UTILIZAÇÃO DO MÉTODO ULTRASSÔNICO DA TRANSPARÊNCIA PARA AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES ELÁSTICAS E MECÂNICAS DO AÇO 1020

Mikaella Pricila Alves Dias[1]
Álvaro Barbosa de Carvalho Júnior[2]
Maurílio José Inácio[3]
Ana Caroline Nery Munõz Carvalho[4]
Maria Helena Teles Lopes[5]
Stéphanie Oliveira Nina Rocha[6]
mikaellapricila@gmail.com

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo propor um método para caracterizar as propriedades elásticas e mecânicas do aço carbono SAE 1020 normalizado por meio da técnica ultrassônica. Analisando alguns parâmetros físicos como a densidade e as velocidades ultrassônicas de modo transversal e longitudinal do aço 1020 foi possível estimar algumas propriedades, tais como, os módulos de elasticidade, cisalhamento, compressibilidade, coeficiente de Poisson, dureza e limite de resistência à tração. Os resultados obtidos indicaram a possibilidade de caracterização das propriedades elásticas e mecânicas do aço 1020. Os resultados obtidos foram comparados com valores de referência da literatura, atestando a viabilidade do método.

Palavras-chave: ensaio não destrutivo, ultrassom, aço

2 ABSTRACT

The aim of this work to propose a method to characterize the elastic and mechanical properties of the normalized SAE 1020 carbon steel by means of the ultrasonic technique. Analyzing some physical parameters, such as density and the longitudinal

and transverse velocities of 1020 steel, it was possible to estimate some properties, such as the Young's modulus, shear, bulk, Poisson's ratio, hardness and the tensile strength. The results obtained indicated the possibility of characterizing the elastic and mechanical properties of the 1020 steel. The results obtained was compared with reference values published by literature attesting the viability of the method.
Keywords: non-destructive testing, ultrasonic, steel.

3 INTRODUÇÃO

Os ensaios não destrutivos (END's) tais como, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, gamagrafia e ensaio por ultrassom são técnicas capazes de inspecionar um material sem a necessidade de destruí-lo ou danificá-lo. Em geral, os END's são utilizados para verificar a condição de integridade dos materiais, o que envolve a detecção de descontinuidades ou falhas que possam comprometer o funcionamento do produto. Uma vez detectadas, as falhas podem ser caracterizadas em relação à localização, tamanho, orientação, forma e natureza (KRAUTKRAMER e KRAUTKRAMER, 1990).

Os testes não destrutivos também podem ser utilizados para caracterizar as propriedades elásticas dos materiais, sendo o ensaio por ultrassom uma das técnicas mais conhecidas (MURARU, 2006; GARCIA, SPIM e SANTOS, 2014). Esse fato está associado à possibilidade de relacionar os módulos das velocidades de propagação das ondas ultrassônicas com algumas propriedades físicas e mecânicas dos materiais, tais como os módulos de elasticidade, cisalhamento e compressibilidade, o coeficiente de Poisson, a impedância acústica, o fator de anisotropia e a dureza (KRAUTKRAMER e KRAUTKRAMER, 1990; RODRÍGUEZ-SASTRE e CALLEJA, 2006; YAMAGISHI et al., 2010; GINZEL e TURNBULL, 2016).

Na indústria metalúrgica, as velocidades de ondas ultrassônicas e medidas de densidade podem ser utilizadas para estimativas de propriedades das ligas de aço, alumínio e magnésio, entre outras, sendo encontrados valores muito próximos daqueles obtidos por meio dos ensaios destrutivos de tração e dureza Brinell (YAMAGISHI et al., 2010; FONSECA e REGULY, 2011; GARCIA, SPIM e SANTOS, 2014).

Com o avanço da instrumentação eletrônica, dispositivos de baixo custo em relação aos equipamentos industriais, podem ser desenvolvidos para o estudo das propriedades elásticas de ligas metálicas. Além disso, esses equipamentos têm

demonstrado alto grau de confiabilidade das medidas (CARVALHO, 2020). Entre os métodos ultrassônicos para caracterização e inspeção de materiais metálicos destacam-se os métodos de pulso-eco e da transparência (KRAUTKRAMER e KRAUTKRAMER, 1990; ANDREUCCI, 2013). O método de pulso-eco utiliza um único transdutor, capaz de gerar e receber ondas ultrassônicas através do material. Já na técnica da transparência são utilizados dois transdutores separados, posicionados nas faces opostas do material, sendo um deles responsável por gerar e o outro de captar as velocidades das ondas ultrassônicas (KRAUTKRAMER e KRAUTKRAMER, 1990; ANDREUCCI, 2013).

