

**Identificação e avaliação de descontinuidades em juntas soldadas
utilizando ultrassom com visualização A-Scan – Maior eficiência em
comparação com outros ensaios.**

Eduardo Tourinho Santana (SENAI CIMATEC) - tourinho81@gmail.com¹

RESUMO

Dentre os métodos de inspeção de equipamentos mais utilizados, destacam-se os ensaios não destrutivos mais conhecidos como END. O ensaio de ultrassom é um END que pode ser considerado como o mais prático em relação aos outros ensaios, como é o caso da gamagrafia, este sendo largamente utilizado devido a facilidade de aplicação e laudo imediato. O ultrassom é empregado em análise de estruturas soldadas e avaliações preditivas no seu uso diário em campo, de forma que o presente trabalho objetiva demonstrar que a diferenciação de descontinuidades encontradas em juntas soldadas pelo ensaio de ultrassom é muito mais preciso em comparação com os outros END. Seja em serviços de reparo de equipamentos de processo, fabricação de navios ou peças metálicas empregadas em máquinas de grande porte, as técnicas de inspeção com ultrassom são usadas largamente nas indústrias petroquímicas, petrolíferas, nuclear e naval. O estudo de caso desse artigo utiliza como exemplo a aparelhagem com mostrador do tipo A-Scan e cabeçotes angulares.

Palavras-chave: Inspeção por ultrassom; A-Scan; juntas soldadas.

1 INTRODUÇÃO

O ensaios não destrutivos, também chamados de END, surgiu pela necessidade de se estabelecer formas mais eficazes de se produzir bens de consumo em larga escala com qualidade. Essa necessidade surgiu na idade média e perdurou ao longo das guerras enfrentadas pela humanidade.

Ainda hoje a percussão de materiais e análise do som produzido é utilizada para determinar o estado ou a qualidade de produtos ou serviços. Como exemplo, pode-se citar a verificação da compacidade e aderência de refratários, através da percussão

produzida com um martelo, onde é possível determinar regiões defeituosas pela comparação entre o som emitido por estas e por outras com boa qualidade (SANTIN 2003, p. 3).

Outro exemplo, ocorrido em 1854, envolveu um grave acidente com uma caldeira em uma fábrica no estado americano de Connecticut, de forma que essa calamidade vitimou centenas de trabalhadores. Ao que tudo indica esse acidente foi causado pela falta de cuidados na operação e manutenção do equipamento, onde, após esse e outros acidentes envolvendo caldeiras, o estado de Connecticut aprovou a *Boiler Inspection Law* (lei de inspeção em caldeiras), determinando, assim, um maior controle na inspeção e manutenção desses equipamentos. Essas melhorias envolvendo processos de controle de qualidade em equipamentos foram a porta de entrada para os ensaios não destrutivos mais conhecidos como END, onde os mesmos foram sendo aperfeiçoados, enquanto outras técnicas foram desenvolvidas visando aplicação em situações adversas.

O cientista soviético, Sergei Sokolov Y., na década de 1920, começou a realizar testes com cristais de quartzo, onde posteriormente desenvolveu uma técnica que visava detectar descontinuidade em materiais metálicos utilizando ondas ultrassônicas geradas por esses cristais, assim, nasceu o ensaio não destrutivo de ultrassom. Desde a sua criação muita coisa mudou inclusive na forma como são detectadas e diferenciadas as descontinuidades encontradas, pois identificavam que o material analisado tinha uma indicação revelada pelo ensaio, só não se sabia qual era o tipo da descontinuidade ou se a mesma significava realmente um defeito. Nos END as indicações encontradas devem ser interpretadas e avaliadas e, a partir daí, devem ser aplicados os critérios de aceitação definidos pela norma a ele relacionada.

Na tela do aparelho de ultrassom com demonstração do tipo A-Scan, uma reflexão sônica pode ser interpretada de diversas formas, pode ser devido à aplicação incorreta da técnica no material a ser ensaiado, ou procedimento adotado indevidamente e até os chamados “ecos fantasmas”, que significam interferência elétrica gerada pela granulometria do material ensaiado.

Para que as descontinuidades encontradas nos materiais ensaiados possam ser interpretadas, alguns pontos são indispensáveis: experiência do inspetor de ultrassom

em diferenciar o que é um defeito comprometedor ou apenas uma interferência, e a norma ou procedimento utilizado como critério de aceitação. A norma ASME Sec. VIII Div. 1, dita as principais características a serem observadas na hora de se avaliar uma descontinuidade.

