

DETERMINAÇÃO DAS VELOCIDADES DE PROPAGAÇÃO LONGITUDINAL E TRANSVERSAL DO SINAL ULTRASSÔNICO EM DIFERENTES TIPOS DE AÇO

Thiago FERREIRA (1); Cláudia Teresa FARIAS (2); Irineu MENEZES (3); Danilo ALVES (4); Igor RIBEIRO (5); Eduardo SIMAS FILHO (6); Raimundo PARANHOS(7)

(1) IFBA, Rua Emídio dos Santos, s/n, (71) 2102-9423, e-mail: thiagopiresferreira@ifba.edu.br; (2) IFBA, e-mail: cfarias@ifba.edu.br; (3) IFBA, e-mail: irineu.menezes@ifba.edu.br; (4) IFBA, e-mail: daniilo.salves@ifba.edu.br; (5) IFBA, e-mail: igorgr@ifba.edu.br; (6) IFBA, e-mail: esimas@ifba.edu.br; (7) IFBA, e-mail: rparanhos@ifba.edu.br

RESUMO

As técnicas de medição das velocidades ultrassônicas longitudinal e transversal nos materiais são de fundamental importância para a caracterização das propriedades inerentes aos mesmos, tais como a impedância acústica, coeficiente de Poisson, módulo de Young, entre outros fatores relevantes na execução de ensaios de análises estruturais. A dependência entre as modificações microestruturais e as velocidades sônicas requer sistemas precisos de medições das velocidades, capazes de detectar pequenas variações. Neste trabalho foram determinadas as velocidades ultrassônicas longitudinal e transversal no aço carbono 1020 e nos aços inoxidáveis martensítico AISI 420, austenítico AISI 316L e duplex UNS S31803. Técnicas de processamento digital de sinais foram utilizadas visando obter maior precisão na medição do tempo de atraso entre os ecos de fundo dos sinais relativos às ondas longitudinais e transversais. As rotinas computacionais desenvolvidas se basearam na localização dos máximos, dos sinais adquiridos, para um posterior cálculo do tempo de atraso. Para tal, fez-se necessário, a partir de alguns princípios básicos da norma ASTM E494-95, a utilização de um algoritmo baseado em um método estatístico de correlação cruzada.

Palavras-chave: ensaio ultrassônico, processamento digital de sinais, caracterização de materiais, velocidade sônica.

1 INTRODUÇÃO

A aplicação de ensaios não destrutivos, em especial das técnicas ultrassônicas, tem conquistado cada vez mais seu espaço no mercado de avaliação de estruturas, como uma das mais importantes técnicas atualmente utilizadas e tendo utilização para diversos segmentos do conhecimento humano.

Nas indústrias modernas esse tipo de avaliação está atrelado à análise e acompanhamento da integridade física de estruturas. Em primeira instância, a preferência em detrimento de outras técnicas se dá pelo fato de que possui alta sensibilidade na detecção de pequenas descontinuidades internas, além de tornar possível a caracterização de materiais e o fato de existir na literatura muita informação e trabalhos sobre essa técnica. Segundo Andreucci (2006), apesar de haver a necessidade de um grande conhecimento teórico e experiência por parte do inspetor, o processo de captação dos sinais pode ser bastante rápido e de fácil aplicação, além da vasta gama de aplicações que as técnicas ultrassônicas possibilitam.

Dentre as várias maneiras de se inspecionar um material utilizando as técnicas ultrassônicas existe a técnica por contato pulso-eco, que possui como vantagem a simplicidade e a facilidade de inspeção. A técnica consiste apenas no contato entre a peça e o transdutor por meio de um acoplante. O teste pode ser realizado tanto por meio de uma varredura manual ou automatizada (SANTIN, 2003).

Os objetivos de um ensaio ultrassônico podem variar de acordo com a necessidade de quem o faz. Podem ser úteis para, desde uma medição de espessura, até a caracterização de uma grande região da peça, associada a um mapeamento da mesma. Entre as várias utilidades de um ensaio ultrassônico, pode-se determinar uma importante característica inerente aos materiais que são as velocidades sônicas de propagação. As velocidades ultrassônicas, ao serem determinadas, representam um significativo conhecimento de propriedades da peça, que podem ser relacionadas ao direcionamento do grão nos aços, impedância acústica

e as demais constantes elásticas (coeficientes de Poisson, módulo de Young) como referidos em Motta (2009) e Silva (2009).

