



IV Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica
IV EnICT
ISSN: 2526-6772
IFSP – Câmpus Araraquara
24 e 25 de outubro de 2019



ESTUDO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS EM TRAÇÃO DOS AÇOS SAE 1020 E SAE 1045 EM DIFERENTES CONDIÇÕES METALÚRGICAS

FELIPE GOVONI BEJO¹ SÍLVIO APARECIDO VERDÉRIO JÚNIOR² CELIO CAMINAGA³

¹ Graduando em Engenharia Mecânica, Programa PIVICT, IFSP Campus Araraquara - felipegbejo@hotmail.com

² Docente, Instituto Federal de São Paulo Câmpus Araraquara - silvioverderio@ifsp.edu.br (Coorientador)

³ Docente, Instituto Federal de São Paulo Câmpus Araraquara - caminaga@ifsp.edu.br (Orientador)

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.03.04.03-2

RESUMO: Os aços SAE 1020 e 1045 estão entre os aços mais comuns no mercado, tendo grande aplicação na indústria e em projetos civis; como em eixos, vigas, virabrequins, colunas, entre outras. Durante o desenvolvimento de projetos como esses, é de grande importância saber qual o aço mais adequado a ser utilizado. O presente estudo visa analisar e comparar as tensões principais e as diferenças dos aços SAE 1020 e 1045 em diferentes condições metalúrgicas, por meio do ensaio de tração unidirecional, que consiste na aplicação de uma força de tração uniaxial em um corpo de prova com dimensões normalizadas até sua ruptura. É um ensaio destrutivo e pela facilidade de execução, reprodutividade dos resultados e elevado custo-benefício, é um dos mais importantes meios de determinação das propriedades mecânicas dos materiais. Ao final do estudo os resultados foram distribuídos em gráficos e tabelas, tornando possível analisar de forma comparativa as principais diferenças nas propriedades mecânicas dos aços ensaiados, tendo sido identificado a maior ductilidade do aço SAE 1020 e maior resistência a tração do aço SAE 1045. Também foi observado que os corpos de prova laminados a quente tiveram maior alongamento após o ensaio, e menor resistência a tração que os trefilados a Frio.

PALAVRAS-CHAVE: Propriedades mecânicas; Ensaio de tração; Aços; SAE 1020; SAE 1045

INTRODUÇÃO

Entre os diversos tipos de ensaios existentes para a avaliação das propriedades mecânicas dos materiais, o mais amplamente utilizado é o ensaio de tração (Garcia, 2012).

Saber a tensão máxima que um aço suporta antes de se romper, ou antes de entrar no regime plástico de deformação é de suma importância no desenvolvimento de um projeto e na seleção do material que tenha propriedades mecânicas que atendam ao propósito desejado. O ensaio de tração unidirecional é de simples aplicação e fornece ambas as tensões mencionadas, assim como outras propriedades do aço importantes durante a escolha do material mais adequado ao projeto, como o módulo de elasticidade e o módulo de resiliência.

A execução do ensaio de tração consiste em prender um corpo de prova em suas extremidades, e aplicar uma carga de tração uniaxial que aumenta gradativamente e com isso o corpo de prova vai se deformando, na maioria das vezes até sua fratura. A máquina de ensaios de tração alonga o corpo de prova a uma taxa constante, e simultaneamente mede a carga instantânea aplicada no mesmo.

O presente trabalho visa comparar e analisar as tensões principais nos aços SAE 1020 e SAE 1045, em diferentes condições metalúrgicas, a partir do ensaio de tração unidirecional com a utilização de corpos de prova de secção circular com diâmetro de 10 mm. A partir do ensaio de cada amostra de aço com cinco (05) corpos de prova, os resultados obtidos foram tratados, comparados e analisados de forma a identificar as principais diferenças entre aços com diferentes teores de carbono e condições metalúrgicas distintas.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com Callister (2012), o ensaio de tração tem seus resultados registrados em forma de carga ou força em função do alongamento, que são normalizados, respectivamente, aos parâmetros de tensão de engenharia e deformação de engenharia.

A Tensão Normal de Engenharia (σ) é definida pela equação (1), de forma que:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

onde,

F – Carga instantânea aplicada em uma direção perpendicular à secção transversal do corpo de prova.

A_0 – Área da secção transversal original antes da aplicação de qualquer carga.

A Deformação da Engenharia (ε) é definida pela equação (2), de forma que:

$$\varepsilon = \frac{L_i - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (2)$$

onde,

L_0 – Comprimento original antes de qualquer carga ser aplicada.

L_i – Comprimento instantâneo.