Com base nos aspectos apresentados, este trabalho buscou caracterizar propriedades elásticas e mecânicas do aço 1020 por meio das velocidades de propagação de ondas ultrassônicas, obtidas com o método da transparência. Para isso, foram avaliados os valores dos módulos de elasticidade, cisalhamento e compressibilidade, além do coeficiente de Poisson, dureza e limite de resistência à tração do aço 1020 normalizado. As propriedades estimadas por meio das medidas de velocidades ultrassônicas foram comparadas com os valores de referências relatados na literatura.

4 METODOLOGIA

4.1 Aquisição e características da amostra de aço 1020

Para a realização deste estudo foi utilizada uma barra de aço ABNT/SAE 1020 na condição normalizada, procedente da empresa Gerdau Brasil, a qual foi adquirida comercialmente. A barra de aço 1020 investigada neste trabalho possui dimensões aproximadas de 18,76 mm de diâmetro e 201,59 mm de comprimento.

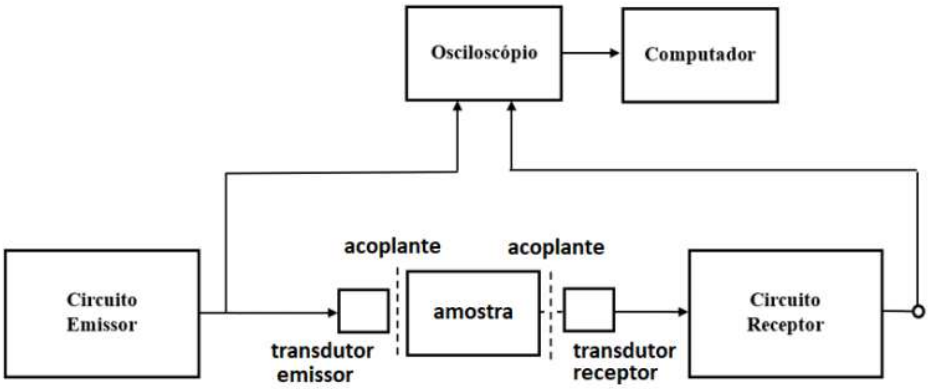
A densidade (ρ) da barra de aço 1020 foi calculada de acordo com a Equação (1), que consiste na razão entre a massa (m) e o volume (V). A massa da barra foi aferida com uma balança digital, sendo seu valor aproximado de 0,438 kg.

$$\rho = \frac{m}{V} \ (kg/m^3) \qquad (1)$$

4.2 Cálculo das velocidades ultrassônicas

Para calcular as velocidades de ondas ultrassônicas que se propagam através da barra de aço 1020, foram inicialmente medidos os tempos de percurso das ondas longitudinais com o método da transparência proposto por Carvalho (2020). A Figura 1 apresenta o diagrama de blocos do sistema eletrônico utilizado.

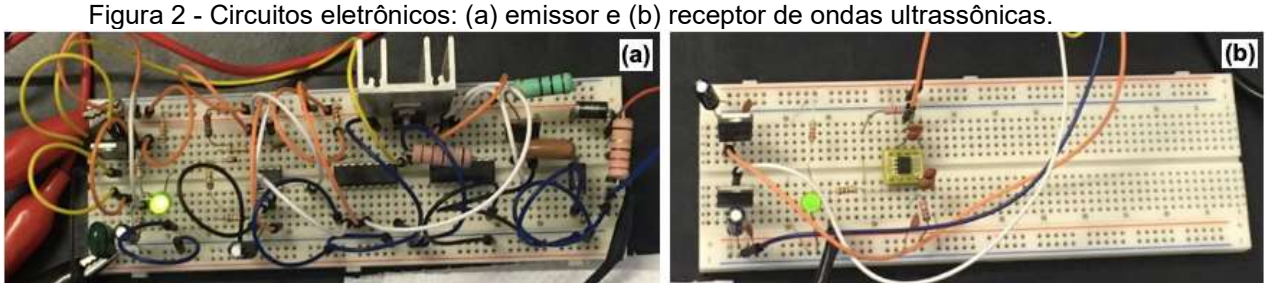
Figura 1 - Diagrama de blocos do sistema eletrônico utilizado.



