

O EFEITO DA VELOCIDADE DE DEFORMAÇÃO NO ENSAIO DE TRAÇÃO EM UM AÇO SAE 4340¹

Guilherme Vieira Braga Lemos²
Diego Moises Maciel Vieira³
Bill Paiva dos Santos⁴
Jefferson Haag⁴
Vagner Machado Costa⁴
Cristian Pohl Meinhardt⁴
Daniel Antônio Kapper Fabrício³
Toni Paiva Chiossi³
Telmo Roberto Strohaecker⁵

Resumo

A grande maioria dos materiais, quando em uso no dia a dia, está sujeito a esforços ou cargas. Sendo assim, é necessário conhecer as características dos materiais para projetar o componente de tal maneira que a deformação resultante não seja excessiva, ocasionando a fratura. Neste estudo foram realizados ensaios de tração em um aço SAE 4340 com diferentes velocidades de ensaio, selecionadas com base em referências normativas (ASTM E8/E8M e ISO 6892-1) e também na literatura e, assim, estabelecidas como 0,45 mm/min, 12,5 mm/min, 100 mm/min e 500 mm/min. Os testes mostraram que a velocidade do ensaio de tração exerce influência significativa no comportamento da curva tensão-deformação e, conseqüentemente, nas propriedades do material.

Palavras chave: Ensaio de tração; Velocidade de deformação; Propriedades; Aço SAE 4340.

THE EFFECT OF STRAIN RATE ON TENSILE TEST IN A STEEL SAE 4340

Abstract

Most materials when in use in everyday life are subject to stresses or loads. Therefore, it is necessary to know the characteristics of materials to design the component so that the resulting deformation is not excessive, causing the fracture. In this study, tensile tests were done on a steel SAE 4340 with different strain rates, selected based on normative references (ISO 6892-1 and ASTM E8/E8M) and also in literature and thus established as 0.45 mm / min, 12.5 mm / min 100 mm / min and 500 mm / min. Tests have shown that the speed of the tensile testing has significantly influence the behavior of the stress-strain curve and thus in material properties.

Key words: Tensile tests; Strain rate; Properties, SAE 4340 steel.

¹ Contribuição técnica ao 68º Congresso Anual da ABM - Internacional, 30 de julho a 2 de agosto de 2013, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Engenheiro Metalúrgico. MSc.,. Doutorando. PPGE3M, UFRGS.. Porto Alegre, RS, Brasil.

³ Graduando de Engenharia Metalúrgica. UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil.

⁴ Engenheiro Metalúrgico. Mestrando. PPGE3M, UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil.

⁵ Engenheiro Metalúrgico. Professor Doutor. PPGE3M, UFRGS. Porto Alegre, RS, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

Os ensaios de tração são primordiais na caracterização dos diversos tipos de materiais existentes. Os resultados obtidos com os ensaios são influenciados por diversas variáveis como: temperatura, velocidade de deformação, anisotropia do material, tamanho de grão, porcentagem de impurezas e condições ambientais.⁽¹⁾

A velocidade de ensaio é um dos parâmetros mais importantes e precisa ser expressa nos laudos e relatórios dos resultados, bem como nas especificações do material, uma vez que pode exercer influência direta sobre os resultados. De um modo geral, a velocidade de deformação (muitas vezes chamada de velocidade de ensaio) afeta o escoamento e o limite de resistência máxima fazendo com que se observem tensões de escoamento mais altas, quanto maior for a velocidade de deformação.⁽²⁻⁶⁾ Não há um valor definido para a velocidade do ensaio de tração, porém existem algumas faixas de valores mais adequadas, e distintas maneiras de medição destas de acordo com normas técnicas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A Tabela 1 mostra a composição química que se refere a um aço SAE 4340, resultado de uma análise com espectrometria de emissão ótica (equipamento Spectrolab tipo LAVMB08B).