Portanto o presente trabalho objetiva demonstrar que a diferenciação de descontinuidades encontradas em juntas soldadas pelo ensaio de ultrassom é muito mais preciso em comparação com os outros END. Seja em serviços de reparo de equipamentos de processo, fabricação de navios ou peças metálicas empregadas em máquinas de grande porte, as técnicas de inspeção com ultrassom são usadas largamente nas indústrias petroquímicas, petrolíferas, nuclear e naval. O estudo de caso desse artigo utiliza como exemplo a aparelhagem com mostrador do tipo A-Scan e cabeçotes angulares.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os processos de soldagem são largamente utilizados nas indústrias para a fabricação de equipamentos e manutenção destes equipamentos, de forma que a sua utilização possui uma extrema importância. Durante muito tempo quando se pensava em unir duas ou mais peças metálicas nem sempre se era possível, tornando-se um problema que nem sempre havia solução. Entretanto a partir do momento em que a indústria começou a utilizar de uniões rebitadas ou aparafusadas muitos problemas foram solucionados.

A AWS conceitua soldagem como a união de metais ou não-metais através da aplicação de calor e pressão, ou somente pressão, podendo ainda ser utilizado, ou não, um metal de adição. Na grande maioria dos casos em que são empregados processos de soldagem, um metal de base é submetido à alta temperatura que, juntamente com um metal de adição, formam uma poça de metal líquido, onde esse metal, após a solidificação, se transforma na junta soldada, conforme exemplificado na Figura 1 abaixo.

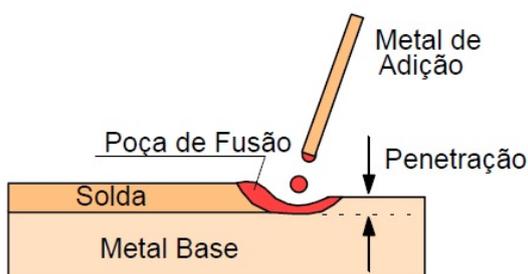


Figura 1 – Exemplo de soldagem. Fonte: Modenesi (2001).

As juntas soldadas podem ser classificadas de acordo com a sua posição de soldagem e são aplicadas de acordo com a necessidade do serviço a ser executado ou a condição disponível para a sua execução. Os tipos de juntas soldadas mais conhecidas são: junta de topo, junta de ângulo e junta de canto, sendo que nesse artigo utilizaremos a de topo como exemplo principal.

A junta de topo é a configuração mais comum e mais empregada na maioria dos casos que se possui a necessidade de unir duas seções ou efetuar o reparo de uma estrutura.

A Figura 2 abaixo exemplifica uma junta de topo, demonstrando seus elementos, onde, ao longo do artigo, serão abordados métodos para definição da localização e tipos de descontinuidades detectadas pelo ensaio de ultrassom para esse tipo de junta.

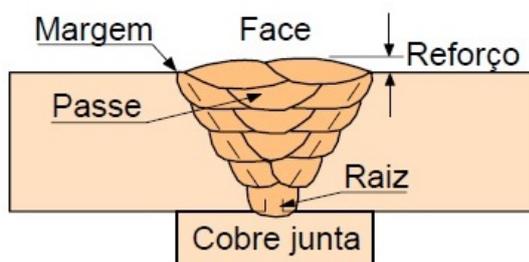


Figura 2 – Exemplo de junta de topo. Fonte: Modenesi (2001).

Sendo assim, a descontinuidade é a interrupção das estruturas típicas de uma peça, no que se refere à homogeneidade de características físicas, mecânicas ou metalúrgicas, não sendo necessariamente um defeito. A descontinuidade só deve ser considerada defeito, quando, por sua natureza, dimensões ou efeito acumulado tornar

a peça inaceitável por não satisfazer os requisitos mínimos da norma técnica aplicável (Norma Petrobras N-1738 Rev. C).

Diante desse conceito a cerca de descontinuidades em juntas soldadas, podemos entender que nem sempre uma descontinuidade é um defeito, mas em se tratando de equipamentos que operam sob ação direta de pressões, como é o caso dos vasos de pressão, caldeiras e tubulações, uma descontinuidade precisa receber a máxima atenção quando detectada em alguma parte dessa junta. Algumas áreas da junta são estruturalmente essenciais e devem ser analisadas a fundo sob pena colapsarem a estrutura durante a sua operação.

Em todas as soldagens a área que requer grande atenção é a ZTA – Zona Termicamente Afetada. Essa zona é a área mais crítica da junta, ela se apresenta justamente entre o cordão de solda e o metal de base. Devido às altas temperaturas e ao processo de soldagem em si, essa área apresenta material de granulometria diferente, pois sofreu com a ação do calor empregado durante o processo de soldagem, conforme exemplificado na Figura 3. A figura demonstra onde está localizada a ZTA em uma junta de filete (note as “sombras” mais claras ao redor dos passes).

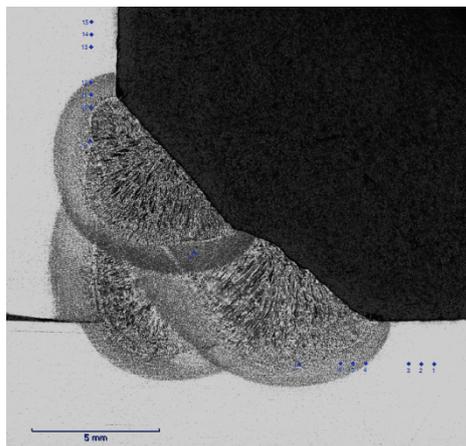


Figura 3 – Imagem da ZTA. Fonte: Mogire (2016)

Antes de se efetuar o processo de soldagem o inspetor de solda avalia toda a estrutura no que diz respeito aos parâmetros que visam garantir que a junta seja produzida com qualidade e livre de descontinuidades e, para isso, emprega normas e

procedimentos que vão da preparação da junta até o correto armazenamento dos eletrodos e metais de adição.

