

ENSAIO DE TRAÇÃO EM CHAPAS FINAS DE AÇO

Data de Submissão: 08/09/2023

Data de aceite: 02/10/2023

Luiz Felipe Fongaro

FSG Centro Universitário
Caxias do Sul - Rio Grande do Sul
<https://lattes.cnpq.br/1375168942322340>

Gustavo Alberto Ludwig

FSG Centro Universitário
Caxias do Sul - Rio Grande do Sul
<http://lattes.cnpq.br/2889215789226104>

da Serra Gaúcha – FSG, campus Sede em Caxias do Sul, após a análise do aço SAE 1006, a chapa de espessura 1,50 mm apresentou características importantes em comparação ao aço com espessura de 1,90 mm, sendo possível o uso dos resultados e propriedades para cálculos no processo de manufatura de chapas metálicas.

PALAVRAS-CHAVE: Aço, Tração, SAE 1006, Chapa, Ensaio

RESUMO: A escolha adequada do processo de fabricação, assim como o conhecimento das propriedades dos materiais, possibilitou avanços interessantes no desenvolvimento de produtos. Ensaio como de tração, dobra e compressão revelam características importantes dos materiais. Neste sentido, o presente trabalho estuda através de ensaio de tração em chapas finas de aço, de espessuras determinadas 1,50 mm e 1,90 mm, com objetivo de melhorar o exercício produtivo e de fabricação de produtos de aço que passam pelo processo de estampagem. A metodologia utilizada para desenvolvimento do estudo foi através da pesquisa experimental baseada nas teorias e bibliografias específicas do assunto. Os experimentos foram realizados no Centro universitário

TRACTION TEST ON THIN STEEL SHEET

ABSTRACT: The adequate choice of the manufacturing process, as well as the knowledge of the properties of the materials, allowed interesting advances in the development of products. Tests with traction, bending and compression reveal important characteristics of the materials. In this sense, the present work studies, through traction tests, thin steel sheets, with determined thicknesses of 1.50 mm and 1.90 mm, with the objective of improving the productive exercise and the manufacture of steel products that undergo the process of stamping. The methodology used for the development of the study was through experimental research based on theories

and specific bibliographies of the subject. The experiments were carried out at the Serra Gaúcha University Center - FSG, campus in Caxias do Sul, after the analysis of the SAE 1006 steel, the 1.5 mm thick steel showed important characteristics compared to the 1.9 mm thick steel, making it possible to use the results and properties for calculations in the sheet metal manufacturing process.

KEYWORDS: Steel, Traction, SAE 1006, Sheet, Test

1 | INTRODUÇÃO

Desde o surgimento da Revolução Industrial, em meados de 1800, nota-se a comum competitividade entre indústrias e prestadores de serviço. Essa competitividade pode ser entendida como algo negativo, porém, ao mesmo tempo, essencial para a geração de valor em produtos e negócios. Quando essa competição é saudável, ambos os lados crescem e se desenvolvem, uma vez que é necessário a criação de capacidades de inovação para se manter em destaque e atualizados diante da concorrência (PORTER, 1999).

No ramo industrial, quando se fala de inovação, logo vem em mente a criação ou lançamento de novos produtos e, para toda criação, exige-se primeiramente um projeto. Este projeto pode levar meses ou anos e o tempo é um fator primordial para uma empresa se sobressair à outra. É de grande importância que o profissional tenha conhecimento das propriedades mecânicas do material com que se trabalha antes do desenvolvimento de um produto, pois tendo o domínio do assunto, pode-se otimizar os processos e evitar ao máximo retrabalhos até a conclusão do projeto, além de uma garantia maior do produto em que se está sendo entregue (PORTER, 1999).

Tendo em vista o aperfeiçoamento na parte do estudo de um projeto, o presente trabalho tem como objetivo a realização de ensaios de tração em chapas de aço SAE 1006, comumente utilizados pela indústria automotiva na confecção de peças e componentes. O experimento também poderá auxiliar no processo de fabricação das empresas, visando analisar quais tipos de chapas são melhores para o processo de estampagem, podendo ser crucial para a escolha do material a ser utilizado para o desenvolvimento e fabricação de um produto. Para este estudo foram utilizadas chapas de espessuras 1,50 mm e 1,90 mm para avaliar as variações de resultados conforme as diferentes espessuras.