Tabela 1. Composição química

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Ti	V	B
0,337	0,22	0,69	0,01	0,01	0,81	1,76	0,224	0,022	0,026	0,003	0,002

Os corpos de prova, em um total de 12, foram usinados conforme previsto nas normas.^(7,8) A Figura 1a apresenta o corpo de prova de tração em seu formato real, enquanto que a Figura 1b mostra o desenho com suas dimensões em milímetros. Os ensaios de tração foram realizados em uma máquina eletromecânica marca Instron (modelo 5585H) com capacidade para 25 toneladas. Por fim, após usinagem e fabricação dos corpos de prova, eles foram submetidos ao ensaio de tração em temperatura ambiente (25°C).

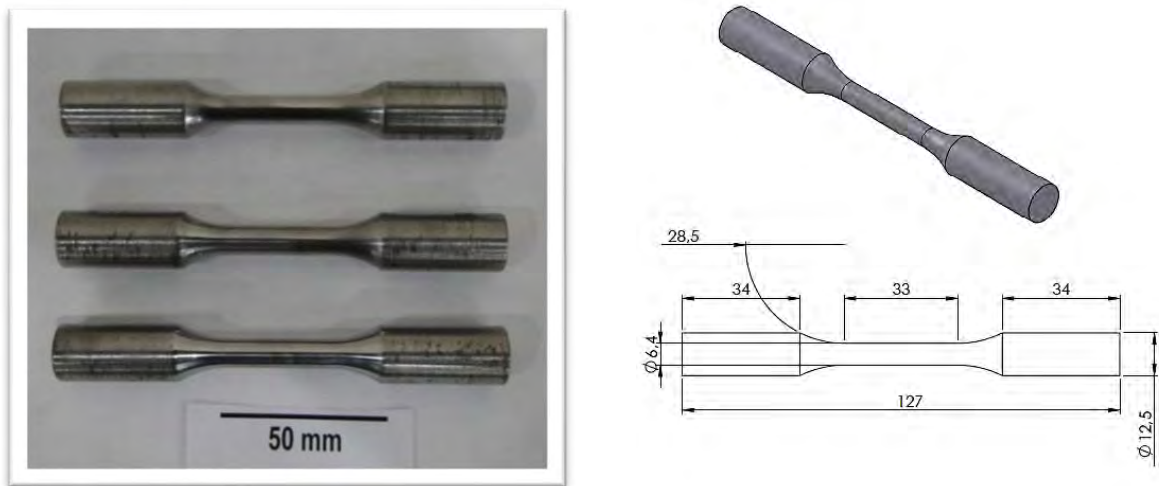


Figura 1. (a) corpo de prova real; (b) corpo de prova com duas dimensões.

Para cálculo do coeficiente de encruamento, foi usada a seguinte formula mostrada através da Equação 1:⁽¹⁾

$$n = \ln(\varepsilon + 1) \quad \text{Equação 1}$$

Onde n é o coeficiente de encruamento e ε corresponde à deformação na carga máxima. Para este caso, os valores encontrados também foram praticamente os mesmos.

Já para o calculo da tenacidade foi usada à regra dos trapézios, de acordo com métodos numéricos, e assim calculada a área abaixo da curva tensão x deformação. A Figura 2 esquematiza o cálculo da área através desse método utilizando $n=6$ pontos.⁽⁹⁾ Nota-se que, quanto maior o número de pontos $(x_i, f(x_i))$ utilizados no cálculo, mais a integral numérica se aproximará do valor verdadeiro. A Equação 2 representa uma boa aproximação para a área sob a curva entre a e b com um conjunto de n pontos do tipo $(x_i, f(x_i))$ para $a \leq x_i \leq b$.⁽¹⁰⁾