2.1 Tipos de descontinuidades mais comuns em juntas soldadas

Dentre os diversos tipos de descontinuidades, quatro tipos apresentam-se como os principais, são eles: descontinuidades dimensionais; descontinuidades estruturais; descontinuidades relacionadas a região da solda; descontinuidades relacionadas com propriedades do metal de base.

As descontinuidades dimensionais estão diretamente ligadas as configurações estabelecidas em projeto e o não atendimento deste pode ser interpretado como defeito. Como exemplo de descontinuidades desse tipo, podemos citar: distorção, preparação incorreta da junta, perfil incorreto. Estas podem ser facilmente percebidas durante uma rápida inspeção e posteriormente tratadas ou corrigidas.

Já as do tipo estrutural estão localizadas na maioria das vezes dentro da junta soldada ou no metal de base e só são descobertas através da utilização de ensaios. Entre as descontinuidades estruturais estão: porosidade, inclusão de escória, inclusão de tungstênio, falta de fusão e trincas.

A porosidade é uma descontinuidade gerada pelo isolamento de gases provenientes do processo de soldagem durante a solidificação da poça de fusão, e pode se formar de forma dispersa, alinhada ou agrupada. Eles ainda podem ter um formato esférico ou alongado e serem internos ou aflorados para a superfície, no passe de raiz costumam ser encontrados de forma alinhada. A Figura 4 abaixo demonstra alguns poros espalhados pelo cordão de solda, onde o mais prejudicial ocorre próximo a raiz. Esse agrupamento de poros só pode ser detectado com ensaios como gamagrafia e ultrassom, pela sua localização extremamente difícil e sem visibilidade, pois se encontram abaixo da superfície.

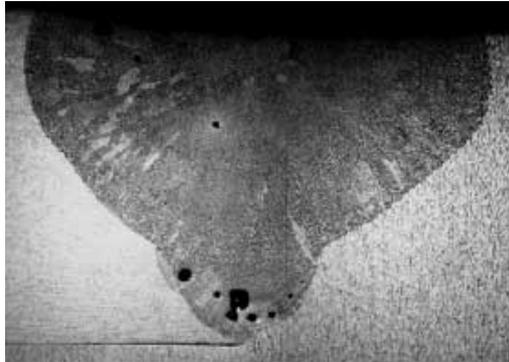


Figura 4 – Porosidade. Fonte: Fisher. (1999)

As inclusões de uma forma geral dizem respeito a materiais dissidentes contidos no metal solidificado após o processo de soldagem, a escória propriamente dita é proveniente do revestimento do eletrodo (no caso de solda com eletrodo revestido) que tem por função primordial formar uma capa protetora na poça de fusão para que esta tenha a sua refrigeração lenta e com isso evitar alguns defeitos provenientes dessa diminuição de temperatura. Geralmente entre os passes feitos em uma junta soldada, uma escova metálica manual ou rotativa é empregada para a remoção dessa escória, e muitas das vezes essa limpeza não é eficiente, causando a inclusão na junta soldada.

Um exemplo de inclusão de escória entre passes de uma junta soldada com chanfro em X ou duplo V pode ser observado na Figura 5 abaixo.

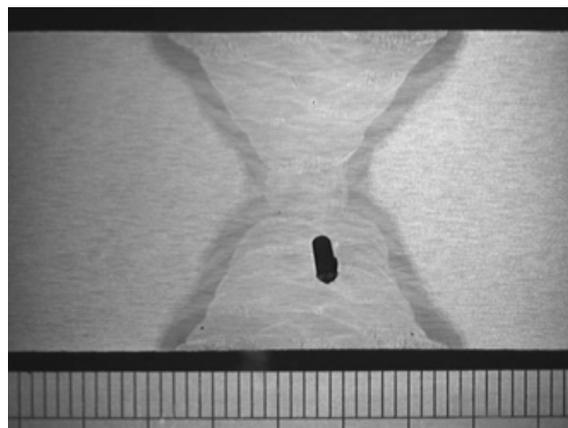


Figura 5 - Inclusão de escória. Fonte: Consonni (2011)

A descontinuidade do tipo inclusão de tungstênio só existe nas juntas construídas com o processo de soldagem GTAW, onde um eletrodo de tungstênio é responsável pela abertura e manutenção do arco elétrico e um gás inerte (Argônio mais utilizado) protege a poça de fusão da ação do oxigênio evitando defeitos posteriores. Durante o processo de soldagem o soldador por acidente encosta o eletrodo, que não é consumível, na poça de fusão e esse é incorporado ao metal de adição, contaminando a solda. A figura 6 é uma gamagrafia realizada em uma junta de topo com uma inclusão de tungstênio, em destaque na Figura 6.