A análise do tempo de atraso é necessária para que se consigam os valores das velocidades sônicas, para isso é importante a utilização de técnicas de processamentos digitais de sinais capazes de tornar possível tratamento dos dados obtidos e assim obter resultados mais precisos.

Neste trabalho utilizou-se um algoritmo de processamento digital baseado em alguns princípios abordados na norma ASTM E494-95 e utilizando a técnica estatística de correlação cruzada. Posteriormente foi mostrada uma comparação dos dados das velocidades obtidas para com os resultados tabelados na norma referida, assim como uma análise geral dos dados e resultados obtidos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Ondas Ultrassônicas Longitudinais e Transversais

A propagação das ondas ultrassônicas é restrita aos meios elásticos, por meio do deslocamento das partículas atômicas do seu equilíbrio seguido pelas tensões internas que agem para trazê-las de volta ao seu estágio original. O deslocamento definirá o tipo da onda a ser propagada.

As ondas longitudinais, Figura 1(a), são ondas de compressão, cuja propagação se dá pela criação de zonas de compressão e rarefação nas quais as partículas transmitem o movimento através da vibração, para frente e para trás no mesmo sentido do de propagação da onda.

As ondas transversais, Figura 1(b), são ondas cisalhantes, cujos deslocamentos ocorrem na direção perpendicular a direção do movimento. As partículas próximas à superfície são acionadas na direção paralela a esta. Quando o primeiro plano se desloca, ele arrasta pela interação elástica o plano adjacente, e assim por diante, criando vales e cristas nos pontos laterais. Neste caso, os planos das partículas mantêm-se equidistantes, movimentando-se lateralmente com ação cisalhante entre eles.

Santin (2003) relata que a velocidade das ondas transversais é, experimentalmente, aproximadamente 50% da velocidade da onda longitudinal no mesmo meio.

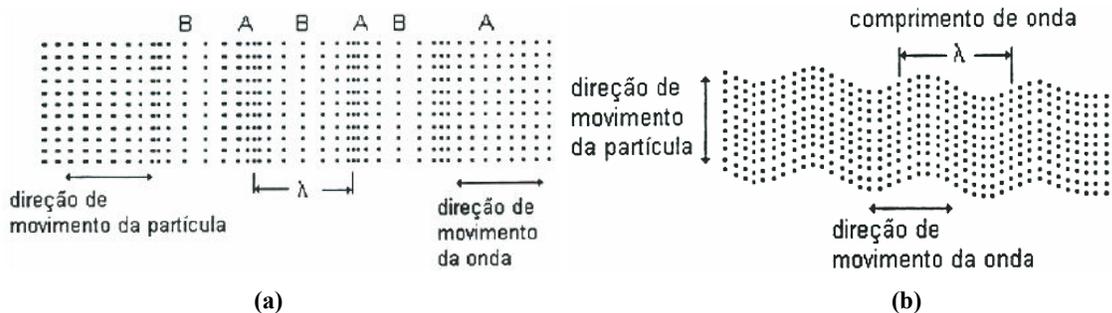


Figura1-Propagação de uma onda (a) longitudinal; (b) transversal (DAMASCENO, 1995).

2.2 Ensaio Ultrassônico Pulso-Eco

O ensaio por ultrassom é um dos ensaios não destrutivos mais importantes, cuja aplicação principal na inspeção de materiais é na detecção e avaliação de descontinuidades internas. O ensaio é utilizado também na detecção de descontinuidades superficiais, medição de espessuras e avaliação de corrosão, além da determinação de propriedades físicas, estrutura, tamanho do grão e constantes elásticas de materiais (SANTIN, 2003).

No ensaio ultrassônico um feixe de onda mecânica percorre o material e ser inspecionado, o sinal, então, vai ser processado e analisado para que se possa identificar suas reflexões nas interfaces do material, sejam nas

descontinuidades internas ou nas bordas. O tempo de percurso da onda em um material sem descontinuidades diz muito a respeito desse material, quando é conhecida a espessura é possível obter o valor da velocidade da onda, que possibilita conseqüentemente a obtenção de propriedades interessantes como a impedância acústica, coeficiente de Poisson, módulo de Young, entre outros fatores que têm relevante importância na execução de ensaios de análises estruturais.