2 | REFERENCIAL TEÓRICO

O aço é considerado um dos materiais mais versáteis do mercado e pode ser utilizado de forma eficaz em diversos campos. É um dos elementos mais comuns, em sua forma original, pois é a matéria-prima para praticamente tudo, desde pequenos objetos do dia a dia até grandes equipamentos utilizados em empresas, na construção civil, nos meios de transportes, entre outros. O processo de fabricação possui propriedades específicas que diferenciam o uso final do aço, permitindo que o material seja amplamente utilizado

(MOURÃO, 2007). Tendo em vista isso, se faz necessário um entendimento maior sobre como é realizado o processo de fabricação deste aço.

2.1 Fluxo de fabricação chapas de aço

As principais matérias-primas utilizadas no processo produtivo são carvão e minério de ferro, que são transportados principalmente por via marítima e ferroviária até a fábrica. A etapa inicial do processo siderúrgico é a zona de redução, no forno de coque, onde o carvão mineral é convertido em coque metalúrgico, ficando no forno por 16 a 18 horas a uma temperatura acima de 1000 graus Celsius. Após a coquificação do carvão, o produto é enviado ao alto-forno. Durante a sinterização, uma mistura de minério de ferro fino e fundente é queimada e convertida em sinter, que também é enviado para um alto-forno, onde é produzido o ferro-gusa (MOURÃO, 2007).

O coque metalúrgico, o sinter, o minério de ferro bitolado e as pelotas são carregados no topo do alto forno. Na região inferior do forno é injetado ar quente a uma temperatura de 1200 graus Celsius, além de combustíveis auxiliares como o carvão mineral pulverizado e o gás natural. Durante a descida da carga, reações químicas acontecem até resultar no ferro gusa líquido, preenchendo o cadinho localizado na base do alto forno. Quando o cadinho enche, uma perfuratriz abre um dos furos de gusa do alto-forno que vaza pelo canal de corrida, sendo recolhido em carros-torpedo (MOTTA, 2016).

Quando chega à aciaria, o ferro gusa passa por um processo chamado dessulfuração, que reduz a quantidade de enxofre de acordo com o tipo de aço a ser produzido. Depois, o gusa é despejado dentro de um convertedor junto com sucata para o processo de refino primário, onde uma lança sopra oxigênio para reduzir a quantidade de carbono e o fósforo do gusa, transformando-o em aço. Após o processo de sopro, o aço é vazado para uma panela onde são adicionados elementos de liga responsáveis por conferir propriedades físico-químicas para cada tipo e aplicação do aço, na sequência o aço passa por tratamentos que possibilitam ajustes na composição química e correção de temperatura. Controles adicionais são necessários em função da aplicação do produto (MOTTA, 2016).

Concluída essa etapa, a panela se posiciona na máquina de lingotamento contínuo, onde o aço líquido é vazado para os veios da máquina de lingotamento onde se solidifica na forma de placas. Essas placas são cortadas em comprimento desejado, identificadas e inspecionadas para abastecer as laminações ou para serem vendidas a clientes (MOTTA, 2016). Na Figura 1 é apresentado o fluxo de produção do aço.

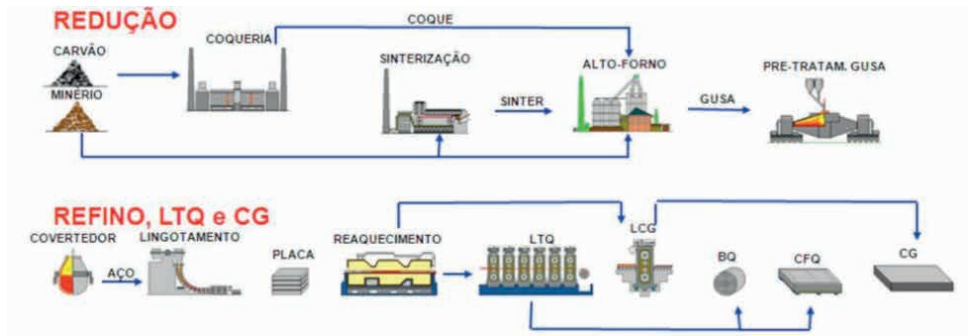


Figura 1: Fluxo de produção do aço.