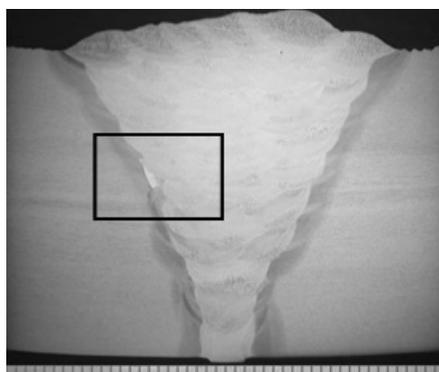


Figura 6 - Inclusão de tungstênio. Fonte: Consonni (2011)

Enquanto que a falta de fusão é uma descontinuidade onde alguma parte da junta não foi fundida, ou seja, houve a fusão incompleta entre a zona fundida e o metal de adição ou entre os passes da zona fundida.

O elemento humano é quase que totalmente responsável pelo seu surgimento, pois provem de técnicas de soldagem mal empregadas ou na preparação da junta soldada de forma errada. Como exemplo disso está a soldagem muito rápida onde o soldador acaba por acelerar o processo e compromete algumas áreas do cordão de solda. Outra possível causa é a preparação inadequada da junta a ser soldada, nesse caso o inspetor de solda não inspecionou corretamente a junta e alguma parte da mesma estava fora do lugar durante o processo, ou a sua geometria foi mal estruturada. E como causa primordial está a corrente de soldagem muito baixa, em que nesse caso o soldador recebe a culpa, pois a regulagem da máquina é feita por ele, e defeitos desse tipo são provenientes da falta de prática ou desatenção. A figura

7 destaca uma falta de fusão detectada através do ensaio de gamagrafia em uma junta de topo com diversos passes.

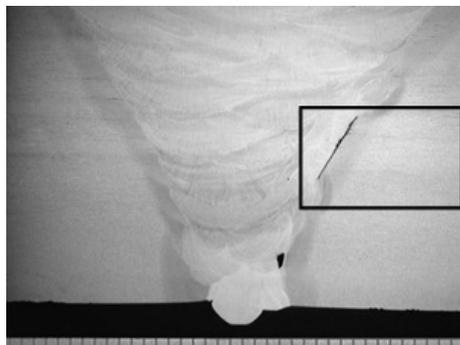


Figura 7 - Falta de fusão. Fonte: Consonni (2011)

Na maioria dos processos de soldagem o metal de adição utilizado pode ter características similares ao metal de base, conferindo o mesmo comportamento químico e mecânico a junta solidificada. Em alguns materiais a natureza da mesma já acarreta o aparecimento de trincas, enquanto que em outros casos, onde o metal de base tem a presença de diversos elementos de liga, a escolha errada do tipo de metal de adição pode ocasionar o surgimento de trincas. As trincas ocorrem na sua maioria pela solidificação acelerada da poça de fusão e nesse processo o metal de base não consegue acompanhar essa solidificação, que entre vários aspectos, confere tensões aos grãos já formados. Durante esse processo as tensões não são assimiladas pelo material, de forma que ocorrem concentradores de tensões em determinadas áreas, ocasionando trincas e fraturas.

Essas discontinuidades podem aparecer na junta de diversas formas e ter os mais variados tipos de configuração. Na figura 8 está um exemplo de trinca transversal localizada entre passes de uma junta de topo.

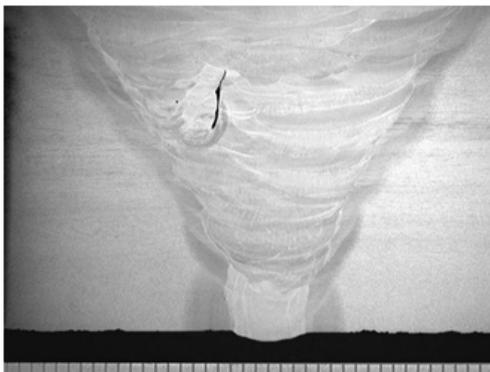


Figura 8 - Trinca de solidificação. Fonte: Consonni (2011)

3 OS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Os ensaios não destrutivos, mais comumente conhecidos como END'S, são utilizados para avaliar a qualidade e ausência de defeitos em equipamentos fabricados, peças e partes reparadas, garantindo assim que a sua integridade estrutural não seja comprometida. Nos serviços envolvendo processos de soldagem alguns END'S são de fundamental importância para uma correta avaliação do cordão de solda, quando os defeitos são superficiais, empregam-se os ensaios de Líquidos Penetrantes e Partículas Magnéticas. Em caso de descontinuidades sub superficiais o Ultrassom é mais utilizado.