Na técnica pulso-eco com transdutor único, utilizada nesse tipo de ensaio, pulsos de energia sônica são emitidos e são introduzidos no material em intervalos regulares de tempo, sendo utilizado um acoplante para melhorar a transmissão sônica, selecionado em função da rugosidade superficial do material e do tipo de onda que se deseja transmitir. Caso haja uma superfície refletora, parte ou toda a energia desse pulso retorna ao mesmo transdutor emissor, que converte as vibrações mecânicas em energia elétrica que se transforma no sinal a ser analisado (SANTIN, 2003; ANDREUCCI, 2006).

2.3 Aço carbono e aços inoxidáveis

Os aços podem ser classificados por designação normativa, quanto ao processamento, microestrutura, composição química, propriedades e aplicações. Quanto à composição química se classificam os aços carbono, que contemplam a maior quantidade de aço consumida, devido ao baixo custo e a variedade de propriedades que se pode obter variando o teor de carbono.

O aço carbono 1020 possui baixo teor de carbono, 0,2%, sendo de fácil usinabilidade, alta tenacidade baixa dureza e baixo custo, além de não aceitar têmpera nem beneficiamento

Dentre os aços classificados quanto as suas propriedades estão os aços inoxidáveis, que são ligas ferrosas de baixo carbono que apresentam um mínimo de 12% de cromo em sua composição. A inserção do cromo acarreta a formação de uma película muito fina de óxido de Cromo na superfície do aço, que é impermeável e insolúvel nos meios corrosivos usuais. Além da presença de cromo, outros elementos de liga podem estar presentes na constituição dos aços com finalidades específicas, tais como níquel, molibdênio, cobre, silício, alumínio, titânio e nióbio (COSTA E SILVA, 1988).

Os aços inoxidáveis são classificados em cinco subgrupos que levam em consideração a microestrutura básica formada: aços inoxidáveis ferríticos, austeníticos, martensíticos, endurecíveis por precipitação, e duplex.

O aço martensítico AISI 420 é muito utilizado em aplicações que demandem a combinação entre elevada resistência mecânica com alta resistência a corrosão, como por exemplo, cutelaria, instrumentação cirúrgica e dentária, réguas, medidores, eixos, pinos rolamentos de esfera, bolas de milho e disco de freio. A alta resistência a corrosão é oriunda do fato da constituição de cromo dissolvido ser de 12 a 14% (ASM 1994). Para obtenção das propriedades desejadas, deve-se realizar o tratamento térmico, têmpera, para obtenção da martensita e em seguida deve-se realizar o revenido para alívio de tensões no material e para adequar o nível de dureza e tenacidade às condições exigidas no projeto.

Segundo Costa e Silva (1988) os aços inoxidáveis austeníticos são muito resistentes a corrosão ambiente. No caso do 316L, há a adição de Molibdênio acima de 2% e redução do teor de carbono para diminuir o efeito de sensibilização. Possui como aplicação industrial a utilização em peças de válvulas, bombas, tanques, evaporadores e agitadores, equipamentos têxteis, condensadores, peças expostas à atmosfera marítima; adornos, tanques soldados para estocagem de produtos químicos orgânicos, bandejas e revestimento para fornos de calcinação.

O aço inoxidável duplex (AID) vem conquistando cada vez mais espaço no setor petroquímico justamente por possuir qualidades dos aços austeníticos e ferríticos. Atribuem as altas resistências à corrosão e mecânica à sua microestrutura balanceada em aproximadamente 50% de ferrita e 50% de austenita. A resistência a corrosão dos aços duplex é similar a dos austeníticos, embora possuam melhor resistência a tração e escoamento. São bastante requisitados nos meios de solda, por possuírem menores chances de ocorrência de trincas do que os austeníticos.

2.4 Determinações do tempo de atraso

A determinação da velocidade de propagação, em especial, faz parte de uma área de estudo chamada velocimetria e está baseada no cálculo do tempo de propagação (ou atraso) da onda. Este estudo tem sido bastante discutido nos últimos 40 anos pelo fato de que com a determinação do tempo de atraso é possível se inferir uma série de propriedades dos materiais (VIOLA, 2003).

Na ilustração abaixo é possível observar que o sinal ultrassônico é emitido pelo transdutor seguindo para a peça. Observa-se que parte da energia é refletida, gerando o sinal *a*, e parte adentra no corpo de prova. Em uma espessura *d* da peça nota-se que parte da energia novamente é refletida, que irá gerar o sinal *b*, assim como parte irá sofrer novas reflexões nas interfaces e gerar outros sinais. O tempo de atraso (tempo de vôo), quando se trabalha com sinais pulsados, é definido como a diferença de tempo entre a transmissão de uma onda e o primeiro eco recebido, ou mesmo entre dois ecos, como foi percebido na Figura 2 (MARTINHON, 2007; SANTIN, 2003).

