

ESTUDO DA ATENUAÇÃO SÔNICA EM AÇOS INOXIDÁVEIS

Ivonilton RAMOS JUNIOR (1); Lucas PEREIRA (2); Igor RIBEIRO(3); Cláudia Teresa FARIAS (4); Maria Dorotéia SOBRAL (5); Raimundo Jorge PARANHOS (6)

(1) IFBA, Rua Emídio dos Santos, s/n, (71) 2102-9423, e-mail: ivonilton@ifba.edu.br; (2) IFBA, e-mail: lucasouzap@gmail.com; (3) IFBA, email: igorsr@ifba.edu.br; (4) IFBA, e-mail: cfarias@ifba.edu.br; (5) IFBA, e-mail: doroteia@ifba.edu.br; (6) IFBA, e-mail: raimundojsparanhos@hotmail.com

RESUMO

A alta resistência a corrosão dos aços inoxidáveis lhes permitiram obter um espaço significativo nas indústrias de modo geral, principalmente, nas químicas e petroquímicas. Estes materiais apesar de apresentarem uma elevada resistência a ambientes corrosivos, podem apresentar descontinuidades geradas pelo processamento industrial. A utilização de técnicas não destrutivas é de fundamental importância para a inspeção em equipamentos e podem ser aplicadas à caracterização de materiais, correlacionando propriedades mecânicas com os parâmetros do ensaio, sendo medidas com precisão a depender da técnica e tecnologia empregadas. O ensaio ultrassônico permite identificar características do material, tais como, atenuação, constantes elásticas, corrosão de diversas modalidades e tensões residuais, sendo o processamento digital de sinais uma ferramenta de grande valia no aumento da confiabilidade dos resultados. Neste trabalho a partir da aplicação da norma ASTM – E 664-93 ao ensaio ultrassônico pulso eco por imersão foram determinadas as medidas de atenuação sônica dos aços inoxidáveis AISI-420 e AISI-316L, tendo como parâmetro de comparação o aço carbono. Ao final do trabalho, com os resultados, pôde-se perceber que o método utilizado é uma eficaz ferramenta para comparação da atenuação em diferentes materiais.

Palavras-chave: Aço Inoxidável, Atenuação sônica, Ensaio Ultrassônico.

1. INTRODUÇÃO

Com a constante evolução industrial técnicas de monitoramento e inspeção de equipamentos passaram a ter uma importância significativa. Os ensaios não destrutivos, devido sua vasta aplicação, são de fundamental importância nas indústrias nucleares, químicas e petroquímicas, ao longo do tempo as técnicas de ENDs, foram melhoradas para garantir maior eficiência e diminuição dos custos o que interessa ainda mais o mercado industrial (CHEN, 2007).

Por ser uma técnica não invasiva de baixo custo e aplicação relativamente fácil, o ensaio ultrassônico é uma ferramenta interessante para manutenção preventiva e preditiva. As ondas ultrassônicas além de serem transmitidas podem ser refletidas, refratadas ou difratadas quando o feixe encontra uma interface entre meios com características acústicas diferentes. Maia (2001) comprovou que a onda ao passar pelo meio, emite um pulso elétrico que é representado na tela do osciloscópio por um sinal que serve como base para análise de parâmetros em materiais muitas vezes desconhecidos, fornecendo dados importantes, como por exemplo, atenuação e identificação das constantes elásticas.

