\left(\frac{C_f \cdot L_f}{C_0 \cdot L_0}\right)} = \frac{\ln\left(\frac{11,2}{12,6}\right)}{\ln\left(\frac{60,6 \cdot 11,2}{57 \cdot 12,6}\right)} = 1,1 \quad (1)$$

Cálculo do coeficiente de anisotropia corpo de prova 90°:

$$R = \frac{\ln\left(\frac{L_f}{L_0}\right)}{\ln\left(\frac{C_f \cdot L_f}{C_0 \cdot L_0}\right)} = \frac{\ln\left(\frac{11,9}{12,6}\right)}{\ln\left(\frac{59,4 \cdot 11,9}{57 \cdot 12,6}\right)} = 0,5 \quad (1)$$



Cálculo do coeficiente de anisotropia corpo de prova 45°:

$$R = \frac{\ln\left(\frac{L_f}{L_0}\right)}{\ln\left(\frac{C_f \cdot L_f}{C_0 \cdot L_0}\right)} = \frac{\ln\left(\frac{11,5}{12,6}\right)}{\ln\left(\frac{61,6 \cdot 11,5}{57 \cdot 12,6}\right)} = 0,8 \quad (1)$$

Cálculo do coeficiente de anisotropia planar:

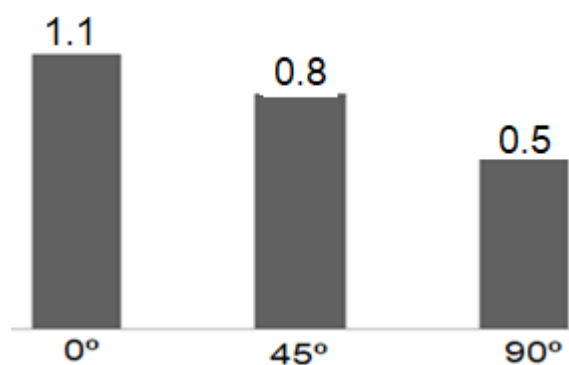
$$\Delta R = \frac{R_{0^\circ} + R_{90^\circ} - 2R_{45^\circ}}{2} = \Delta R = \frac{1,1 + 0,5 - 2 \cdot 0,8}{2} = 0,04 \quad (2)$$

Cálculo do coeficiente de anisotropia média:

$$\bar{R} = \frac{R_{0^\circ} + R_{90^\circ} + 2R_{45^\circ}}{4} = \bar{R} = \frac{1,1 + 0,5 + 2 \cdot 0,8}{4} = 0,81 \quad (3)$$

Em seguida podemos observar o gráfico 1 que compara os valores obtidos nos cálculos.

Gráfico 1: Comparação dos resultados dos cálculos de anisotropia.



Fonte: Do autor (2018)

Ocorre as melhores propriedades mecânicas do material no sentido de maior índice de anisotropia. Observando-se os sentidos de laminação, o maior coeficiente é encontrado a 0° em relação ao sentido de laminação, o que demonstra



haver maior resistência nesse sentido. Contatou-se que valores dos coeficientes R são diferentes e o valor do coeficiente de anisotropia média é 0.81 e ΔR 0.04, um dos resultados a ser analisado é o fenômeno chamado orelhamento decorrente da anisotropia planar, para casos onde $\Delta R < 0$, a formação de “orelhas” poderá ocorrer a 45°. A formação de “orelhas” no produto estampado é um fato comum que deve ser evitado. Para $\Delta R > 0$ o orelhamento irá ocorrer em 0° ou 90°.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através dos estudos foi possível identificar que a anisotropia associada a uma possível deformação provocada pela punção são os causadores da falha no material, podemos dizer que as peças têm um ganho considerável com as amostras a 0°, ou seja no mesmo sentido da laminação.