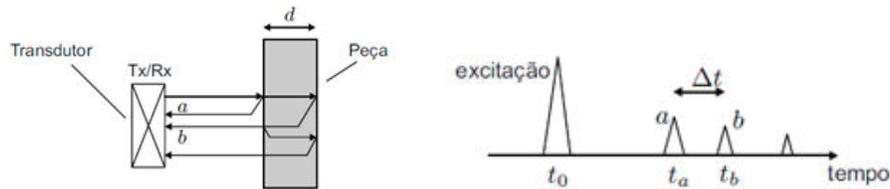


Figura 2- Medição do tempo de atraso do sinal ultrassônico. (MARTINHON, 2007)

A relação que determina a velocidade de propagação das ondas ultrassônicas pode ser definida pela Equação 01, conforme norma ASTM E494-95:

$$c = \frac{2d}{\Delta t} \quad [\text{Eq. 01}]$$

Sendo $\Delta t = t_b - t_a$ que representa o tempo necessário da onda percorrer $2d$ de espessura.

A determinação das velocidades sônicas dos materiais proporcionou um importante avanço no surgimento de técnicas para aumentar a precisão dos resultados. Para tal, a literatura mostra diversas técnicas, desde analógicas, como detecção de pico e por limiar até técnicas de processamento digitais envolvendo métodos matemáticos e estatísticos como correlação cruzada (normalizada ou não normalizada), covariância Transformada de Hilbert entre outros algoritmos baseados na Transformada Rápida de Fourier (FFT) (VIOLA, 2003; WALKER, 2003).

2.5 Correlação Cruzada

Diante dos vários métodos utilizados para a determinação do tempo de atraso, Viola e Walker (2003) ressaltam que os métodos de correlação e covariância normalizada apresentam vantagens da determinação do atraso em diversas condições de pulso (frequência, largura de banda, relação sinal - ruído, entre outros).

A correlação cruzada é um método matemático que verifica o grau de similaridade entre dois sinais. Comparando com os métodos convencionais, possui maior complexidade, já que envolve os sinais de eco por completo, contudo, melhora significativamente a estimação do tempo entre eles (ADAMOWSKI et al. 1995). Quando os sinais não são idênticos, a escolha dos pontos de referência para obtenção do tempo decorrido entre dois sinais deixa de ser trivial, comprometendo a correção dos resultados do método. Bittencourt (2003) fez uso da correlação cruzada a fim de aumentar a precisão do cálculo do atraso entre os pulsos ultrassônicos obtidos em cada ensaio. Quando a correlação cruzada é aplicada, dois sinais são multiplicados e somados ponto a ponto, permitindo a obtenção do atraso entre os mesmos (BITTENCOURT, 2003). Para o cálculo da correlação das variáveis aleatórias centralizadas, ou seja, a covariância dos sinais $X - \mu_x$ e $Y - \mu_y$ utiliza-se a Equação 2:

$$\text{cov}[XY]=E[(X - \mu_x)(Y - \mu_y)] \quad [\text{Eq. 02}]$$

Tendo que a esperança matemática é dada pela Equação 3:

$$E[X] = \sum_{i=1}^{\infty} x_i P_X(x_i) \quad [\text{Eq. 03}]$$

Seja x_i uma variável discreta aleatória. A avaliação do tempo de atraso do sinal adquirido no osciloscópio é feita através da correlação cruzada. Este método diminui possíveis erros provenientes da localização de um ponto de referência entre dois ecos consecutivos em uma análise visual passível de erro devido a dificuldades de localização da referência ou pela baixa precisão da sua localização devido a existência de ruídos no sinal (LAMY, 2002).

3 METODOLOGIA

3.1 Equipamentos utilizados e inspeção

Para a análise das variações de tempo de percurso dos sinais ao longo da espessura do material utilizou-se a técnica ultrassônica pulso-eco, utilizando-se mel como acoplante. O sinal adquirido corresponde a uma sucessão de ecos provenientes das reflexões com as interfaces que o sinal encontra em seu percurso e que retornará ao osciloscópio para então ser arquivado e posteriormente processado para se descobrir em que pontos as reflexões ocorreram e calcular o tempo de percurso relativo.