A deformação de engenharia é adimensional, portanto, é comum ela ser expressa em porcentagem, para isso o resultado da equação deve ser multiplicado por 100.

Na Figura 1, é possível observar um exemplo de uma curva típica de um ensaio de tração em metal, que, de acordo com Garcia (2012), é dividida em 4 regiões, cada uma caracterizando um determinado tipo de deformação sofrida pelo corpo de prova durante o ensaio, sendo elas divididas em: **A) Região de Comportamento Elástico:** corresponde à região onde, caso a aplicação de carga for cessada, o corpo de prova retornará à suas dimensões originais e é definida pela Tensão Limite de proporcionalidade (σ_p). **B) Região de deslizamento de discordâncias:** corresponde ao início da deformação plástica do material e é definida pela Tensão Limite de Escoamento (σ_E). **C) Região de encruamento uniforme:** caracterizada pelo encruamento do corpo de prova e ocorre até a Tensão Limite de Resistência à Tração (σ_t). **D) região de encruamento não uniforme:** início da ruptura do corpo de prova, que se estende até sua ruptura completa na Tensão de Ruptura (σ_R).

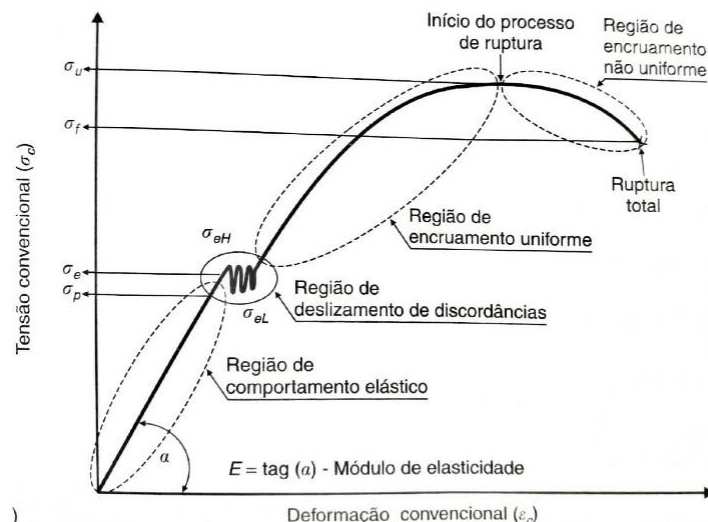


FIGURA 1. Esquema de curva de um ensaio de tração unidirecional.

Fonte: Garcia, 2012.

O limite de proporcionalidade (ou limite de escoamento) é obtido a partir da observação da curva de Tensão x Deformação do material, sendo que para materiais que não apresentam a região de “oscilação” de

tensão, ela é obtida traçando-se uma reta paralela à da região de comportamento elástico a partir de uma deformação percentual de 0,2%. Já para materiais que apresentam a região de oscilação, o limite de escoamento se dá pelo valor médio de tensão presente na região de oscilação.

A tensão máxima e a tensão de ruptura são ambas obtidas por observação da curva do ensaio.

Como dito por Hibbeler (2010), um diagrama tensão-deformação convencional é importante na engenharia porque proporciona um meio para obtenção de dados sobre a resistência à tração ou à compressão de um material sem considerar o tamanho ou a forma física do material.

A obtenção da curva é feita a partir dos dados registrados pela máquina de ensaios universais, e, de acordo com Souza (1982), a carga é obtida pelo dinamômetro da máquina de ensaios e a deformação é obtida mais comumente por meio de um extensômetro.

METODOLOGIA

Para os ensaios realizados foram utilizadas quatro (04) barras maciças de aço com diâmetro de 3/8" (9,53 mm). Essas barras foram fornecidas em diferentes condições metalúrgicas: SAE 1020 trefilado a frio, SAE 1020 laminado a quente, SAE 1045 trefilado a frio e SAE 1045 laminado a quente. A composição química dos aços é apresentada na Tabela 1.

TABELA 1. Composição Química dos Aços Ensaados conforme certificado de qualidade de fornecimento.
Fonte: Certificado de Qualidade do Fornecedor.

Material	C	Mn	S	P	Si	Cr	Ni	Cu	Fe
SAE 1045 trefilado a frio	0,47	0,69	0,01	0,015	0,26	0,025	0,01	0,015	98,505
SAE 1045 laminado a quente	0,47	0,65	0,014	0,013	0,2	0,08	0,03	0,07	98,473
SAE 1020 trefilado a frio	0,19	0,37	0,008	0,01	0,08	0,01	0,01	0,00	99,322
SAE 1020 laminado a quente	0,14	0,5	0,022	0,03	0,14	0,03	0,00	0,02	99,118

Preparação da Matéria-Prima

As barras foram submetidas a ensaios de dureza Rockwell (B e C), para que fosse possível analisar qualitativamente e certificar-se da identificação do material, conforme fornecimento. Em seguida as barras foram cortadas em comprimentos menores de 200 mm.