Fonte: USIMINAS (2020)

Nas laminações as placas de aço se transformam em diversos produtos de acordo com a necessidade dos clientes. As laminações dividem-se em a quente e a frio, sendo que a laminação a quente compreende os processos de laminação de chapas grossas e de tiras a quente. Para produzir chapas grossas, as placas são aquecidas e laminadas até que atinjam a espessura e largura desejadas. O controle de qualidade é feito por meio de inspeção dimensional, de forma e de superfície e a qualidade interna inspecionada por uma máquina de ultrassom. Na Figura 2 é apresentado o esquema do processo de laminação em chapas de aço.

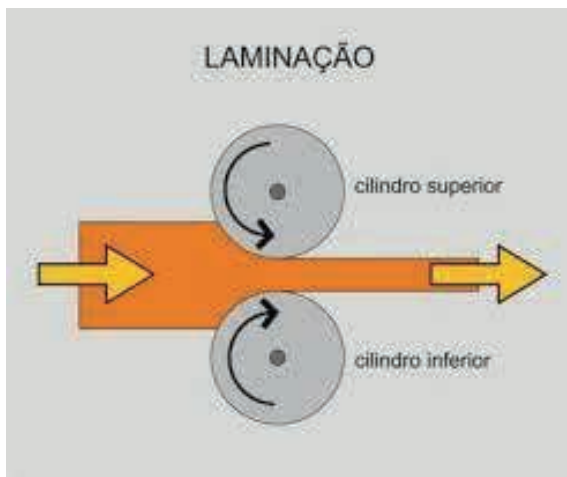


Figura 2: Esquemático do processo de laminação em chapas de aço.

Fonte: Metalthaga (2017)

As chapas grossas são utilizadas na fabricação de máquinas industriais, tanques, vasos de pressão, vagões, equipamentos rodoviários e ferroviários, além da construção civil. Na laminação de tiras a quente as placas que foram produzidas na aciaria são reaquecidas

e passam por um processo de laminação de desbaste com a finalidade de diminuir a espessura antes de seguir para o laminador, mesa de resfriamento e bobinadeiras, onde são transformadas em bobinas a quente. As chapas e bobinas laminadas a quente são aplicadas em tubos, rodas de automóveis, tanques, reservatórios, botijões, na indústria automotiva, implementos agrícolas entre outros (MOURÃO, 2007).

A bobina a quente é também matéria-prima para produção de laminados a frio, onde as mesmas passam por um processo de limpeza com ácido chamado de decapagem. Posteriormente a bobina decapada é encaminhada para esse laminador de tiras a frio que reduz a espessura da chapa e, a partir disso, o produto passa pelo processo de recozimento. Esse tratamento térmico recupera as propriedades mecânicas do aço de acordo com os requisitos de qualidade. Após o recozimento, as bobinas são processadas no laminador de encruamento para ajustar as propriedades mecânicas, imprimir rugosidade e melhorar a planicidade da tira. A bobina a frio pode ainda ser cortada em chapas de acordo com as dimensões desejadas. As chapas e bobinas laminadas a frio são destinadas a aplicações que exigem boa conformabilidade e excelente qualidade de superfície como a indústria automotiva, de eletrodomésticos, motores elétricos, móveis de aço, esquadrias metálicas, portas e janelas (MOURÃO, 2007).

2.2 Propriedades do aço SAE 1006

O aço SAE 1006 é um aço carbono com teor de carbono de aproximadamente 0,06 % (baixa concentração), sendo um aço que possui baixa resistência mecânica, mas isso é compensado pela excelente ductilidade e soldabilidade. Também conhecido como extra-doce, este tipo de aço não é capaz de adquirir têmpera, sendo muito maleável e fácil de soldar. Na Figura 5a são apresentados os elementos de ligas que compõe o aço SAE 1006 e na Figura 3b são apresentadas suas propriedades mecânicas.

a)		b)	
Elemento	Concentração (%)		
Manganês, Mn	0,25 a 0,40	Densidade	7,872 g/cm ³
Carbono, C	0,08 (max)	Limite de Escoamento	285 Mpa
Enxofre, S	0,05 (max)	Resistência a Tração	330 Mpa
Fósforo, P	0,04 (max)	Módulo de Elasticidade	190 GPa
Ferro, Fe	O que sobra	Coefficiente de Poisson	0,27 a 0,30
		Dureza Rockwell B	55

Figura 3: Propriedades dos aços SAE 1006: a) Elementos de liga e b) propriedades mecânicas.