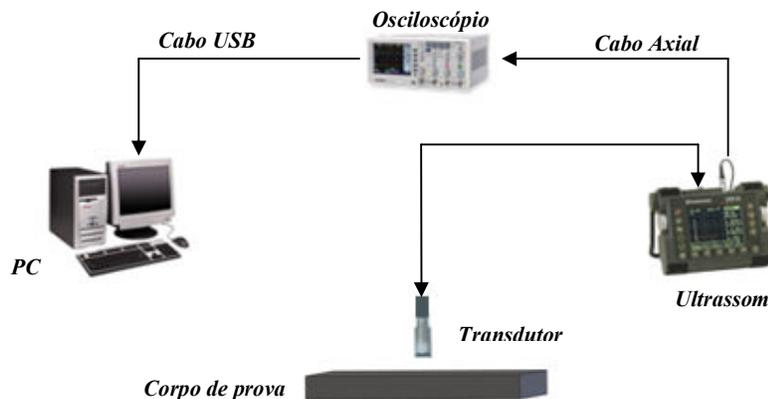


Figura 3 – Representação Esquemática do Sistema de Aquisição do Sinal Ultrassônico

O sistema ultrassônico montado para aquisição dos sinais relativos aos aços analisados é composto por um aparelho de ultrassom convencional da Krautkrämer®, modelo USM25, que funcionou como gerador de pulsos. Os pulsos gerados passam por um osciloscópio analógico (Tektronix TDS 2024B) e são enviados aos transdutores (emissor/receptor) transversal da Panametrics-NTD™, modelo V154 de frequência 2.25MHz/12,7mm e longitudinal da Krautkrämer®, modelo MB4S 57749 de frequência 4MHz/Ø10mm para determinação das velocidades transversais e longitudinais respectivamente. O sinal ultrassônico é transmitido ao material e seu eco retorna ao osciloscópio. O sistema estava ligado a um microcomputador para captação e armazenamento do sinal do osciloscópio para permitir seu processamento. Dessa forma, a determinação das medidas de tempo pode ser realizada com grande precisão quando comparado a uma visualização diretamente da tela do osciloscópio.

3.2 Corpos de prova

Foram utilizados quatro corpos de provas: Aço Carbono SAE 1020 e aços inoxidáveis Martensítico AISI 420, Austenítico AISI 316L e Duplex UNS S31803. Em todos os aços, nas regiões inspecionadas suas superfícies foram devidamente lixadas para que fosse removida qualquer forma de oxidação aparente na

região a ser analisada. Os corpos de provas citados tiveram dimensões de inspeção de 25x25mm com espessuras e composições conforme mostrado na Tabela 1:

Tabela 1 – Espessura e composição química (%) mássica dos aços analisados.

Corpos de Prova	Espessura (mm)	C	Mn	Si	P	N	S	Cr	Ni	Mo
Aço Carbono SAE 1020	24,45 ± 0,005	0.18 – 0.23	0.30 – 0.60	-	-	-	0.30 – 0.60	0.040	0.050	-
Aço Duplex UNS S31803	27,48 ± 0,005	0,014	1,39	0,41	0,022	0,185	0,0003	22,23	5,8	3,08
Aço Austenítico AISI 316L	26,48 ± 0,005	0,030	2,00	1,00	0,045	-	0,030	16,00 - 18,00	10,00 – 14,00	2,00/3,00
Aço Martensítico AISI 420	24,85 ± 0,005	0,15	1,00	1,00	0,040	-	0,030	12,00 - 14,00	-	-

3.3 Processamentos digitais dos sinais ultrassônicos

Foram utilizadas técnicas de processamento digital de sinais para se obter uma melhor precisão nos valores respectivos às velocidades ultrassônicas de propagação nos aços inspecionados. Para tal análise foi desenvolvida uma rotina em ambiente computacional cujo princípio se fundamentou na localização dos pontos de amplitude máxima dos cinco primeiros ecos, conforme a norma ASTM E494-95. Calculou-se, então, o atraso entre cada eco correspondente ao tempo de percurso que as ondas ultrassônicas longitudinal e transversal em cada corpo de prova. O algoritmo foi baseado no método estatístico de correlação cruzada. Do sinal adquirido foram utilizados os cinco primeiros ecos agrupando-os para o processamento cada dois ecos. A cada sinal enquadrado o primeiro eco foi selecionado para realizar a correlação entre ele e o sinal da janela composta pelos dois ecos correspondentes, mantendo-se a mesma dimensão de pontos em ambos os sinais. O resultado nos mostrou um sinal com uma melhor precisão da localização dos picos dos ecos analisados.