O estudo da atenuação sônica vem sendo utilizado no meio acadêmico como uma forma para a caracterização de materiais, pode-se relacionar a atenuação com a impedância acústica definida como a dificuldade que a onda encontra ao se propagar no meio. A diferença de impedância entre materiais faz com que apenas uma parte da energia sônica que atinge a superfície seja transmitida para o outro meio, outra parte da energia é refletida, sendo assim a impedância se caracteriza como uma perda por transmissão, o que tem ligação direta com a perda de intensidade do feixe sônico e a atenuação. Quando uma onda se propaga em um meio ela perde parte de sua energia em determinado percurso ou espessura, cujos efeitos de dispersão do pulso sônico está intrinsecamente ligado a microestrutura do material. Nos aços a atenuação é causada, principalmente, pela direção dos planos cristalográficos e também pelas constantes elásticas dos grãos (ANDREUCCI, 2002; BADIDI, 2003; SANTIN, 2003; GADELHA NETO, 2007). O aço inoxidável AISI-420 apresenta propriedades como a alta resistência a corrosão e têm aplicação na cutelaria e fabricação de

eixos e parafusos, enquanto o aço inoxidável AISI-316L é típico das indústrias química e petroquímica, em plataformas on-shore e off-shore. As utilizações desses dois aços são, principalmente, em ambientes com concentração de íons da família dos halogênios que possuem alto poder de corrosão (TEBECHERANI, 2003; ISHIDA, 2009).

Neste trabalho foram determinadas as medidas de atenuação sônica dos aços inoxidáveis martensítico AISI-420, austenítico AISI-316L e de aço carbono SAE 1020 pelo método ultrassônico pulso eco por imersão. Os sinais foram adquiridos e permitiram realizar análise comparativa entre as amplitudes dos ecos de fundo de acordo com a norma ASTM – E 664-93.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Ensaio Ultrassônico

O ensaio por ultrassom caracteriza-se num método não destrutivo que tem por objetivo a detecção de descontinuidades internas e parâmetros característicos, como velocidade sônica e atenuação dos mais variados tipos e formas de materiais. Sendo assim, comumente empregado na inspeção de equipamentos e materiais (LOBERTO, 2007).

O princípio básico de funcionamento do ensaio ultrassônico consiste em ondas transmitidas pelo transdutor, que contém um cristal piezelétrico capaz de converter a energia elétrica em onda mecânica ou vice-versa. O método pulso-eco, por exemplo, o sensor emite e recebe o pulso sônico que atravessa o material inspecionado. Ao encontrar uma interface a onda sofre reflexão e refração, modificando o sinal transmitido pelo transdutor para a tela do osciloscópio.

Andreucci (2006) afirmou que atualmente, na indústria moderna, principalmente nas áreas de caldeiraria e estruturas marítimas, o exame ultrassônico, constitui uma ferramenta indispensável para garantia da qualidade de peças de grandes espessuras, geometria complexa de juntas soldadas e chapas.

Uma das grandes vantagens encontradas para a utilização do método ultrassônico é sua alta sensibilidade na detecção de pequenas descontinuidades internas, como, por exemplo, trincas devido a tratamento térmico, fissuras e precisão na identificação de características, como constantes elásticas. Segundo Andreucci (2006), a parte interessante da avaliação não destrutiva ultrassônica é que não se faz necessário, planos especiais de segurança ou qualquer acessório com esta finalidade de aplicação.

2.1.1 Atenuação Sônica

De acordo com Andreucci (2006), a atenuação sônica pode ser definida somando os resultados dos efeitos de dispersão e absorção. A onda ao percorrer um material qualquer, em razão, por exemplo, das constantes elásticas dos grãos e da direção dos planos cristalográficos do material, sofre, no decorrer da espessura, redução da sua energia. A dispersão deve-se ao fato da heterogeneidade do material, contendo interfaces naturais de sua própria estrutura ou do processo de fabricação. A absorção, por sua vez, ocorre quando a energia é cedida pela onda as moléculas do material para a transmissão da vibração no mesmo. Na prática, a atenuação sônica poderá ser visualizada quando há uma queda de amplitude dos ecos de reflexão proveniente do material inspecionado, que representam a perda de energia em função da distância percorrida pela onda.