Entretanto, as amostras a 90° com sentido transversal a laminação, perderam em parte sua resistência, mas não a ponto de serem inutilizadas. Já algumas amostras a 45° ficaram no limite recomendado pelo fabricante. No estudo de caso, apresentado no artigo, a empresa em questão sofria com grandes ressarcimentos aos clientes, devido a garantia do produto. Esse custo elevado, muitas vezes envolve a necessidade de deslocamento de funcionários para realização da reforma, muitas vezes fora do país, gerando transtorno com cliente e perda de credibilidade da marca.

5.1 ESTUDOS QUE PODEM SERVIR PARA EVENTUAIS ARTIGOS

Em algumas literaturas optou-se por parar o ensaio de tração no início da estrição afim de medir o corpo de prova para retirada das medidas para realização do cálculo de anisotropia diferente do estudo atual que no ensaio de tração foi realizado até a ruptura do material outro ponto importante, nos resultados abordando a ferramenta de dobra, que em função da sua geometria, favorecia o surgimento de trincas, aumentando a fragilidade da estrutura do material. Essa ferramenta de dobra, o punção possivelmente interferiu diretamente nos resultados. Onde um estudo para



comparação de ângulos possivelmente pode resolver o problema de trincas na dobra lateral interrompendo o efeito da anisotropia no aço. Esse estudo pode ser feito através de software calculando e comparando os ângulos auxiliando na escolha da ferramenta.

Para um melhor uso dos AAAR nas condições estabelecidas faz-se necessário o estudo para um aumento do ângulo da ferramenta de dobra, visando uma possível suavização na deformação pontual e utilizar o ângulo de 0° que apresenta as melhores condições de resistência e alongamento.

REFERÊNCIAS

[1] GALAFASSI, Daniel. **Resistência á abrasão do aço carbono comum em relação ao aço de alta resistência e baixa liga na aplicação da caixa de carga basculante**, universidade de Caxias do Sul centro de ciências exatas e da tecnologia curso de engenharia mecânica, 2015. p.14 a 15. Disponível em: <<https://bit.ly/2ke9EzP>>. Acesso em: 10 de janeiro 2018.

[2] GORNI, Antônio Augusto. **Aços avançados de alta resistência: microestrutura e propriedades mecânicas**, analista de processos da Companhia Siderúrgica Paulista, editor técnico da revista Corte e Conformação de Metais, 2008. p. 34. aços bifásicos Disponível em: <http://www.gorni.eng.br/Gorni_CCM_Dez2008.pdf>. Acesso em: 12 de janeiro de 2018.

[3] WORLDAUTOSTEEL: **Advanced high strength steel (ahss) application guidelines**, 2009. p. 26. Disponível em: <<https://bit.ly/2rWy4RM>>. Acesso em: 20 de janeiro de 2018.

[4] SOTELO Menezes Mateus, **CARACTERIZAÇÃO DE PROPRIEDADES MECÂNICAS E ANISOTROPIA DE UMA CHAPA DE AÇO DP600**. Aluno de graduação em engenharia metalúrgica, Laboratório de Transformação Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil. 2015. p. 3. Disponível em: <<https://abmproceedings.com.br/ptbr/article/caracterizacao-de-propriedades-mecanicas-e-anisotropia-de-uma-chapa-de-aco-dp600>>. Acesso em: 12 fevereiro de 2018.

[5] Data sheet aço **Domex S700MC DATA SHEET: 2018 GB8421DOMEX Domex 700 MC Hot rolled, extra high strength, cold forming steel**. Disponível em: <http://www.highstrengthplates.com/images/pdfs/Domex_700_MC.pdf>. Acesso em: 30 de janeiro de 2018.



[6] COSTA, Fernando Febellano. **Tecnologia Mecânica 3º ciclo de técnico em mecânica**. 2000. p. 11. Disponível em: <<https://bit.ly/2lxgHBV>>. Acesso em: 22 de abril de 2018.

[7] PATROCINIO, Paulo. R. G. **Caracterização da textura e do orelhamento (“earing”) da liga AA3104 após a redução a frio**. 2011. P;67,68,69,101. Dissertação (Mestrado em ciências) Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2011. Disponível em: <<https://bit.ly/2G79JNY>>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2018.