Realização do Ensaio de Tração

Antes da realização do Ensaio de Tração os corpos de prova foram preparados. Cada corpo de prova foi pintado com tinta de marcação (traçagem) e riscado com o auxílio de um marcador de altura (ou calibrador de altura); as distâncias entre as marcações foram definidas em 25 mm ($L_0/2$). As marcações objetivam auxiliar nas medições do comprimento final após os ensaios. Nas extremidades de cada corpo de prova deixou-se uma região de 50 mm para a fixação nas garras da Máquina de Ensaios Universais.

Para a realização do ensaio de tração foi utilizado uma Máquina de Ensaios Universais EMIC DL 10000 com sistema de aquisição de dados através do Software Tesc versão 1.10 presente em um computador acoplado à máquina, com capacidade e célula de carga instalada de 100 kN, velocidade de ensaio de 6 mm/min, comprimento inicial (L_0) do corpo de prova de 50 mm e o ensaio foi realizado em temperatura ambiente, com os parâmetros em conformidade com a norma técnica ABNT NBR ISO 6892-1 (2013). O parâmetro de finalização do ensaio foi definido como a falha do corpo de prova ou a aplicação de uma carga superior a 95 kN, valor escolhido de modo a evitar que a célula de carga sofresse um desgaste mais acentuado pela aplicação de uma carga perto do limite de operação. Os ensaios foram realizados com a utilização de um extensômetro de 50 mm, posicionado no centro no corpo de prova, de modo a ocupar o L_0 central do mesmo.

O software da máquina de ensaios mantém o controle sobre a tensão aplicada a cada instante e sobre o alongamento que o corpo de prova está sofrendo, gerando, assim, um conjunto de valores e plotando uma curva similar à da Figura 1. Os valores fornecidos foram posteriormente tratados e organizados em uma planilha e tiveram suas curvas montadas novamente, para que os resultados pudessem ser comparados e analisados.

Logo após a realização de cada ensaio, o corpo de prova ensaiado tem seu comprimento final (L_f) e diâmetro mínimo (D_{min}) medidos, sendo possível calcular e analisar a estricção do corpo de prova e seu alongamento total, e comparar e validar os resultados fornecidos pelo software.

A medição do comprimento final L_f de cada corpo de prova foi feita com a utilização de um paquímetro, posicionado na região que sofreu maior alongamento, ou seja, o comprimento inicial L_0 do corpo de prova onde ocorreu a fratura total, obtendo-se assim o alongamento final do corpo de prova.

Todas as medições dos corpos de prova (diâmetro e comprimento) foram realizadas com um paquímetro com resolução 0,05 mm

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2 é possível observar uma relação entre as medidas obtidas do diâmetro final mínimo e do comprimento final de cada tipo de aço, montada com base na média aritmética das medições feitas em cada corpo de prova.

TABELA 2. Resultados médios de D_{min} e L_f obtidos das medições realizadas nos Corpos de Prova (em mm).

Fonte: Próprio Autor, 2019.

Tipo de aço	Diâmetro mínimo médio (D_{min})	Comprimento final médio (L_f)
SAE 1020 laminado a quente	5,55	69,25
SAE 1020 trefilado a frio	6,49	55,89
SAE 1045 laminado a quente	6,71	61,35
SAE 1045 trefilado a frio	7,29	55,69

Com base na Tabela 2, plotou-se o Gráfico da Figura 2, que relaciona a variação do comprimento inicial (L_0) com a variação do diâmetro na região que sofreu maior estricção (o diâmetro mínimo do corpo de prova (D_{min})) para comparar os resultados e o comportamento dos diferentes aços quando submetidos ao ensaio de tração unidirecional.