Fonte: LUZ, (2021)

2.3 Ensaios de tração

Dentre os ensaios destrutivos o ensaio de tração é o mais utilizado e importante, por ser um ensaio simples, rápido e com excelente reprodutibilidade de resultados. Ensaios destrutivos são os que inutilizam uma amostra após a conclusão, ou que alteram de alguma forma as propriedades físicas deste material, tais como: tração, compressão, flexão, fadiga, cisalhamento, torção, etc. Os resultados do teste representam as propriedades mecânicas do material sendo testado, que são importantes para projetos, especificações e fabricação de commodities (GARCIA, SPIM, SANTOS, 2010).

O ensaio de tração pode ser realizado tanto em um protótipo, quanto em um corpo de prova. A vantagem da realização em um protótipo é a possibilidade de analisar o comportamento do material sob as condições de uso do produto, sendo possível avaliar se o material possui características adequadas à sua função. Já quando o ensaio é feito em corpos de prova, os resultados obtidos são mais gerais, normalmente utilizados para analisar as propriedades intrínsecas do material (SOUZA, 1982).

A realização de testes e ensaios nem sempre é obrigatória, porém a não realização dos mesmos pode acarretar em falhas e imprecisões do produto trabalhado. Além do mais, quando não se realizam testes, o desenvolvedor ou projetista tende a usar um coeficiente de segurança maior do que o necessário (pela incerteza das propriedades do material), o que acaba acarretando num encarecimento do projeto e imprecisão de resultados.

A resistência de um material depende da sua capacidade de suportar uma carga sem deformação excessiva ou falha. Esta propriedade é inerente ao próprio material e deve ser determinada por métodos experimentais. Um dos testes mais importantes para esses casos é o ensaio de tração ou compressão. Uma vez realizado, pode-se então determinar a relação entre tensão normal média e a deformação normal média em muitos materiais usados na engenharia, como, metais, cerâmicas, polímeros e compósitos.

(HIBELLER, 2019, 10ª edição, p.71).

O ensaio de tração convencional consiste em tensionar um corpo de prova, normalmente até a sua ruptura/fratura, para que de tal forma possam ser determinadas uma ou mais propriedades mecânicas do material. Dentre as propriedades mecânicas obtidas através dos ensaios de tração, pode-se citar os valores de tensão no limite de resistência à tração e de tensão no limite de escoamento como duas das mais importantes características analisadas nos metais, que serão utilizadas como base comparativa no presente estudo (NBR 6892, 2018).

Segundo a norma NBR ISO 6892-2 (2018 p. 8), o ensaio de tração deve ser realizado à temperatura ambiente, com temperaturas entre 10 °C e 35 °C, salvo se especificado de outra maneira. Os ensaios realizados sob condições controladas devem ser realizados à temperatura de 23 °C ±5 °C.

3 | METODOLOGIA

A metodologia deste estudo baseou-se na norma brasileira para os ensaios de tração em materiais metálicos à temperatura ambiente, em sua grande maioria referenciando-se ao Anexo B da NBR 6892, que trata especificamente dos ensaios de tração em chapas de aço com espessura entre 0,1 e 3,0 mm. Os ensaios mecânicos dos materiais são procedimentos padronizados que compreendem testes, cálculos, gráficos e consultas a tabelas, tudo isso em conformidade com normas técnicas. Realizar um ensaio consiste em submeter um objeto já fabricado ou um material que vai ser processado industrialmente a situações que simulam os esforços que eles vão sofrer nas condições reais de uso, chegando a limites extremos de solitação (NBR 6892, 2018).

O presente trabalho enquadra-se na tipologia de pesquisa experimental, pois apresenta-se como método condizente de pesquisa científica, que consiste na determinação do objeto de estudo, das variáveis que podem influenciar os resultados e na definição das formas de controle que serão necessárias para garantir a melhor precisão dos resultados gerados nos experimentos científicos. A base teórica de referência é elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de livros, artigos de periódicos e com material disponibilizado na internet (GIL, 2008).