A norma ASTM – E 664-93 exige algumas etapas no processo de obtenção da atenuação. A espessura tem que ser maior que o comprimento de onda. O local de inspeção não deve estar próximo das laterais do corpo de prova. Os sinais adquiridos tem que ser tratados de forma a efetuar uma comparação entre os ecos de fundo conforme a Equação 1.

$$\text{Atenuação} = \frac{20\log\left(\frac{A_m}{A_n}\right)}{2(n - m)T} \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde A_m e A_n são as amplitudes dos ecos relacionados, m e n indicam a posição dos ecos, e T é a espessura do material.

Experimentos realizados por BADIDI (2003) mostraram que a atenuação do material está relacionada com o tamanho do grão segundo o gráfico da figura 1. Este, apesar das unidades explicitas serem diferentes das utilizadas no trabalho, pode-se obter uma relação para as considerações do trabalho.

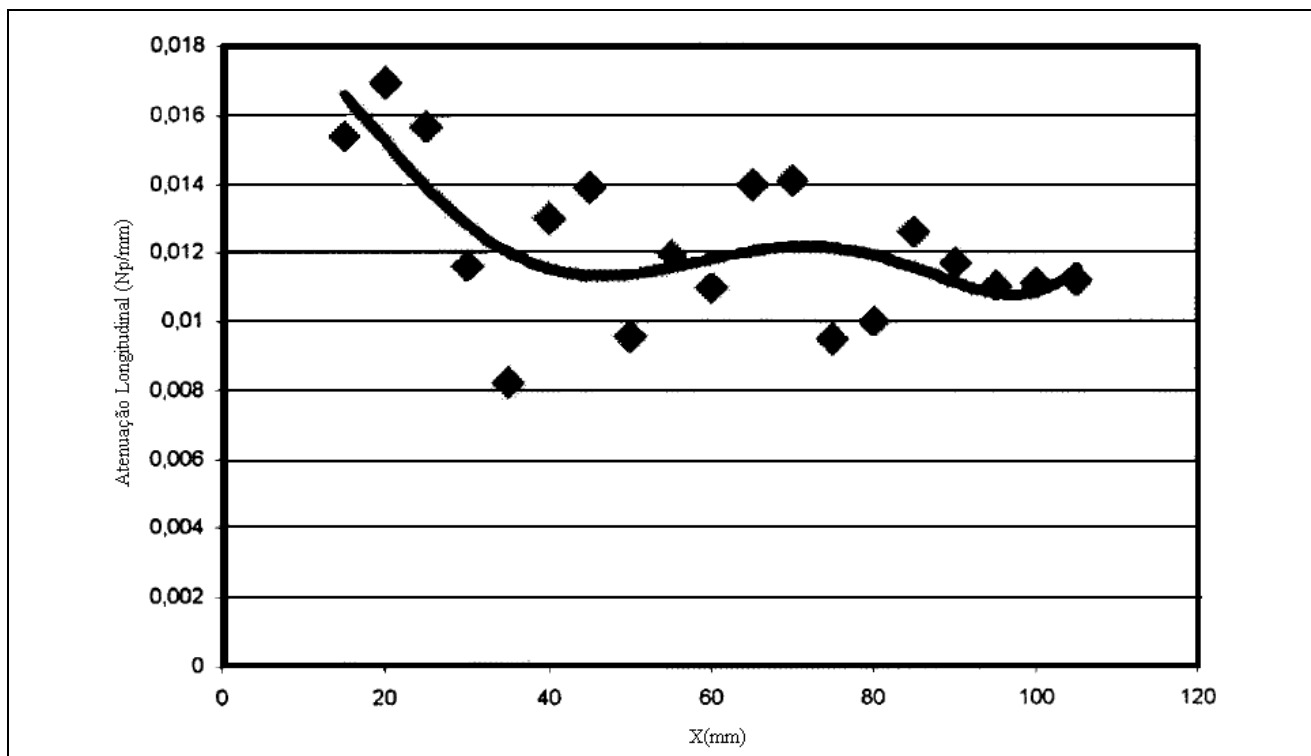


Figura 1 - Atenuação X Tamanho do grão

2.2 Aços Inoxidáveis

Tebecherani (2003) publicou que os aços inoxidáveis são ligas ferrosas com baixo percentual de carbono (0,015 a 1,2%), que possui no mínimo 12% de Cromo. O Cromo, em contato com o oxigênio, forma uma fina camada de óxido de Cromo, sendo chamada de camada apassivadora, por ser impermeável e insolúvel em soluções corrosivas. Devido a esta camada, os aços inoxidáveis possuem alta resistência a corrosão.