Esses ensaios conseguem revelar a maioria das descontinuidades presentes nessas juntas soldadas, porém os END'S para avaliação de defeitos superficiais apresentam algumas limitações. No caso do ensaio de radiografia, a descontinuidade é vista no filme radiográfico, porém não se sabe em que profundidade ela está. Uma outra limitação está relacionada a aplicação do ensaio, que precisa de uma área isolada para que as pessoas não sofram com a ação dos raios X durante a sua realização.

Dentre os END utilizados para avaliação da qualidade em equipamentos fabricados ou após passarem por reparos, o ultrassom é o ensaio mais empregado e requerido quando se deseja um diagnóstico preciso e rápido, entretanto ainda são utilizados outros ensaios, como os listados a seguir.

3.1 Líquidos Penetrantes

O ensaio de Líquidos Penetrantes visa identificar necessariamente descontinuidades abertas na superfície do material e que não possuam obstrução. Geralmente descontinuidades como poros, trincas, e dobras, são as mais suscetíveis a serem detectadas nesse ensaio. Como materiais que pode ser analisados por essa técnica se encontram as mais variadas ligas metálicas, plásticos e polímeros, além de alguns tipos de cerâmicas, plásticos e vidro. O ensaio não pode ser aplicado em materiais porosos.

O método consiste em fazer penetrar na abertura da descontinuidade um líquido. Após a remoção do excesso de líquido da superfície, faz-se sair da descontinuidade o líquido retido através de um revelador. A imagem da descontinuidade fica então desenhada sobre a superfície. (ANDREUCCI 2013)

O laudo do ensaio é dado através da análise da descontinuidade que aparece revelada na superfície do material e precisa ser analisada dentro de um tempo predeterminado em norma, pois caso contrario o ensaio é perdido.

O método LP apresenta algumas limitações, como a impossibilidade de avaliar descontinuidades no interior do material em estudo. O ensaio não apresenta resultados viáveis se a superfície do material for rugosa. As descontinuidades detectadas por este ensaio normalmente não são possíveis de dimensionar a sua profundidade. (PEREIRA 2013)

Abaixo, Figura 9, podemos ver uma peça que foi submetida ao ensaio de Líquidos Penetrantes com demonstração fluorescente, e o laudo da mesma demonstrando uma descontinuidade linear ao longo de toda a sua extensão.

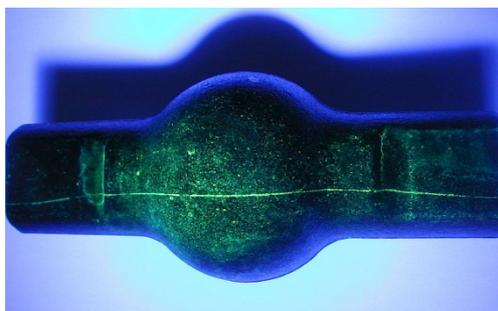


Figura 9 - Peça ensaiada com LP Fluorescente. Fonte: Mr-chemie (2017)

3.2. Partículas Magnéticas

No ensaio de Partículas Magnéticas, a peça a ser ensaiada ou parte dela é submetida a um campo eletromagnético onde se desconfia que haja descontinuidades, após a aplicação de um fragmentado ferroso no local, o mesmo é atraído onde o material possui defeitos se formando assim desenhos incrustados desse fragmentado. O ensaio é aplicado em materiais ferromagnéticos e visa a detecção de descontinuidades superficiais e sub superficiais, como trincas, poros, dupla laminação, segregações e etc.

O ensaio possui algumas limitações para a sua realização e requer certo treino e conhecimento por parte do inspetor, uma vez que ao encontrar uma descontinuidade, a mesma terá que ser reavaliada em caso de indicações falsas ou acúmulo do pó magnético no local analisado. Na figura 10 um ensaio de partículas magnéticas foi realizado em uma estrutura metálica, onde foram encontrados defeitos lineares em sua extensão e um deles está identificado através da palavra *Crack* (trinca em inglês).

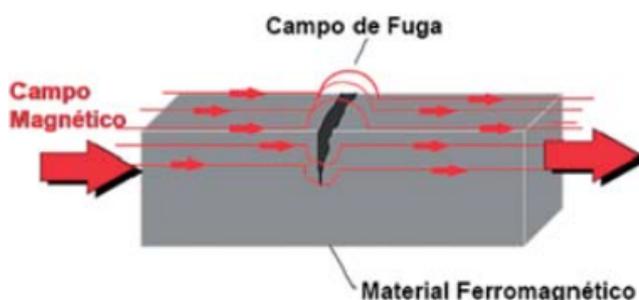


Figura 10 - Ensaio de Partículas Magnéticas. Fonte: Bolsista de Valor (2012)

3.3. Ultrassom

O ensaio de ultrassom consiste basicamente em introduzir no material a ser inspecionado, através de um transdutor acoplado na superfície do mesmo, uma vibração de alta frequência fazendo com que a estrutura cristalina do material vibre. Essa vibração é transmitida de volta ao transdutor que através do seu cristal com propriedades piezelétricas as envia em forma de corrente elétrica para o aparelho,

esse demonstra na tela o pico gerado por tal vibração e com base nas curvas de referencia é feita a interpretação dos resultados.