3.1 Confecção dos corpos de prova

Para a realização do ensaio de tração foi necessário a confecção dos corpos de prova. Foi feito a análise de dois tipos de espessuras de chapas diferentes; 1,50 mm e 1,90 mm. Essas duas espessuras se enquadram nas normas do Anexo B da NBR 6892 para ensaios de tração em chapas de aço de 0,1 mm e 3 mm. Foi determinado a confecção de 5 corpos de prova para cada espessura, sendo 3 para o ensaio em máquina e 2 para a análise comparativa dimensional pós ensaio.

O processo de confecção dos corpos de prova passou por três processos principais: 1 - Pesquisa das dimensões dos corpos de prova conforme normativa brasileira; 2- Modelamento e em software CAD 3D (Solid Edge versão 2021) e desenho 2D do modelo; 3 - Processo de fabricação dos corpos de prova, realizado em uma máquina Laser Cutlite Penta, Modelo LME 3015.

Todos os corpos de prova foram cortados no sentido de laminação da chapa para mantê-los mais semelhantes possíveis, evitando possíveis discordâncias. Na Tabela 1 são apresentadas as dimensões dos corpos de prova para o ensaio de tração em chapas, conforme NBR 6892.

Tipo de corpo de prova	Largura b_0	Comprimento de medida inicial L_0	Comprimento paralelo L_c		Comprimento livre entre garras para corpo de prova de lados paralelos
			Mínimo	Recomendado	
1	$12,5 \pm 1$	50	57	75	87,5
2	20 ± 1	80	90	120	140
3	25 ± 1	50 ^a	60 ^a	—	Não definido

^a Os quocientes L_0/b_0 e L_c/b_0 para um corpo de prova do tipo 3, em comparação com um dos tipos 1 e 2 são muito baixos. Como consequência, as propriedades, especialmente o alongamento após fratura (valor absoluto e amplitude de valores individuais), medido com esse corpo de prova, serão diferentes dos de corpos de prova de outros tipos.

Tabela 1: Parâmetros dimensionais para confecção de corpos de prova em chapas finas de aço.

Fonte: NBR6892 (2018) Anexo B, Tabela B-1

Conforme dimensões apresentadas na Tabela 1, o desenho esquemático do corpo de prova utilizado para os ensaios de tração é apresentado na Figura 4.

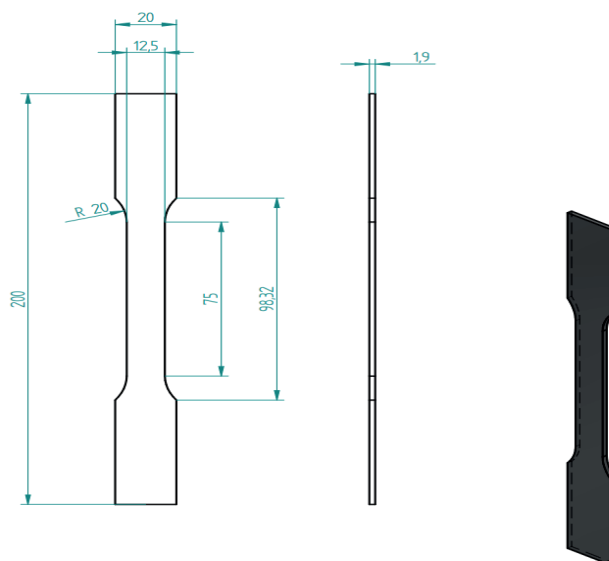


Figura 4: Desenho técnico do corpo de prova com medidas conforme normativa.

Fonte: NBR6892 (2018) Anexo B, Tabela B-1

3.2 Maquinário e Parâmetros de Ensaio

Para a realização do ensaio de tração utilizou-se uma máquina universal de ensaios modelo DL-30000 EMIC/Instron com capacidade de carga de 300 kN e ano de fabricação de 2014. Para velocidade de ensaio foi utilizado o valor de 15mm/min para todos os corpos

de prova a uma temperatura de 12 °C e umidade relativa do ar de 96%. Para a fixação dos corpos de prova na máquina, utilizou-se garras de tipo cunha, mantendo sempre a peça em alinhamento para evitar possíveis variações de resultados. O equipamento utilizado no ensaio de tração é apresentado na Figura 5.



Figura 5: Máquina de ensaio universal DL-30000 EMIC/Instron.