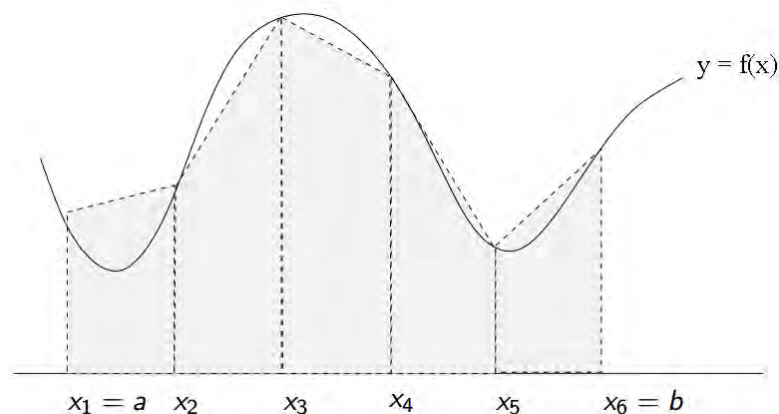


Figura 2. Regra dos trapézios.⁽⁹⁾

$$Tenacidade = \int_a^b f(x)dx \cong \sum_{i=1}^{n-1} (x_{i+1} - x_i) \frac{[f(x_{i+1}) + f(x_i)]}{2} \quad \text{Equação 2}$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 3, 4, 5 e 6 apresentam os resultados de acordo com as diferentes velocidades de deformação utilizadas nos ensaios. Para cada uma das velocidades foram denominados três CPs (1, 2 e 3) de maneira aleatória e sem nenhuma relação entre si. Para as velocidades de 0,45 mm/min, 12,5 mm/min e 100 mm/min os gráficos se mostraram semelhantes, enquanto que para a velocidade de 500 mm/min o resultado é diferente principalmente com respeito ao limite de resistência máxima. Segundo Kvačakj,⁽²⁾ este efeito pode ser explicado devido a um aumento da quantidade de empilhamento de discordâncias que, em altas velocidades de movimento (relacionadas a altas taxas de deformação), provoca um maior encruamento.

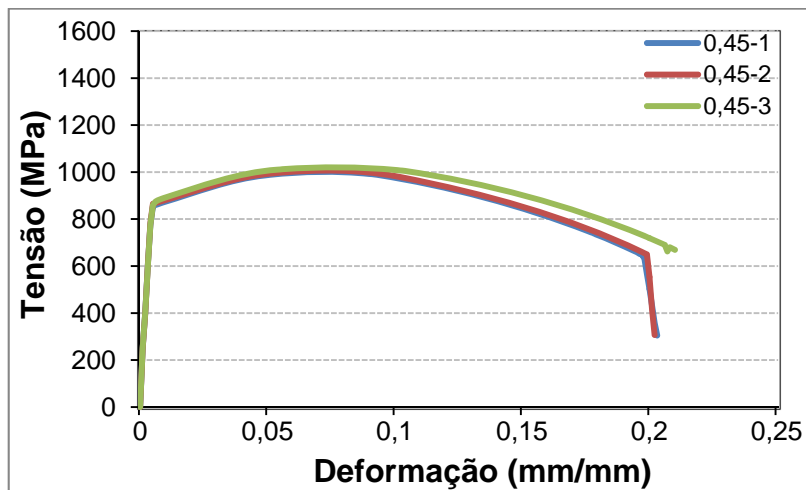


Figura 3. Velocidade de 0,45 mm/min.

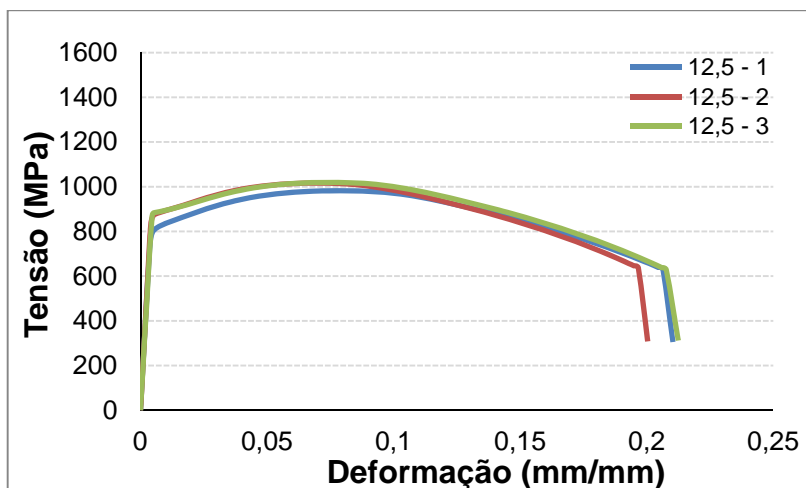


Figura 4. Velocidade de 12,5 mm/min.