Fonte: Carvalho (2020).

Os circuitos emissor e receptor foram alimentados por fontes de alimentação simétrica de 30 V e 12 V, respectivamente. O circuito emissor produziu pulsos com amplitude de 60 V e duração de 400 ηs, em intervalos de tempo iguais a 5 ms. Esses pulsos foram produzidos com um transdutor piezoelétrico de ondas longitudinais, modelo AW190, de frequência 2 MHz e 2 cm de diâmetro efetivo. O sinal captado por outro transdutor piezoelétrico, do mesmo modelo, foi amplificado pelo circuito receptor e fornecido em uma saída para medição com o osciloscópio. A Figura 2 apresenta uma imagem da montagem dos circuitos eletrônicos emissor e receptor utilizados neste estudo.

Figura 2 - Circuitos eletrônicos: (a) emissor e (b) receptor de ondas ultrassônicas.



Fonte: Autoria própria.

A Figura 3 apresenta os transdutores emissor e receptor alinhados nas extremidades da barra de aço 1020. As extremidades da barra foram previamente

polidas com lã de aço e detergente. No experimento realizado, o material acoplante utilizado entre os transdutores e a barra foi a vaselina em pasta.

Figura 3 - Emissão e recepção da onda ultrassônica através da barra de aço 1020.

Fonte: Autoria própria.

A medição dos sinais fornecidos na saída foi realizada por meio de um osciloscópio digital da marca Tektronix, modelo TBS1062. A medida da diferença de tempo em microssegundos (µs) entre a onda ultrassônica emitida e recebida através da barra foi determinada na tela do osciloscópio, conforme mostra a Figura 4.

Figura 4 - Tempo de emissão e recepção da onda ultrassônica através da barra.

Fonte: Autoria própria.

A Equação (2) apresenta a expressão utilizada para a estimativa da velocidade média de propagação da onda longitudinal (VL). Neste estudo, foi adotado o valor médio da velocidade longitudinal, calculado a partir de três medidas obtidas com a remoção e o reposicionamento dos transdutores nas extremidades da amostra.

$$V_L = \frac{c}{t} \ (m/s) \qquad (2)$$

onde: c = comprimento da amostra (m), t = tempo (s).

Depois de obtido o valor da velocidade longitudinal foi realizada a estimativa da velocidade de onda ultrassônica transversal (V_T) por meio da Equação (3), que demonstra a relação VT/VL descrita por Olympus (2019) e Gur e Keles (2003) para o aço 1020.

$$V_T = 0{,}55 \cdot V_L \ (m/s) \tag{3}$$

4.3 Estimativa das propriedades elásticas do aço 1020

A Tabela 1 sumariza as equações utilizadas para a estimativa das propriedades elásticas que foram analisadas no presente estudo a partir do valor de densidade (ρ) e das velocidades ultrassônicas de modo longitudinal (VL) e transversal (VT).

Tabela 1 - Propriedades elásticas dos materiais em função de V_L, V_T e ρ.

Propriedades em GPa	
Módulo de cisalhamento	$G = \rho V_T^2$
Coeficiente de Poisson	$v = (V_L^2 - 2V_T^2)/2(V_L^2 - V_T^2)$
Módulo de elasticidade	$E = \rho V_T^2(3V_L^2 - 4V_T^2)/(V_L^2 - V_T^2))$
Módulo de compressibilidade	$K = \rho((3V_L^2 - 4V_T^2)/3)$

Fonte: CARVAJAL *et al.* (2017); BOWRON (1996); HWA *et al.* (2004).