Fonte: Soluções Industriais (2014)

4 | ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Primeiramente foram executados os ensaios nos corpos de prova de 1,50 mm de espessura e posteriormente nos de 1,90 mm. As análises levaram em consideração os dados e valores obtidos pelo equipamento através do ensaio realizado com as condições especificadas no item 3.2 e também aspectos medidos pelo operador, somente para fins de comparação visual, os corpos de prova são apresentados na Figura 6 antes e depois dos ensaios.



Figura 6: Comparativo dimensional dos corpos de prova antes e depois do ensaio.

Fonte: O Autor (2022)

O objetivo era realizar três ensaios para cada espessura (1,50 mm e 1,90 mm). Para a espessura 1,50 mm todos os ensaios foram concluídos, já para 1,90 mm foi possível executar somente dois ensaios, devido a um problema de fixação na máquina, que estava ocasionando o deslizamento do corpo de prova na garra, não realizando a tração corretamente como o desejado. Posteriormente foi visualizado que este problema foi devido ao desgaste nas garras do equipamento.

Os dados gerados pelo ensaio de tração fornecem os valores de tempo(s), o deslocamento (em mm) da parte útil do corpo de prova e a força exercida (em Newton). Para a visualização no gráfico dos valores obtidos, foi necessário o tratamento dos dados brutos provenientes do ensaio, ou seja, o valor fornecido para o deslocamento, em milímetros, foi dividido por 75 (comprimento inicial do corpo de prova) para assim encontrar a deformação específica do material, seguindo a fórmula $\epsilon = l_0/\Delta l$. O valor fornecido para força em Newtons foi dividido pela área da seção transversal da parte útil do corpo de prova (18,75 mm² para espessura 1,50 mm e 23,75 mm² pra espessura 1,90 mm). Como a divisão é valor em Newtons por mm², o valor já resultará em MPa.

Na Figura 7 é apresentado o gráfico tensão x deformação dos corpos de prova do aço SAE 1006 com espessura de 1,5 mm.

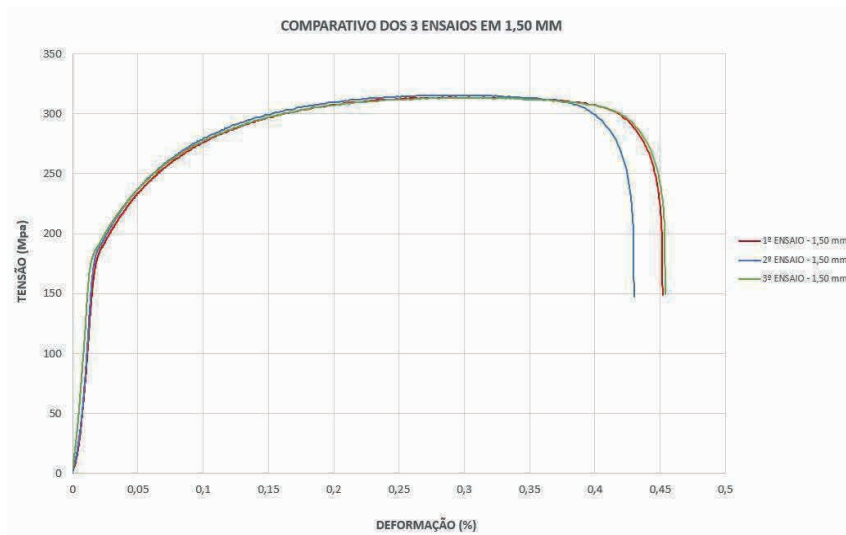


Figura 7: Gráfico tensão x deformação do Aço SAE 1006 – Espessura 1,50 mm.

Fonte: O Autor (2022)

É possível observar que os ensaios realizados no aço SAE 1006 com 1,5 mm de espessura apresentaram reprodutibilidade para os três corpos de prova. Na Figura 8 são apresentadas as curvas tensão x deformação do aço SAE 1006 com espessura de 1,9 mm.