3.4 Determinação das velocidades sônicas

Na região determinada para a inspeção foi possível a captação de sinais em nove pontos distintos e que em cada ponto foram realizadas nove aquisições. Sabendo o tempo de atraso com as respectivas espessuras dos aços, pode-se obter as velocidades sônicas através da equação 1. Portanto, analisando cada dois ecos obtivemos nove valores tanto para velocidades longitudinais quanto transversais. Para cada aço analisado determinou-se um total de 324 valores de velocidades e logo em seguida foi calculada a sua média amostral, juntamente com seus respectivos desvios.

4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS.

O processamento digital de sinais nos forneceu uma serie de dados necessários para que fosse possível a análise mais precisa das velocidades sônicas dos aços estudados. A rotina computacional permitiu normalizar o sinal dividindo-o pela máxima amplitude absoluta como mostrado na Figura 5(a). O processo computacional da correlação cruzada pode então ser feito a partir dos dados fornecidos como mostrado na Figura 5(b) e (c).

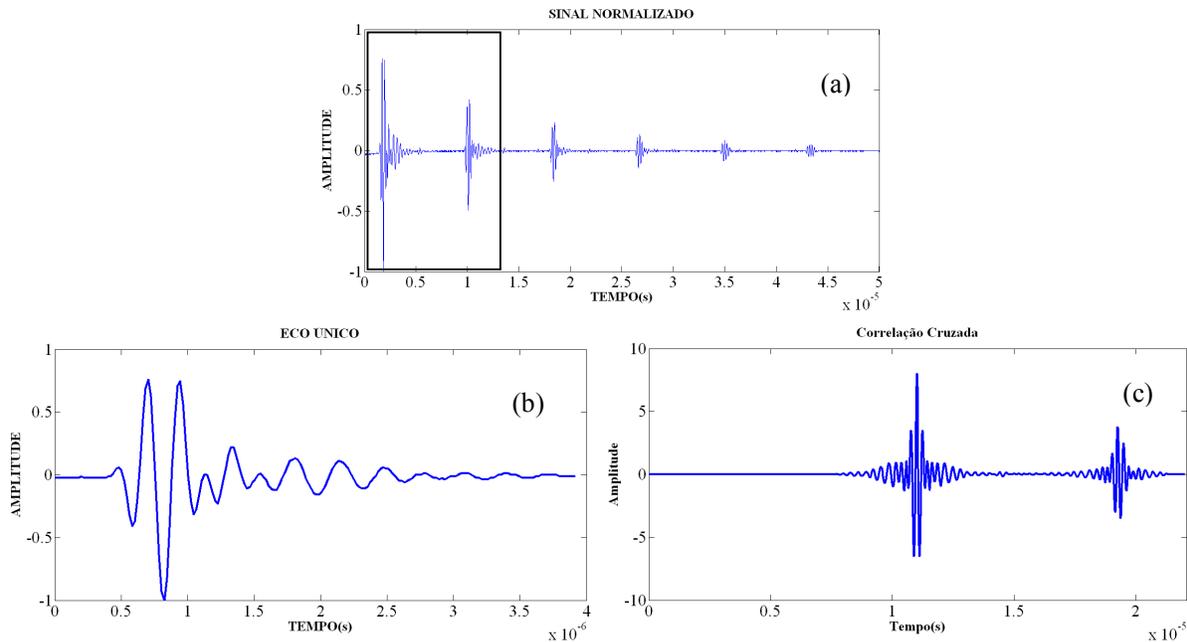


Figura 5 – Sinais ultrassônicos de ondas longitudinais do Aço Carbono SAE 1020 a) Sinal Normalizado destacando os dois primeiros ecos; b) Sinal relativo ao primeiro eco do sinal normalizado; c) Resultado da correlação cruzada entre o primeiro eco (b) com janela em destaque do sinal (a) .

A Tabela 2 mostra os valores obtidos neste trabalho das velocidades sônicas, com seus respectivos desvios padrões, contrapondo com os dados apresentados pela norma ASTM E494-95 para aços de classificações semelhantes.