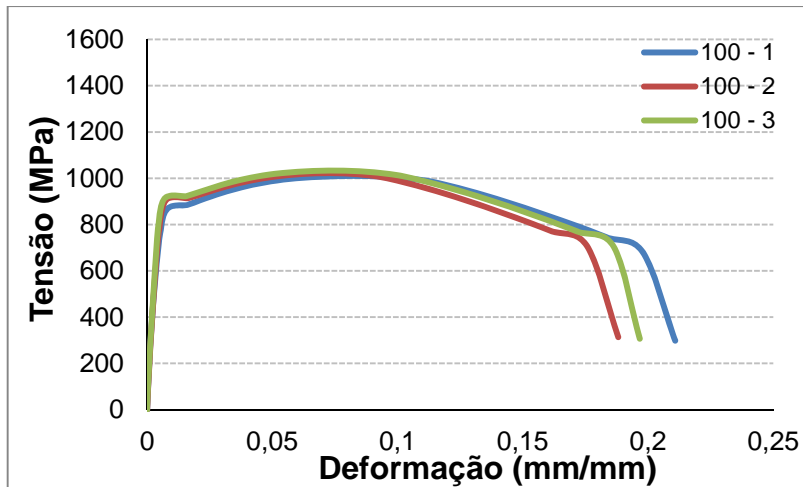


Figura 5. Velocidade de 100 mm/min.

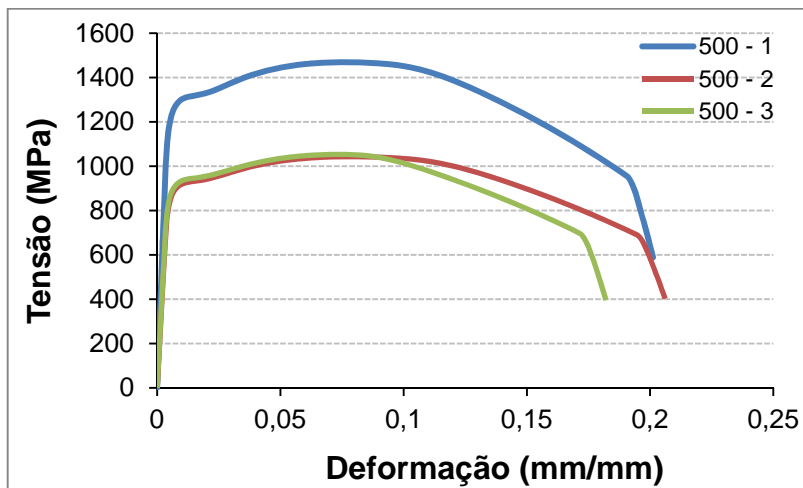


Figura 6. Velocidade 500 mm/min.

A Tabela 2 apresenta os principais resultados alcançados e as propriedades mecânicas obtidas para cada uma das taxas de deformação empregadas. A média da tensão de limite de escoamento calculada nos mostra que a partir da velocidade de 12,5 mm/min um aumento da velocidade acarreta em um aumento da tensão de escoamento, atingindo o maior valor com uma maior velocidade (500 mm/min = 1002,57 MPa). Este fato também ocorre de maneira semelhante para o limite de resistência máxima (onde uma maior velocidade resulta em um maior limite de resistência), mas nesse caso o comportamento foi menos variável.

Os valores obtidos divergiram entre si e mostraram que uma maior velocidade de deformação resulta em uma menor tenacidade. O contrário também é verdadeiro, a taxa de 0,45mm/min obteve a maior tenacidade (182,19 N.mm/mm³).