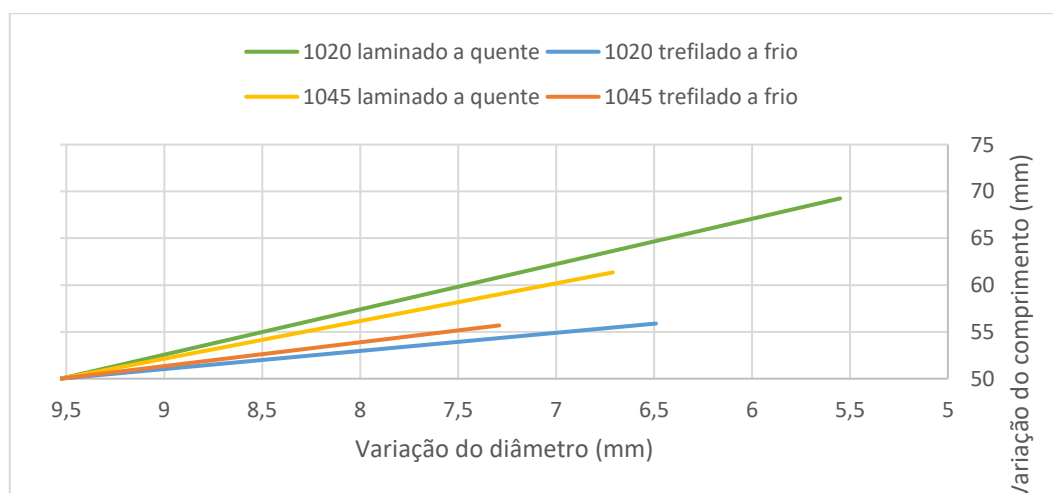


FIGURA 2. Relação da variação do diâmetro e comprimento dos corpos de prova.

Fonte: Próprio Autor, 2019.

Considerando diâmetro inicial de 9,53 mm e comprimento inicial de 50 mm, diversos dados técnicos podem ser extraídos da Figura 2. O aço SAE 1020 laminado a quente e o SAE 1045 laminado a quente apresentaram as maiores taxas de alongamento, tendo aumentado em seu comprimento inicial (L_0), respectivamente, em uma média de 19,25 e 11,35 mm; enquanto que o SAE 1020 trefilado a frio e SAE 1045 trefilado a frio aumentaram seu comprimento inicial, respectivamente, em média 5,89 e 5,69 mm. Também é possível observar que aços com menor teor de carbono, como o Aço SAE 1020, sofrem maior estricção, apresentando redução significativa do diâmetro inicial.

A Figura 3 apresenta uma relação das curvas obtidas dos ensaios de tração.

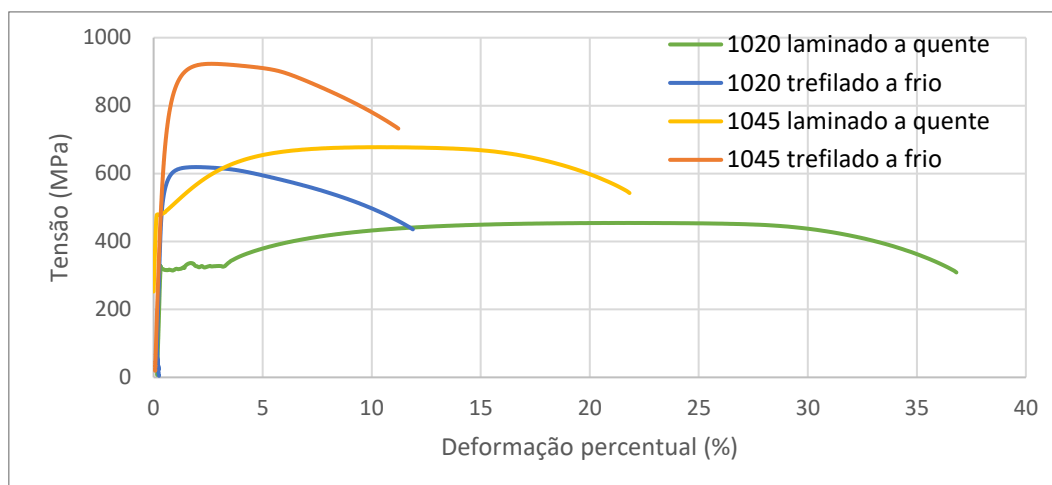


FIGURA 3. Relação das curvas dos aços ensaiados.
Fonte: Próprio Autor, 2019.

Da análise da Figura 3 é possível comparar as tensões principais médias obtidas a partir do ensaio de cada corpo de prova. O aço SAE 1020 laminado a quente apresentou a maior ductilidade entre os ensaiados, e a menor resistência a tração, enquanto que o aço SAE 1045 trefilado a frio apresentou a maior resistência mecânica, com baixa ductilidade. Os resultados médios dos ensaios de tração unidirecional de cada condição metalúrgica dos aços estão presentes na Tabela 3.

TABELA 3. Valores médios de Tensões obtidos a partir dos Ensaio para cada tipo de aço.
Fonte: Próprio Autor, 2019.