Elementos como níquel, molibdênio, cobre, titânio, alumínio, silício, nióbio, nitrogênio, enxofre e selênio são adicionados para induzir à formação de certas microestruturas e/ou garantir propriedades adequadas a solicitações mecânicas, como exposição a diferentes temperaturas e meios agressivos específicos (ASM, 1994; JÚNIOR, 2002). Os aços inoxidáveis são divididos em basicamente três grupos classificados quanto a microestrutura, Austenítico, Martensítico e Ferrítico, onde cada grupo possui propriedades características (TEBECHERANI, 2003).

2.2.1 Aço inoxidável Martensítico

Os aços inoxidáveis martensíticos são ligas ferromagnéticas que apresentam boa resistência a corrosão em ambientes com elevada concentração de cloretos, por exemplo. Possuem uma composição de 12 a 20% de Cromo com carbono variando, normalmente, de 0,1 a 1%. Esse aço pode atingir variados graus de dureza pelas diferentes condições de aquecimento e resfriamento (tratamento térmico). (ASM, 1994; ISHIDA, 2009)

Existe uma subdivisão em grupos dos aços inoxidáveis martensíticos, estes subgrupos são classificados de acordo com a composição de cromo e carbono. O AISI 420 está incluído no grupo I, por possuir uma porcentagem mínima de carbono de 0,15% e porcentagem de cromo variando de 12 a 14%, é largamente utilizado na cutelaria, fabricação de eixos, parafusos e ferramentas cirúrgicas, por possuírem características como, a alta dureza proporcionada pela martensita (TEBECHERANI, 2003; ISHIDA, 2009). A Figura 2 mostra o modelo de microestrutura do aço AISI 420, pode-se observar pela análise da microestrutura a martensita revenida e os carbonos secundários que aparecem após a aplicação do revenido no material, os contornos de grãos, provocam uma maior atenuação, pois a dispersão da onda ultrassônica é maior nas interfaces encontradas.

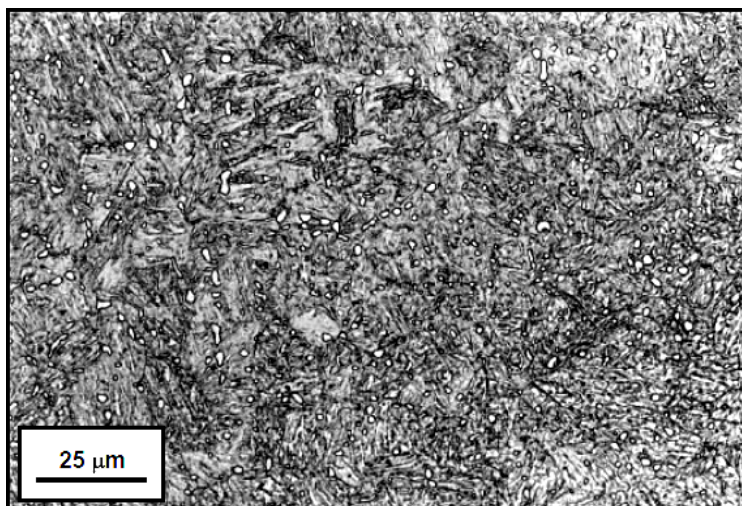


Figura 2 - Microestrutura AISI 420 (PINEDO, 2004).