4.4 Estimativa das propriedades mecânicas do aço 1020

Para a estimativa do Limite de Resistência à Tração (LRT) foi utilizada a Equação (4), relatada por Fonseca e Reguly (2011), que avaliam em seu estudo as propriedades mecânicas de aços com baixo teor de carbono a partir de técnicas de medição por ultrassom. De acordo com essa equação, o valor de LRT pode ser descrito em função da velocidade ultrassônica longitudinal (VL).

$$LRT = -7171{,}1 + 1{,}3V_L \tag{4}$$

De maneira geral, a dureza Brinell (HB) dos aços carbono pode ser estimada a partir do valor de LRT (em MPa), segundo a Equação (5) (CALLISTER JR e RETHWISCH, 2012):

$$HB = \frac{LRT}{3,45} \quad (5)$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Medida de densidade do aço 1020

O valor obtido para a densidade da barra foi de 7860,49 kg/m3 e está de acordo com o valor médio relatado na literatura para o aço 1020, que é de 7860 kgf/m3, conforme encontra-se relatado em Handbook of Engineering Practice of Materials and Corrosion na pág. 329 (EUN, 2020).

5.2 Determinação das velocidades ultrassônicas

Os valores médios encontrados para VL = 5860,70 m/s e VT = 3223,39 m/s estão próximos daqueles relatado na literatura por Gur e Keles (2003). Esses autores sugerem valores de VL = 5899 m/s e VT = 3237 m/s para o aço 1020, vale ressaltar que a condição de tratamento térmico do aço é desconhecida.

5.3 Propriedades elásticas da amostra

O módulo de elasticidade transversal, também denominado módulo de cisalhamento (G), é um parâmetro muito importante para a análise das propriedades elásticas de materiais solicitados mecanicamente pela seção transversal. Freitas et al. (2010) demonstram em sua pesquisa a utilização ondas ultrassônicas de modo longitudinal e transversal para determinação do módulo de cisalhamento (G) em diferentes aços. Como resultado, os autores encontraram um valor de G = 82,10 GPa para o aço 1020, estando muito próximo do valor G = 81,68 GPa calculado no presente estudo.

O coeficiente de Poisson (v) é um parâmetro calculado nos materiais isotrópicos e estabelece uma relação entre as deformações longitudinais e transversais. Callister JR e Rethwisch (2012) afirmam que o coeficiente de Poisson para a maioria dos aços assume valores próximos a v = 0,30. Desta forma, percebe-se que o valor de v = 0,28

calculado nesse estudo para o aço 1020 está de acordo com o esperado para a maioria dos aços.

O módulo de elasticidade (E), também conhecido como módulo de Young, permite estabelecer uma relação entre tensão e a deformação dos materiais metálicos, quando são submetidos ao ensaio de tração. Conforme descrito por Kang e Zhong-ci (1996), o módulo de elasticidade para os aços é de aproximadamente 200 GPa. Freitas et al. (2010) encontraram com ondas ultrassônicas valores variando entre 210,98 a 212,01 GPa para o aço 1020. No presente estudo, o resultado obtido foi de E= 209,62 GPa.

O módulo de compressibilidade volumétrica (K) representa a rigidez à deformação volumétrica do material. Dados publicados no Website da mydatabook.org (http://www.mydatabook.org/solid-mechanics/bulk-modulus/) mostram que o valor do módulo (K) dos aços pode variar de 138 GPa a 179 GPa. No presente estudo, foi encontrado para o aço 1020 normalizado o valor de K=161,11 GPa.

5.4 Propriedades mecânicas da amostra

O Limite de Resistência à Tração (LRT) é uma importante propriedade mecânica que permite identificar o maior valor de tensão que o material irá suportar, quando submetido ao ensaio de tração. Segundo a Gerdau Brasil (2003), o aço 1020 normalizado apresenta aproximadamente um valor de LRT= 440 MPa, sendo este muito próximo ao valor de LRT = 447,82 MPa encontrado no presente estudo para o aço 1020.

Os conceitos dureza são amplamente utilizados para fornecer dados relacionados à resistência deformação plástica do material. De acordo com dados da empresa Gerdau Brasil (2003), o aço 1020 possui um valor de HB = 131, sendo este resultado muito próximo do valor calculado de HB = 129,81 para o aço 1020 investigado nesse trabalho.