Tabela 02 – Valores das Velocidades Longitudinal (V_L) e Velocidades Transversal (V_T) da Onda Ultrassônica

	V_L (m/s)		V_T (m/s)	
	Valores referentes à norma ASTM E494-95	Correlação Cruzada	Valores referentes à norma ASTM E494-95	Correlação Cruzada
Aço Martensítico	5900	$6016,89 \pm 13,53$	3300	$3334,45 \pm 7,35$
Aço Austenítico	5790	$5880,50 \pm 6,00$	3100	$3194,38 \pm 3,86$
Aço Duplex	-	$5809,28 \pm 5,51$	-	$3240,36 \pm 4,27$
Aço Carbono 1020	5900	$5901,76 \pm 6,52$	3230	$3241,99 \pm 2,37$

5 DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A correlação cruzada se mostrou muito eficaz na determinação das velocidades sônicas dos aços analisados, além disso, o desvio mostrou que não houve grandes variações nos valores determinados. Os resultados obtidos se mostraram coerentes com o relatado apresentado pela norma ASTM E494-95 tanto para valores das velocidades longitudinais quanto para transversais embora a norma utilizada não apresente valores específicos para cada aço, mas apenas para sua classificação.

6 REFERÊNCIAS

- ADAMOWSKI, J. C., BUIOCHI, F., SIMON, C., SILVA, E. C. N., SIGELMANN, R. A. (1995). **Ultrasonic measurement of density of liquids**, Journal of the Acoustical Society of America 97(7): 354-361.
- ANDREUCCI, R. **Ensaio por Ultra-Som**. ABENDE. Ed. Set., 2006;
- ASTM INTERNATIONAL E 494-95, **Standard Practice for Measuring Ultrasonic Velocities in Materials**, 2001.
- BITTENCOURT, M. S. Q., LAMY, C.A., PAYÃO, J.C., PINHEIRO, M. A. A. **Medida do Tempo de Percurso de Onda Ultra-Sônica para Avaliação de Tensões**. In: III PAN-AMERICAN CONFERENCE FOR NONDESTRUCTIVE TESTING, 2003, Rio de Janeiro - RJ;
- COSTA E SILVA, A.L., MEI, P.R. **Aços e ligas especiais**. Sumaré, SP. ELETROMETAL Metais especiais. 1988.
- DAMASCENO, S.S., **Emissão Acústica Nível 1**. SÃO PAULO:ABENDE, P. 1-173. 1995.
- LAMY, C.A.; PAYÃO, J.C.; BITTENCOURT, M.S.Q.; AREAS, V.L.F. **Avaliação por Ultrassom do Tratamento Térmico para Alívio de Tensões**. VI Conferência Sobre Tecnologia de Equipamentos e XXI Congresso Nacional de Ensaios Não Destrutivos, 19 a 21 de ago. de 2002, 10 pp., Salvador, Bahia.
- MARTINHON, G. REL. TÉCN., **metodologia para criação de projetos no dsp**
- MOTTA, T.; FARIAS, C. T.; TELMO E.; SOBRAL M. D.; PEREIRA M.; RIBEIRO I.; **Determinação Das Velocidades Sônicas Em Aço Superduplex Exposto A Diferentes Tratamentos Térmicos**, CONNEPI, 2009.
- MULTIALLOY, **Composição Química do Aço Inoxidável Aço Duplex UNS S31803**, Metais e ligas especiais, LTDA.
- NBR 5601 **Aços Inoxidáveis - Classificação por composição química**, Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 1981;
- SANTIN, J. L. **Ultra-som, técnica e aplicação**. ARTES GRÁFICAS E EDITORA, 2003
- SILVA, L.; SANTOS E.; FARIAS C.; SOBRAL M.; OLIVEIRA M.; **Determinação Das Constantes Elásticas E Atenuação Sônica Por Ultrassom Em Aço Sae 1045 Tratado Termicamente**, CONNEPI, 2009.
- TMS320VC5416 **Texas Instruments**. ILHA SOLTEIRA – SP: [S.N]. MAIO 2007.
- UNIFICADO, 2ª EDIÇÃO, CURITIBA-PR, 2003.
- VIOLA, F.; WALKER, W.F. **A New Algorithm For Continuous Time-Delay. Estimation Using Sampled Data**. IEEE SYMPOSIUM ON ULTRASONICS, V.2, P. 5-8, 2003B.