Tabela 2. Resultados e propriedades analisadas

Velocidade (mm/min)	Amostra	LE (MPa)	LRM (MPa)	Coefficiente de Encruamento	Módulo de Tenacidade (N.mm /mm ³)
0,45	1	860,8	1001,2	0,0696	175,99
	2	869,3	1006,7	0,0703	178,00
	3	876,8	1020,6	0,0734	192,57
	Média	869,0	1009,5	0,0711	182,19
12,5	1	809,6	982,3	0,0747	179,77
	2	877,9	1016,3	0,0669	176,31
	3	885,2	1019,2	0,0716	186,34
	Média	857,6	1005,8	0,0711	180,87
100	1	885,6	1009,3	0,0729	178,64
	2	914,8	1021,3	0,0751	160,37
	3	923,0	1032,8	0,0729	172,19
	Média	907,8	1021,1	0,0736	170,41
500	1	1240,5	1469,0	0,0733	126,89
	2	880,2	1042,9	0,0755	126,49
	3	886,9	1053,4	0,0713	123,54
	Média	1002,6	1188,4	0,0734	125,64

A Figura 7 apresenta graficamente as médias das tensões de escoamento e as médias dos limites de resistência máxima para cada um dos grupos de três corpos de provas de acordo com as velocidades de deformação. Para esta análise, nota-se uma maior variação de resultados com a velocidade de 500 mm/min podendo esta ser crítica para ensaios com esse material.

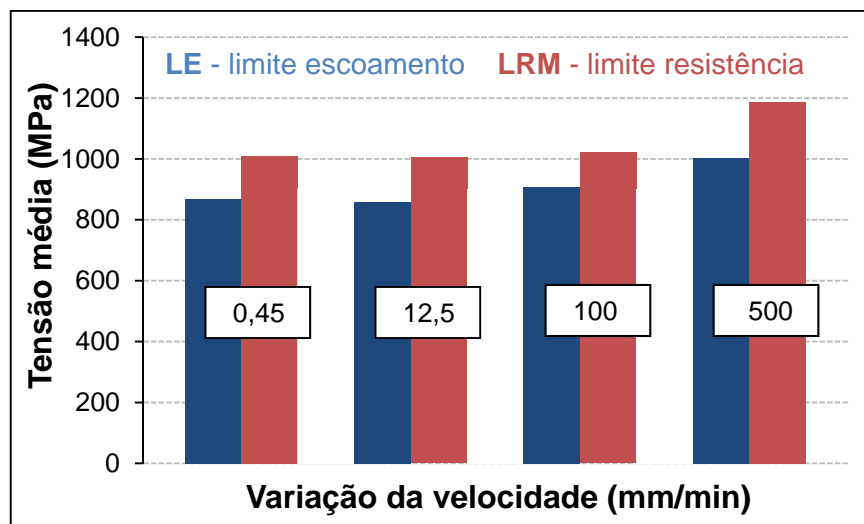


Figura 7. Tensões médias de acordo com as variações de velocidade.

As Figuras 8 e 9 apresentam as médias de limite de escoamento e limite de resistência máxima de acordo com as taxas de deformação dos ensaios. Para estes dados, notam-se maiores valores alcançados para a velocidade de 500 mm/min e, além disso, uma maior variação entre os dados obtidos para os três CPs mostrada através do maior desvio padrão.

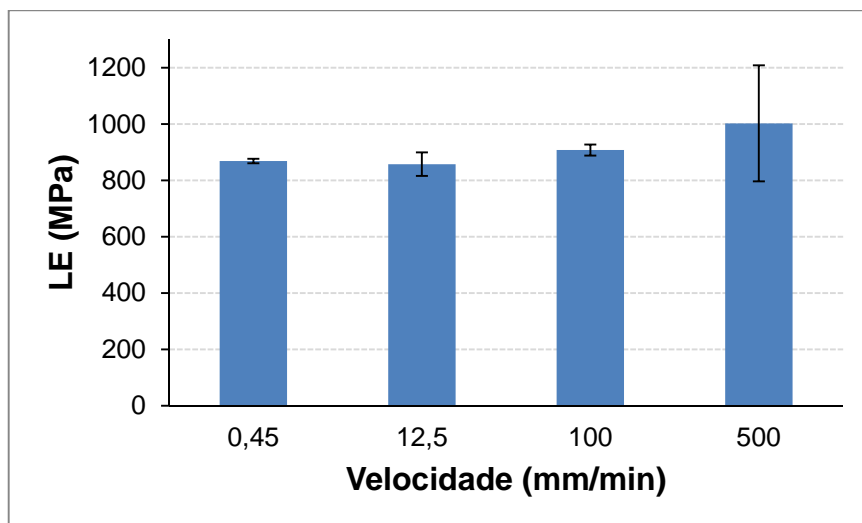


Figura 8. Limite de escoamento e desvios padrão de acordo com as variações de velocidade.