6 CONCLUSÕES

Os resultados preliminares desta pesquisa permitiram concluir que a utilização do método ultrassônico da transparência foi adequado para a determinação de algumas propriedades elásticas e mecânicas do aço 1020 normalizado. Os resultados calculados

das constantes elásticas, módulo de elasticidade, compressibilidade, cisalhamento e coeficiente de Poisson, foram próximos daqueles relatados por outros trabalhos, em que foram avaliadas previamente as características do aço 1020.

A metodologia proposta conduz a uma estimativa rápida das propriedades mecânicas LRT e HB, demonstrando a possibilidade estimar outras propriedades em função das ondas ultrassônicas, tais como, a tensão de escoamento e a resiliência do aço 1020. Entretanto, ainda é necessária a realização de uma revisão bibliográfica mais aprofundada para encontrar relações matemáticas que corroborem o sucesso dessa hipótese.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREUCCI, R. **Ensaio por ultrassom**. São Paulo: Abendi, 2013.

BOWRON, D. T. **X-ray diffraction studies of rare-earth metaphosphate glasses**. J. Phys, v.8, p. 3337-3346, 1996.

CALLISTER JR, W. D. RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais**: Uma introdução. 8º ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

CARVAJAL, L. *et al*. **Monitoring heat treatments in steels by a non destructive ultrasonic method**. Esteira. Res., São Carlos, v. 20, supl. 2, p. 347-352, 2017.

CARVALHO, A. C. N. M. **Estimativa das propriedades elásticas de ligas metálicas não ferrosas por meio do método ultrassônico da transparência**. Universidade Estadual de Montes Claros - UNIMONTES, Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional e Sistemas/PPGMCS, 2020.

EUN, T. J. **Handbook of engineering practice of materials and corrosion.** 1° ed. Houston USA: Springer, 2020.

FONSECA, E; REGULY, A. The use of the ultrasound measurement technique for the evaluation of mechanical properties of the ASTM A36 steels. **J. of the Braz. Soc. of Mech**. Sci. & Eng, vol. 33, n. 2, 2011.

FREITAS, V. L. A. *et al*. Nondestructive characterization of microstructures and determination of elastic properties in plain carbon steel using ultrasonic measurements. **Mater**. Sci. Eng. A , vol. 527, p. 4431–4437, 2010.

GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. D. **Ensaio dos materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

GERDAU. **Manual de aços**: aços planos e suas aplicações. 2003. Disponível em: https://www2.gerdau.com.br/catalogos-e-manuais. Acesso em: 03 de outubro de 2020.

GINZEL, E.; TURNBULL, B. Determining approximate acoustic properties of materials. **E-Journal of Nondestructive Testing (NDT)**, 2016.

GUR, H. KELES, Y. Ultrasonic characterisation of hot-rolled and heat-treated plain carbon steels. **Insight – J British Inst of NDT**, v. 45, p. 615-620, 2003.

HWA, L. G. *et al*. **Elastic properties of lanthanum aluminosilicate glasses**. Materials Research Bulletin, v.39, p. 33-40, 2004.

KANG, F.; ZHONG-CI, S. **Mathematical theory of elastic structures**. Berlin: Springer Verlag Berlin Heidelberg, 1996.

KRAUTKRAMER, J.; KRAUTKRAMER, H. **Ultrasonic Testing of Materials**. 4° ed. Berlin: Springer- Verlag, 1990.

MATWEB. **Material property data**, 2021. Disponível em: http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=10b74ebc27344380ab16b1b69f1cffbb&ckck=1. Acesso em: 10 de fevereiro de 2021.

MURARU, L. Ultrasound action on strength properties of polycrystalline metals. **The Annals of University of Galati**, Fascicle VIII, Romania, p. 73-76, 2006.

OLYMPUS. **Ultrasonic transducers technical notes**, 2019. Disponível em: https://www.olympus-ims.com/pt/resources/white-papers/ultrasonic-transducer-technical-notes/. Acesso em: 10 de março de 2021.

RODRÍGUEZ-SASTRE, M. A.; CALLEJA, L. The determination of elastic modulus of slates from ultrasonic velocity measurements. **IAEG-The Geological Society of London 2006**, n. 775, 2006.

YAMAGISHI, H. *et al*. Determination of the mechanical properties of extruded pure magnesium during tension–tension low-cycle fatigue using ultrasonic testing. **Materials Transactions**, v. 51, n. 11, p. 2025 – 2032, 2010.