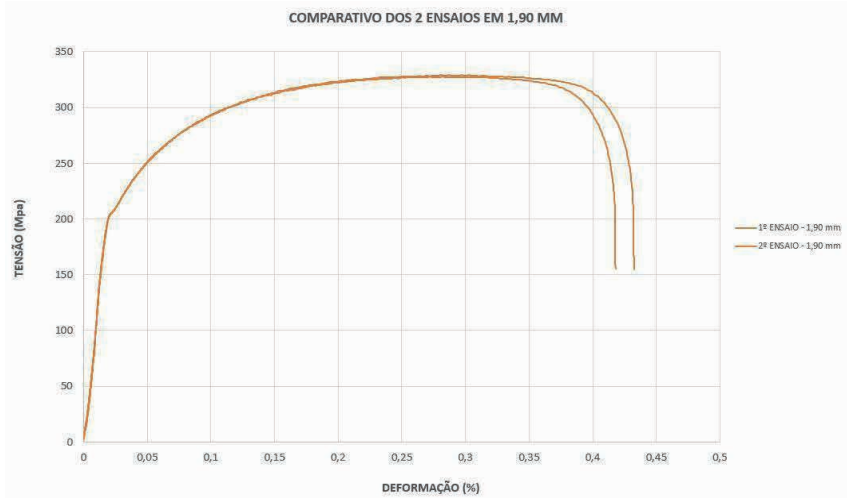


Figura 8: Gráfico tensão x deformação do Aço 1006 – Espessura 1,90 mm.

Fonte: O Autor (2022)

Como já mencionado, o ensaio de tração do aço SAE 1006 com 1,9 mm de espessura foi realizado em apenas dois corpos de provas, e os mesmos se apresentaram boa repetibilidade. Na Figura 9 é apresentado um gráfico com as duas curvas tensão x deformação do aço SAE 1006 com as espessuras de 1,5 e 1,9 mm.

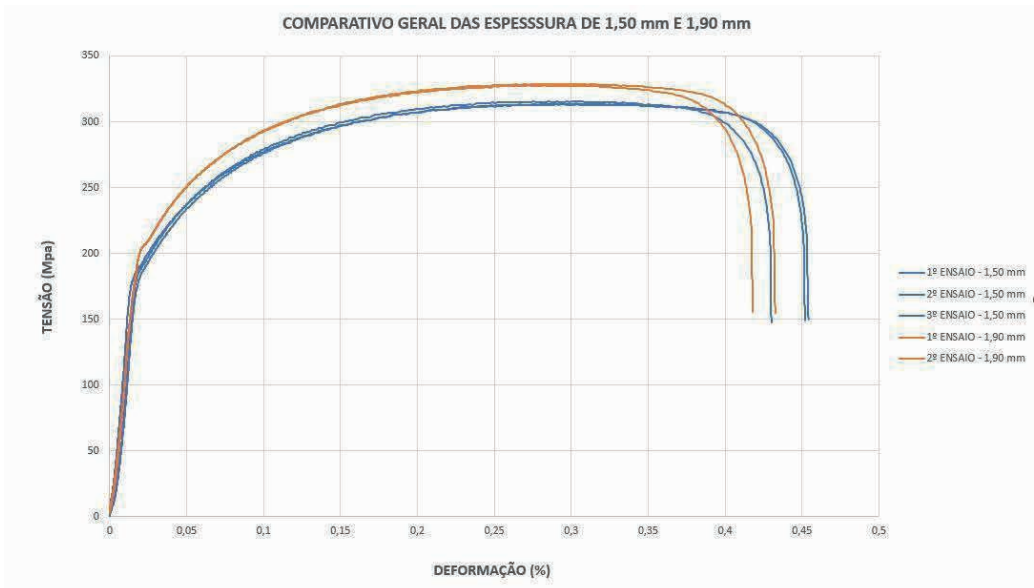


Figura 9: Gráfico comparativo tensão x deformação do Aço 1006 – Espessuras 1,50 mm e 1,90mm.

Fonte: O Autor (2022)

Após a elaboração dos gráficos tensão/deformação, foram calculadas algumas propriedades provenientes das curvas geradas. Os resultados apresentados levaram em conta a média de valores obtidos entre todos os ensaios de cada espessura, conforme memorial de cálculo (Apêndice A). Na Tabela 2 são apresentados os dados das propriedades mecânicas mais importantes utilizadas nos processos de conformação mecânica.