2.2.2 Aço Inoxidável Austenítico

Os aços inoxidáveis austeníticos são ligas Fe-Cr-Ni, que apresentam composição química de 16 a 26% de Cromo, 0,03 a 0,25% de carbono e até 35% de Níquel, possuindo grande resistência a corrosão em meios agressivos. Além disso, segundo Ishida (2009), os aços inoxidáveis austeníticos combinam baixo limite de escoamento com alta resistência a tração e bom alongamento, sendo bastante utilizado para trabalhos a frio.

Excelentes propriedades mecânicas, como ductibilidade, resistência a altas e/ou baixíssimas temperaturas além de boa soldabilidade são propriedades existentes nos aços inoxidáveis austeníticos. O encruamento, muitas vezes, é utilizado para aumentar características como resistência mecânica e dureza. Devido a forma alotrópica de geometria dos cristais, essas ligas não são ferromagnéticas (ISHIDA, 2009). A Figura 3 mostra a microestrutura da liga AISI 316L. Por possuir uma microestrutura contendo o tamanho de grão maior o AISI 316L têm menos contornos em relação a microestrutura do aço inoxidável martensítico, apresentando menor atenuação.

Os Aços AISI-316L são utilizados em equipamentos para indústria química, petroquímica, farmacêutica e alimentícia além da construção civil (TEBECHERANI, 2003;ISHIDA,2009).

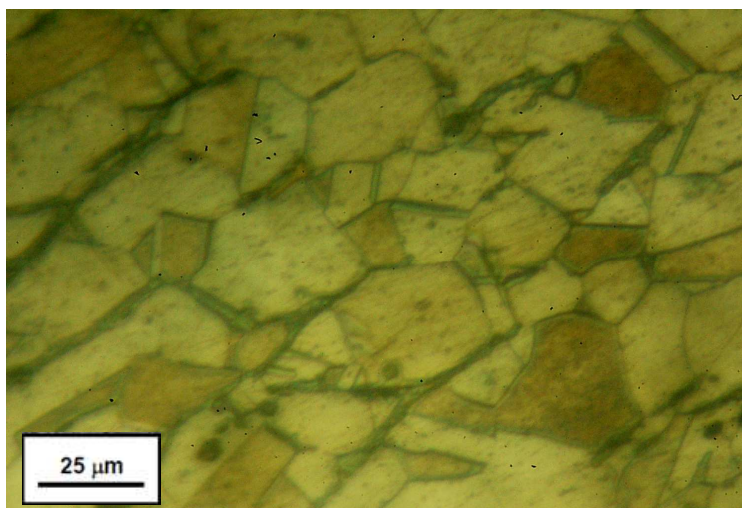


Figura 3 - Microestrutura AISI 316L (OLIVEIRA, 2010).

3. METODOLOGIA

3.1 Análise e preparação dos corpos de prova

Anteriormente à realização do ensaio ultrassônico, a superfície dos corpos de prova foi lixada de forma a permitir melhor acoplamento na transmissão do feixe sônico. Todos os critérios analisados no corpo de prova

foram adequados à norma, que exige que cada ponto inspecionado tenha uma distancia significativa dos lados do corpo de prova (no mínimo um diâmetro de três vezes o tamanho do cristal do transdutor), e que a espessura seja maior do que o comprimento de onda. Na tabela 1 são mencionadas as dimensões dos corpos de prova, que foram realizadas com um paquímetro digital, com imprecisão de 0,05mm. A malha que foi utilizada na inspeção possui dimensões de 40X40 mm com 25 pontos espaçados igualmente. Em cada corpo de prova foram inspecionadas quatro malhas completas.