Na figura 11 temos um exemplo pratico do ensaio de ultrassom, onde o aparelho é representado por uma tela e o transdutor em contato com a peça demonstra o comportamento da vibração dentro do material e como uma descontinuidade é detectada.

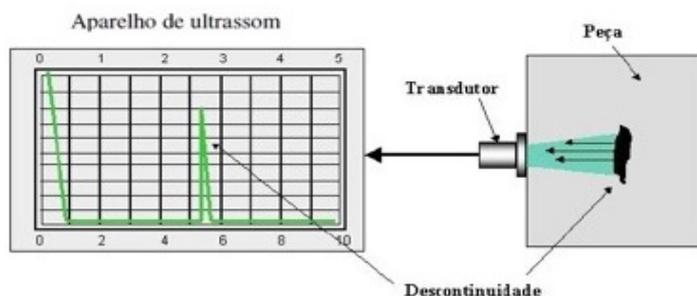


Figura 11 - Demonstração ensaio de Ultrassom. Fonte: ANDREUCCI (2011)

3.3.1. O aparelho de ultrassom

Os componentes básicos de um aparelho de ultrassom são: fonte de energia, circuito gerador e receptor de pulsos, mostrador de sinais, transdutor e cabos de ligação. A fonte de energia é responsável pelo fornecimento de energia a aparelhagem de forma constante e sem interrupção, nos aparelhos mais novos ela foi substituída por pilhas ou baterias recarregáveis. O circuito gerador e receptor de pulsos juntamente com o mostrador de sinais compõe a CPU do aparelho, é justamente o cérebro do equipamento, que envia a corrente elétrica para o transdutor de forma constante pelo período de tempo pré-determinado, e recebe a corrente gerada pelo transdutor demonstrando assim o eco na tela.

Cabeçote ou transdutor é onde se localiza o cristal piezo-elétricos que recebe a corrente da CPU e transforma em vibração a ser enviada para a peça, fazendo o oposto quando recebe a vibração emitida pelo material.

As ondas ultrassônicas são geradas ou introduzidas no material através de um elemento emissor com uma determinada dimensão e que vibra com uma certa

frequência. Este emissor pode se apresentar com determinadas formas (circular e retangular). Tanto o elemento emissor e receptor, são denominados transdutores, também designados por cabeçotes (ANDREUCCI 2011).

A figura 12 é uma foto tirada durante uma inspeção com ultrassom em uma junta soldada utilizando um aparelho da marca GE modelo USM GO, e um cabeçote ou transdutor angular.



Figura 12 - Inspeção com Ultrassom. Fonte: GE Company (2010)

3.3.2. Mostradores de sinais

São vários os tipos de mostradores de sinais existentes, assim como aparelhagem utilizada para a inspeção por ultrassom, mas para a técnica de pulso-eco alguns são mais comuns. O tipo de mostrador que será abordado nesse estudo é o A ou *A-Scan display*.

O mostrador tipo A (*A-Scan display*) é basicamente um gráfico amplitude versus tempo, no qual a linha horizontal em um osciloscópio representa o tempo decorrido; e as deflexões verticais, a amplitude dos ecos. O tamanho das discontinuidades pode ser estimado por comparação da altura do eco da discontinuidade com outro refletor de tamanho conhecido. A localização da discontinuidade (profundidade) é determinada através da leitura de uma escala graduada no osciloscópio do aparelho (SANTIN 2003).

A figura 13 demonstra como é a apresentação de um mostrador de sinais tipo A-Scan, esse modelo é um dos mais atuais com todas as funções digitalizadas, os ecos coloridos juntamente com as demarcações destacadas facilitam a inspeção.

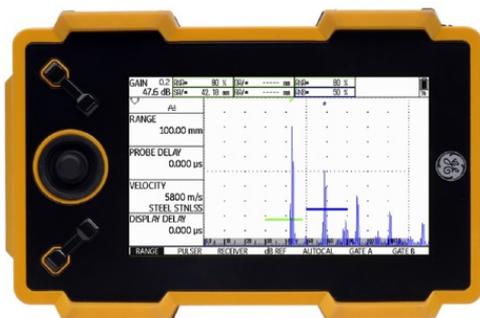


Figura 13 – Mostrador de sinais tipo A-Scan. Fonte: GE Company (2010)

Dois modos de demonstração de sinais são utilizados, o tipo radiofrequência, onde são mostrados os ciclos individuais completos de cada pulso e serve principalmente para inspeção de materiais compostos. Já o modo de vídeo, onde apenas é mostrado o sinal retificado das ondas ou ecos, e é o modo mais comumente utilizado nas inspeções convencionais.

3.4. Métodos e técnicas de inspeção

No ultrassom varias técnicas são utilizadas para se realizar a inspeção, algumas delas são muito utilizadas e outras nem tanto, variando assim a sua aplicação de acordo com a situação e o grau de dificuldade da peça em questão. O presente estudo vai tratar da técnica denominada pulso-eco, que é largamente utilizada na maioria dos ensaios de ultrassom realizados. Por se tratar de um método simples e por exigir poucos equipamentos e acesso a apenas uma das superfícies do material é muito popular entre os inspetores de ultrassom.