Material	Tensão de escoamento Média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Limite de Resistência a tração média (MPa)	Desvio Padrão (MPa)	Alongamento percentual após a fratura média (%)	Desvio Padrão (%)
SAE 1020 laminado a quente	325,8	6,52	466,22	7,92	37,96	1,25
SAE 1020 trefilado a frio	560,28	6,09	615,46	5,27	6,08	4,35
SAE 1045 laminado a quente	475,02	5,34	677,14	2,77	24,06	4,5
SAE 1045 trefilado a frio	734,76	11,8	924,56	7,7	6,78	3,54

Os valores obtidos foram comparados com os indicados pelo site Matweb (2019a, 2019b) e pela ASM Handbook (1990), que fornecem valores mínimos estimados para as propriedades mecânicas de diversos tipos de aços, entre eles os aços utilizados neste trabalho. Ambas as fontes apresentavam valores similares, organizados na Tabela 4.

TABELA 4. Valores de tensões mínimos estipulados para cada tipo de aço
Fonte: Matweb (2019a, 2019b).

Material	Tensão de escoamento (MPa)	Limite de Resistência a tração (MPa)	Alongamento percentual após a fratura (%)
1020 laminado a quente	205	380	25
1020 trefilado a frio	350	420	15
1045 laminado a quente	310	565	16
1045 trefilado a frio	530	625	12

É importante ressaltar que os valores da Tabela 4, retirados das literaturas, são relativos a aços com diâmetro entre 19 e 32 mm, intervalo mais próximo do diâmetro dos aços utilizados durante os ensaios (9,53 mm) que é fornecido pela literatura, esse fator justifica a discrepância dos resultados quando comparados. Posteriormente os resultados foram comparados com os fornecidos pelo Manual de aços da Gerda (2003), para os aços laminados a quente SAE 1020 e 1040, condição metalúrgica fornecida mais próxima do aço ensaiado, o SAE 1045. Os resultados dessa comparação se mostraram mais condizentes, com diferenças de 5 a 40 MPa nas tensões de limite de resistência a tração e a tensão de escoamento, e de 1 a 2% para a alongamento percentual após a fratura, essas diferenças se aplicam tanto para o SAE 1020 quanto para o SAE 1045.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados desse estudo, foi possível concluir que os aços SAE 1020 laminado a quente e SAE 1045 laminado a quente apresentaram maior ductilidade entre os aços ensaiados, com alongamento percentual após a fratura médio de 37,96% e 24,06%, respectivamente. O aço SAE 1045 trefilado a frio apresentou a maior resistência a tração, com uma média de 924,56 MPa de resistência, porém com menor ductilidade, com uma média de alongamento percentual após a fratura de 6,78%.

Os corpos de prova que passaram pelo processo de trefilação a frio apresentaram comportamento mais resistente e menos dúctil que corpos de prova submetidos à laminação a quente.

Por fim, os ensaios se mostraram bem-sucedidos quando comparados com dados fornecidos por diversas literaturas e catálogos. E a partir da realização desse estudo foi possível analisar e observar com maior clareza as principais diferenças nas propriedades mecânicas dos aços SAE 1020 e SAE 1045, um ponto importante na seleção do tipo de aço a ser utilizado durante o desenvolvimento de um projeto de engenharia.

REFERÊNCIAS

ASM Handbook, Vol. 1, **Properties and Selection: Irons, Steels and High Performance alloys**, 10ª ed., ASM International Handbook Committee, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 6892-1**, Materiais metálicos — Ensaio de Tração Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente, 70p., 2013.

CALLISTER, W. D., **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**, 8ªed., LTC: Rio de Janeiro, 2012

GARCIA, A.; **Ensaio dos Materiais**. LTC: Rio de Janeiro, 1ª Edição, 2000.

GERDAU, **Manual de Aços**, publicação eletrônica disponível em: https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariamecanica/maprotec/catalogo_acos_gerdau.pdf, 2003, 105p.

HIBBELER, R. C., **Resistência dos Materiais**, 7ªed., São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010

MATWEB, MATERIAL PROPERTY DATA. **SAE 1045 Steel**, Disponível em: <http://www.matweb.com/search/QuickText.aspx?SearchText=aisi%201045>, Acesso em 1 de setembro de 2019a.

MATWEB, MATERIAL PROPERTY DATA. **SAE 1020 Steel**, Disponível em: <http://www.matweb.com/search/QuickText.aspx?SearchText=aisi%201020>, Acesso em 1 de setembro de 2019b.

SOUZA, Sérgio Augusto de. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos**. 5ªed., São Paulo: Edgard Blucher, 1982.