Tabela 1 - Dimensão dos corpos de prova

Dimensão dos corpos de prova (mm)		
Aço Inoxidável Austenítico (AISI-316L)	Aço Inoxidável Martensítico (AISI-420)	Aço Carbono (SAE 1020)
300X85X25	300X300X25	300X100X25

3.2 Ensaio Ultrassônico

Foram realizados ensaios ultrassônicos pulso eco por imersão com o aparelho de ultrassom da marca Krautkrämer®, modelo USM 25, juntamente com o osciloscópio Tektronix modelo TDS 2024B, que foi utilizado para a aquisição dos sinais. O osciloscópio permitiu uma boa resolução do sinal (2500 pontos), assim reduziu a imprecisão dos dados digitalizados em relação ao ultrassom, que possui uma resolução inferior (menor que 200 pontos). O transdutor conectado ao equipamento de ultrassom foi fabricado pela Olympus Panametrics®, modelo NDT V-326, com frequência central de cinco MHz e diâmetro do cristal de 0.375'' (9,525 mm). A Figura 4 mostra o esquema experimental do ensaio ultrassônico.

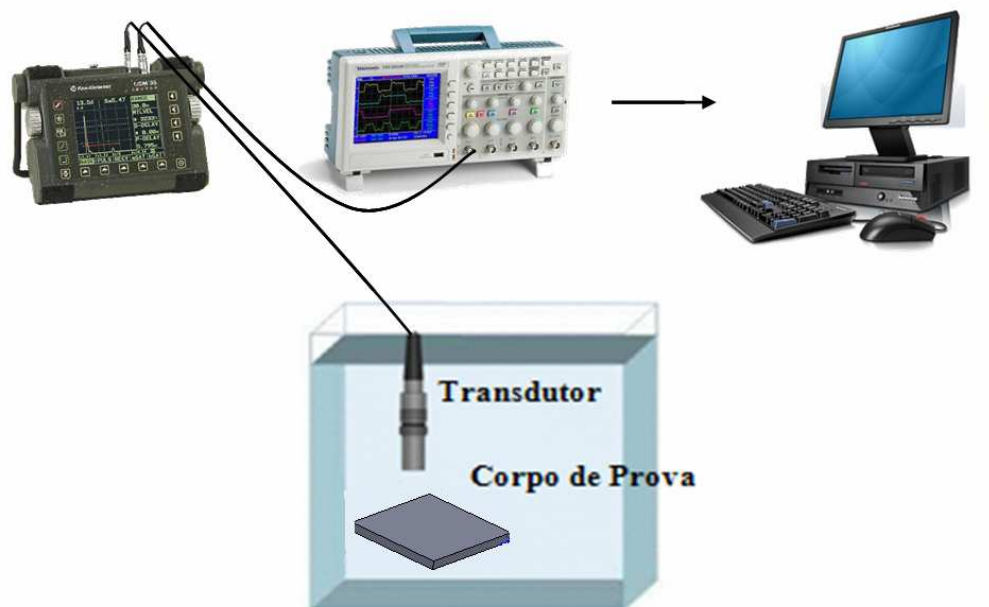


Figura 4 – Esquema Experimental do Ensaio Ultrassônico.

3.3 Tratamento do Sinal

Foi desenvolvida rotina computacional para realizar normalização dos sinais adquiridos e detectar os pontos máximos dos ecos. Em seguida, foram obtidas relações entres as amplitudes dos ecos de fundo analisados dois a dois, sendo encontrada posteriormente a média aritmética que representa o decaimento de energia na

propagação do som em cada corpo de prova. A partir destes valores determinou-se o valor da atenuação de cada material analisado e a imprecisão estatística dos resultados.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Com base no procedimento de inspeção e tratamento do sinal, obtiveram-se dados de atenuação que estão mostrados na tabela 2.

Tabela 2 - Atenuação Sônica

Atenuação sônica (dB/pol)		
Aço Inoxidável Martensítico (AISI - 420)	Aço Inoxidável Austenítico (AISI -316L)	Aço Carbono (SAE 1020)
2,3983±0,4382	1,9137±0,1284	1,9611±0,0645

A menor atenuação presente no aço austenítico pode ser explicada pelo tamanho do grão, o qual possui um tamanho de 40 a 60mm, enquanto que o aço martensítico possui um tamanho menor, confirmando o experimento de Badidi(2003). Outra forma de justificar o resultado obtido está expressa no trabalho de Gadelha Neto (2007), onde se estabeleceu a relação que a dureza é proporcional a atenuação sônica.