	AÇO 1006 - Espessura 1,50 mm	AÇO 1006 - Espessura 1,90 mm
Módulo de Elasticidade	11,947 Gpa	10,917 Gpa
Tensão de Escoamento	225 Mpa	275 Mpa
Tensão Máxima	313,66 Mpa	327,5 Mpa
Tensão de Ruptura	210 Mpa	220 Mpa
Ductilidade	44%	42%

Tabela 2: Resultados das propriedades obtidas através das curvas tensão/deformação.

Fonte: O Autor (2022)

Analisando as curvas dos gráficos (Figura 9) e os resultados dos valores obtidos para o módulo de elasticidade, pode-se considerar que as duas espessuras de chapas apresentam uma boa resiliência e tenacidade. As diferenças mais significativas são os valores de tensão de escoamento e tensão máxima, ou seja, pode-se afirmar que chapa de 1,50 mm tem menos resistência a tração, porém suporta uma maior deformação plástica até sua fratura, já a chapa de 1,90 mm tem uma maior resistência à tração, porém se tratando de ductilidade, ela irá suportar um grau de deformação plástica um pouco menor, até sua fratura.

Comparando os dados adquiridos no experimento com propriedades mecânicas encontradas em diversas literaturas, percebe-se que todos os valores são condizentes, exceto o módulo de elasticidade que deu significativamente um valor abaixo dos encontrados. No gráfico notamos que os dois materiais apresentam uma região elástica muito acima do que é visto em ensaio semelhantes em chapas de espessura maiores (como 2,65 mm e 3,00 mm), sendo necessário mais ensaios para poder ter uma melhor definição.

Vale ressaltar que os corpos de prova foram confeccionados com retalhos provenientes do processo produtivo, sendo possível reconhecer somente o tipo de aço (SAE 1006) e as espessuras, não descartando a hipótese de o experimento apresentar um resultado realmente verdadeiro, visto que as chapas finas frias são conhecidas por apresentar boa ductilidade comparadas a chapas finas quentes. Foi solicitado aos fornecedores de chapa as propriedades mecânicas das chapas em estudo, porém o retorno foi que em chapas comerciais não se realizam ensaios.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista os resultados apresentados para as diferentes espessuras, observa-se que a diferença entre as chapas de 1,50 mm e 1,90 mm pode ser um fator crucial para definição e escolha em um projeto. A informação de que a chapa de 1,50 mm tem menos resistência a tração, porém suporta uma maior deformação plástica até sua fratura, e a chapa de 1,90 mm tem uma maior resistência à tração porém apresenta uma menor deformação plástica até sua fratura é uma informação de grande importância para o processo produtivo da empresa, uma vez que um dos maiores problemas que ocorrem no processo de estampagem é a ocorrência de fraturas em regiões onde a tensão ultrapassa o limite de resistência do material.

Sabendo que o objetivo principal do estudo é o comparativo entre as duas espessuras de chapas, a visualização nos gráficos torna clara as diferenças pontuais nas propriedades dos dois materiais, onde antes havia apenas uma diferenciação teórica dos mesmos, podendo ser fundamental para a escolha adequada da espessura em aplicações e projetos futuros.

Recomenda-se que atrelado ao estudo, seja ampliado e avaliado a obtenção das propriedades em outras espessuras de corpos de prova, como forma de enriquecimento comparativo das curvas de tensão e deformação, visto que a gama de espessuras utilizadas no processo de estampagem é inúmera, não se limitando apenas às analisadas no presente estudo.

REFERÊNCIAS

BOTELHO, M. H. C. **Resistência dos Materiais para Entender e Gostar**. São Paulo: Nobel, 1998.

CALLISTER JR., W. D., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. John Wiley & Sons, Inc., Editora LTC, 5ª edição, 2000.

GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. **Ensaio dos Materiais**. 1 Ed. Rio de Janeiro: LTC. 2010.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6. ed. São Paulo: Atlas. 2008.

HIBELLER, R. C. **Resistência dos Materiais**. Rio de Janeiro: Pearson/Prentice Hall, 2019. 10ª edição

MOTTA, R. S. N. **Sistemas de injeção de materiais pulverizados em altos-fornos e aciarias**. São Paulo, Editora Blucher, 2016

MOURÃO, M.B., **Introdução à Siderurgia**, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, São Paulo, 2007.

PORTER, M.E. **Competição: Estratégias Competitivas Essenciais**. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

SOUZA, S. A. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos**. 5. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1982.