3.4.1. Técnica Pulso-Eco

Na técnica pulso-eco o transdutor que está em contato com a peça a ser ensaiada é acoplado e transmite a vibração do cristal para o material em intervalos regulares de tempo, essa vibração percorre a peça e encontrando ou não alguma superfície refletora retorna ao transdutor, gerando assim um sinal que o aparelho traduz para a tela em formato de eco.

Para o acoplamento do transdutor é utilizado um acoplante, que consiste em um material gelatinoso cuja principal finalidade é remover o ar entre o transdutor e a peça.

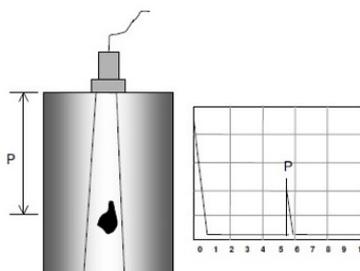


Figura 14 – Técnica Pulso-Eco. Fonte: ANDREUCCI (2011)

A figura 14 ilustra como a técnica é aplicada e como o aparelho demonstra a existência de uma descontinuidade. A letra P faz referência a distancia do transdutor até a descontinuidade e como o eco na tela do aparelho indica a sua localização exata dentro da peça. Após ser encontrada, a descontinuidade é investigada através de uma varredura, onde a mesma é dimensionada e diferenciada e em cima disso aplicado o critério de aceitação, que pode aprovar ou reprovar o material que contem a descontinuidade.

3.5. Calibração e aferição do aparelho de ultrassom

Assim como todos os ensaios não destrutivos, o ultrassom precisa de padrões para servir de comparação na hora de se inspecionar uma peça ou material. Esse padrão é comparado com a escala do aparelho a partir de um processo de calibração, nesse processo alguns blocos contendo descontinuidades conhecidas e em localização padronizadas por norma são inspecionados para se ter certeza que o aparelho irá detectar as possíveis descontinuidades encontradas nos materiais a serem ensaiados.

As reflexões provenientes de descontinuidades ou outras interfaces aparecem na tela do aparelho na forma de sinais eletrônicos. Como a escala horizontal da tela do aparelho é uma escala de tempo, a posição destes sinais na tela é que determina a localização ou profundidade da descontinuidade ou interface (SANTIN 2003).

Para a correta calibração do aparelho alguns blocos padrão são especificados por diversas normas, mas no Brasil os blocos mais conhecidos e utilizados são o V1 e V2.

Eles podem ser utilizados de forma complementar um do outro ou de forma isolada, não havendo a necessidade de ambos serem levados para frente de serviço a todo o tempo em que o inspetor precisar calibrar o aparelho.

3.5.1. Calibração e ajuste da sensibilidade

O processo de calibração da sensibilidade do aparelho é a mais importante a ser executada antes do início da inspeção de uma peça utilizando o ensaio de ultrassom. Essa calibração consiste em ajustar o controle de ganho do aparelho, que por padrão é apresentado em dB (decibéis) para que sejam detectadas descontinuidades importantes e desprezadas as que não vão interferir na integridade da peça. Essa calibração é feita com o auxílio de blocos contendo furos e espessura padronizados de acordo com as características das peças a serem ensaiadas.

Na figura 15 está demonstrado como a sensibilidade do aparelho é calibrada e a construção das curvas de referência, que consiste justamente em um método de análise de descontinuidades encontradas baseando-se na quantidade de energia sônica que é consumida pela descontinuidade. O transdutor é colocado primeiramente na posição 1 de modo a detectar o furo do bloco com a maior amplitude possível, por estar próximo do mesmo. Na posição 2 o eco na tela do aparelho é mais alto pois a profundidade do furo é maior do que o da posição 1. Nas posições 3 e 4 do transdutor no bloco de referencia as amplitudes são mais baixas devido a energia perdida pelos ecos durante o percurso dentro da peça. Após esses passos são construídas as curvas de referencia localizadas a 80%, 50% e 20% da amplitude total da tela.

No exemplo contido na figura, apenas a curva de 80% foi construída, pois a peça a ser inspecionada não necessita que as outras curvas sejam utilizadas.