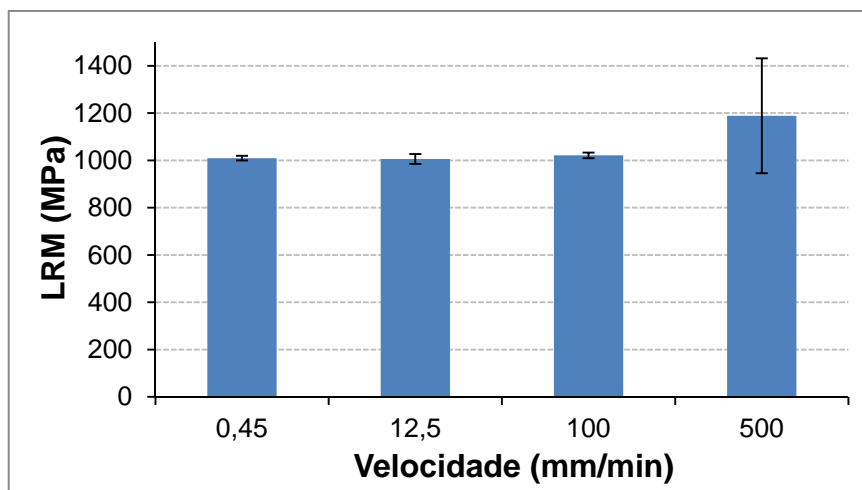


Figura 9. Limite de resistência máxima e desvios padrão de acordo com as variações de velocidade.

4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados alcançados, conclui-se:

- A taxa de deformação pode alterar significativamente os resultados do ensaio de tração e como consequência também pode modificar as propriedades do material. Neste estudo, este fato é percebido principalmente com relação à velocidade de deformação de 500 mm/min onde os corpos de prova apresentaram maiores valores de tensão de escoamento e resistência máxima. Por outro lado um aumento da velocidade de ensaio resultou em um decréscimo da tenacidade e vice-versa.

REFERÊNCIAS

- 1 GARCIA, A.; SPIM, J. A.; DOS SANTOS, C. A. Ensaios dos Materiais. 2 ed. Rio de Janeiro. 2012.
- 2 KVAČKAJ, T. et al. Influence of strain rate on ultimate tensile stress of coarse-grained and ultrafine-grained copper. Materials Letters. 2010.
- 3 LUO, J.; LI, M.; YU, W.; LI, H. The Variation Of Strain Rate Sensitivity Exponent And Strain Hardening Exponent In Isothermal Compression Of Ti-6Al-4V Alloy. Materials And Design. 2010.

- 4 BOYCE, B. L.; DILMORE, M.F. The dynamic tensile behavior of tough, ultrahigh-strength steels at strain-rates from 0.0002 s⁻¹ to 200 s⁻¹. International Journal of Impact Engineering. 2008.
- 5 SOUZA, S. A. Ensaios Mecânicos de Materiais Metálicos – Fundamentos teóricos e práticos. 1982.
- 6 DIETER, G., Metalurgia Mecânica, Guanabara Dois, Rio de Janeiro. 1981.
- 7 ISO 6892-1. Metallic materials - Tensile testing - Part 1: Method of test at room temperature. 2009
- 8 ASTM E8/EM8. Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials.
- 9 CAMPONOGARA, E. Integração numérica: Introdução, regra dos retângulos e regra do trapézio. Disponível em: <<http://www.das.ufsc.br/~camponog/Disciplinas/DAS-5103/Slides/l20-numint-intro.pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2013.
- 10 Universidade de São Paulo (USP). Notas de aula de cálculo numérico: Integração numérica. Disponível em <<http://www.alunos.eel.usp.br/numerico/notasDeAula/integracao.pdf>>. Acesso em: 02 jan. 2013.