[8] CHEMIN FILHO, Ravilson Antonio. **Avaliação das deformações de chapas finas e curvas clc para diferentes geometrias de punções**. 2004. p. 32 a 33. Disponível em: <<https://bit.ly/2GyRG3n>>. Acesso em; 25 de fevereiro de 2018.

[9] BAPTISTA, samara. **Análise da influência do encruamento na recuperação elásticas de chapas metálicas**. 2006. p: 16. Universidade federal de santa Catarina curso de graduação em engenharia de materiais. Florianópolis 2006. Disponível em: <www.emc.ufsc.br/control/arquivos/estagio/geral/arquivo_111-Samara_Baptista.PDF>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2018.

[10] ASTM, ASSOCIAÇÃO AMERICANA PARA TESTES E MATERIAIS. **Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials1 E8E8M**. p. 4. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=56eb722993553bbbe15bbe8f&assetKey=AS%3A340826430427147%401458270761896>>. Acesso em: 10 de abril de 2018.

[11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **ABNT NBR 16450:2016 Qualificação do procedimento de ensaio não destrutivo por líquido penetrante**. 2016. Disponível em: <<http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=351556>> Acesso em: 20 de abril de 2018.

[12] ASSOCIAÇÃO ALEMÃ DE NORMAS TÉCNICAS **DIN EN 10149-2 (1995) Equivalência de normas-laminados a quente sem revestimento Volkswagen do brasil 1995**. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/doc/155930942/Equivalencia-de-normas-de-acos-planos-VW>>. Acesso em: 10 de maio de 2018.



ABSTRACT: AAAR (Advanced High Strength Steel) steels have been gaining prominence in the automotive area in recent years, due to their mechanical and metallurgical properties, these characteristics provide high mechanical strength and structural weight reduction of its components.

This steel can also be applied in the manufacture of road implements mainly by the reduction of weight associated with high mechanical resistance, allowing the increase of the volume of loads transported. The objective of the present study was to identify the origin of the failure of the pieces designed with Domex S700MC steel after mechanical conformation, for which mechanical and microstructural characterization tests were carried out to identify its anisotropy.

Keywords: Anisotropy. Mechanical conformation. Steel Domex700MC.

AGRADECIMENTOS

Agradeço principalmente a minha família e amigos por todo o apoio e incentivo durante a realização deste trabalho. Especial minha esposa Jovana Gonçalves

Agradeço aos colegas da empresa de implementos rodoviários por me ajudarem direta ou indiretamente na realização deste trabalho. Agradeço ao Antônio Mendes pelos projetos e todo o suporte.

Agradeço ao MSc, Eng^o Jarinson Rorigues pela doação do material pra realização deste trabalho e pela troca de conhecimentos técnicos.

Agradeço ao Professor MSc, Eng^o Mateus Milanez e ao MSc Joelson da silva pela orientação e por todas as oportunidades oferecidas.

LISTA DE SÍGLAS E ABREVIÇÕES

°C Graus Celsius;

MO Microscopia Ótica;

NBR 5915 Norma Brasileira de Aços laminados a Frio para Estampagem Profunda;

R Coeficiente de Lankford



We	Deformação verdadeira na espessura
Wl	tensão verdadeira na largura
\bar{R}	Coefficiente de anisotropia médio
R0°	Coefficiente de Lankford a 0° do sentido de laminação
R45°	Coefficiente de Lankford a 45° do sentido de laminação
R90°	Coefficiente de Lankford a 90° do sentido de laminação
AAAR	Aço avançado de alta resistência
≠	Diferente
=	Igual
ANFIR	Associação nacional dos fabricantes de implementos rodoviários
Fig.	Figura
L	Largura
Lo	Largura inicial
Eo	Espessura inicial
Lf	Largura final
Ef	Espessura final
ln	Logaritmo natural
Co	Comprimento inicial
Cf	Comprimento final
ASTM	American Society for Testing and Materials
ASTME3	Norma para ensaio de metalografia
ASTM E8E8M	Norma para ensaio de tração
Kn	Quilonewtion
MPa	Mega pascal