A influência humana nas medições e por ocasionais heterogeneidades no material, podem ter causado uma pequena modificação no valor da atenuação, conseqüentemente, fazendo o desvio aumentar, variando de 3 a 18% do valor estabelecido.

5. CONCLUSÕES

Os resultados encontrados permitiram concluir que o método ultrassônico de pulso-eco por imersão é uma interessante ferramenta para atribuição da atenuação e, principalmente, para comparação. A relação entre o tamanho de grão e da dureza com a atenuação estão coerentes com os trabalhos de Badidi(2003) e Gadelha Neto(2007).

Os resultados da atenuação obtidas no trabalho são importantes para indústria, pelo fato de expressar a dificuldade na realização dos ensaios ultrassônicos. Dependendo do valor estabelecido, a atenuação pode inviabilizar o processo de inspeção.

O objetivo principal para os trabalhos futuros será estabelecer uma relação entre propriedades dos materiais com a atenuação sônica, e tentar diminuir a imprecisão dos resultados para maior confiabilidade da técnica.

6. AGRADECIMENTOS

Ao IFBA, pela infra-estrutura; ao GPEND pelo auxílio técnico.

REFERENCIAS

ANDREUCCI, R., **Ensaio por Ultra-Som – aspectos básicos** - 3ªedição- 2002.

ASM. **Stainless steel**, ASM specialty handbook, ASM, 1994.

BADIDI, A., LEBAILI, S. **Grain size influence on ultrasonic velocity and attenuation**. 2003

CHEN, C. H., **Ultrasonic and Advanced Methods for Nondestructive Testing and Material Characterization**. World Scientific, 2007;

GADELHA NETO, O.S., **Caracterização de microestruturas por ensaio de ultra som em aço 1045**, II- CONNEPI, 2007.

HAUPTMANN, P. **Application of Ultrasonic Sensors in the Process Industry**. Measurement Science and Technology. Institute of Physics Publishing, 2002.

HELIER, C. **Handbook of Nondestructive Evaluation**. McGraw-Hill Professional, 2001. 603 p. International, v. 36, pp.1-5, 2003.

JÚNIOR, M. V.. **Nitretação a Plasma do aço ABNT 316L em Baixas Temperaturas**, Tese de Doutorado – PPGEMM, Porto Alegre – RS, Brasil, 2002.

LOBERTO, T., **Estudo da viabilidade do ensaio de ultra-som na inspeção de juntas soldadas de aços inoxidáveis austeníticos AISI-316**. Dissertação de mestrado – Universidade Católica do Paraná – Curitiba, 2007.

MAIA, J.M., **Sistema ultrassônico para auxílio ao diagnóstico da osteoporose**. 2001. 158 p Tese de Doutorado, DEB/FEEC/UNICAMP, Campinas.

MARTINHON, G. **Avaliação e Implementação de Métodos de Estimação de Tempo de Atraso de Sinais de Ultra-som**. 2007. 93p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.

OLIVEIRA, M. A., **Estudo do conteúdo espectral e perfil do feixe ultrassônico em aço inoxidável 316L submetido a diferentes ciclos isotérmicos**. XVIII CONAEND&IEV, 2010.

PINEDO, C. E., **Tratamento térmico e superficial do aço inoxidável martensítico AISI 420 destinado a moldes para injeção de polímeros**. 2º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, São Paulo/SP, 2004.

SANTIN, J.L **Ultra-Som Técnica e aplicação**, 2003.

TEBECHERANI, C., **Apostila de Aços inoxidáveis**, 2003. – Disponível em <http://www.pipesystem.com.br/Artigos_Tecnicos/Aco_Inox/body_aco_inox.html>, acesso 4 jul 2010 .