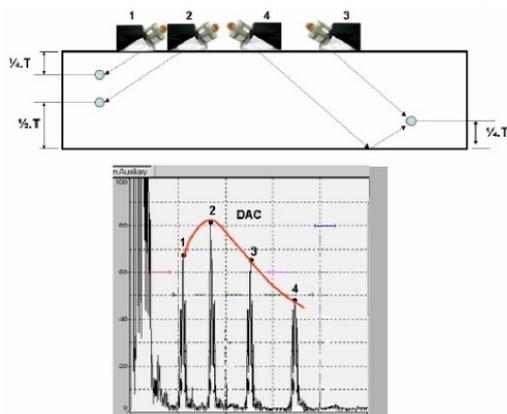


Figura 15 – Calibração da sensibilidade. Fonte: ANDREUCCI (2011)

3.6. Localização e identificação de descontinuidades

No ensaio de ultrassom a localização está das descontinuidades é possível, diferentemente de outros ensaios, como no caso da radiografia. No ensaio de radiografia a peça ensaiada recebe um filme em uma de suas interfaces, e se a descontinuidade não estiver alinhada com aquela interface provavelmente não aparecerá no filme após a revelação do mesmo. Já no ultrassom quando uma descontinuidade é detectada, a mesma é investigada por uma serie de movimentos com o auxilio dos transdutores realizados pelo inspetor. Esses movimentos geram ecos na tela do aparelho, com base nisso o inspetor sabe a localização transversal e longitudinal bem como a profundidade e as dimensões desse defeito.

A figura 16 ilustra a correta seqüência de movimentos para se investigar uma descontinuidade detectada, na parte superior da figura está um cordão de solda com possíveis defeitos esféricos. O movimento 1 refere-se a movimentação lateral e serve para determinar dimensões da descontinuidade no sentido longitudinal. O movimento 2, determina a altura da descontinuidade em relação a espessura da peça inspecionada, nesse movimento a amplitude do eco gerado na tela do aparelho varia de forma crescente. Se essa amplitude não tiver tanta variação significa que a descontinuidade possui dimensões elevadas. Nos movimentos 3 e 4 é gerada uma rotação que determina a sensibilidade direcional da descontinuidade.

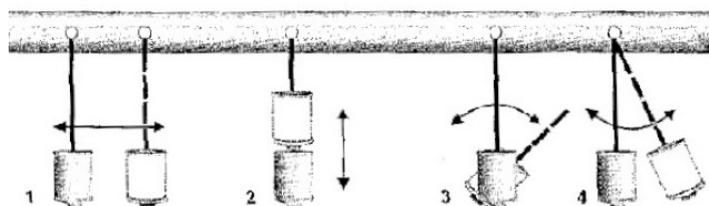


Figura 16 – Movimentos do cabeçote. Fonte: SANTIN (2003)

Todos esses movimentos precisam ser executados em ambos os lados da solda, sempre no metal de base que margeia o cordão de solda, esse processo juntamente com os tipos de ecos visualizados indicarão o tipo de descontinuidade que foi encontrada.

A seguir serão descritas algumas descontinuidades encontradas em juntas soldadas e investigadas com os movimentos do cabeçote anteriormente citados.

3.6.1. Tipo de descontinuidade: Falta de fusão

Essa descontinuidade localiza-se na linha de fusão e possui geralmente uma superfície lisa, seguindo a geometria do chanfro. O eco que essa descontinuidade gera quando detectada é de formato estreito, não serrilhado e sensível aos movimentos de rotação, podendo determinar facilmente as suas dimensões conforme aplicação das curvas de referencia.

Na figura 17 estão demonstrados os comportamentos do eco gerado pela descontinuidade aos movimentos feitos pelo transdutor durante a varredura do material, tanto no movimento 1 quanto no 2 o eco tem pouca alteração na sua amplitude. Já nos movimentos 3 e 4 o eco toma a forma estreita e revela que a descontinuidade é extensa longitudinalmente em relação ao cordão de solda.

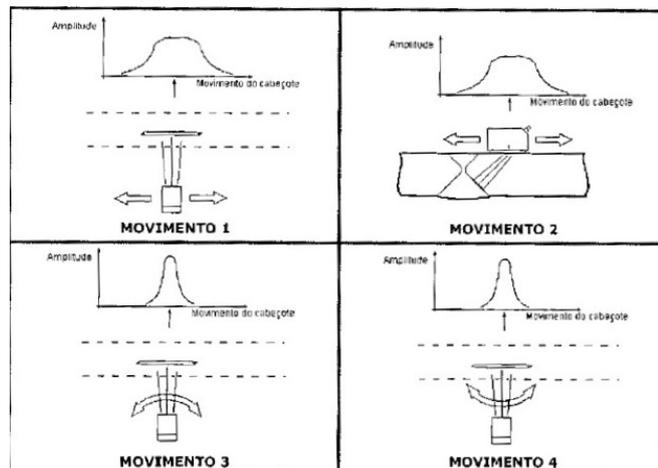


Figura 17 – Falta de fusão. Fonte: SANTIN (2003)

3.6.2. Tipo de descontinuidade: Trinca

As trincas podem estar localizadas na linha de fusão do cordão de solda, no reforço da solda ou no metal de base, possuindo uma superfície irregular proveniente do seu surgimento como ruptura da estrutura granular do metal.

Na figura 18 os movimentos do cabeçote geram uma característica própria desse tipo de descontinuidade, em 1 e 2 a amplitude do eco gerado tem grande variação devido a sua superfície irregular, que gera diversas interfaces de reflexão. Nos movimentos 3 e 4 o eco perde amplitude a medida que o feixe deixa de atingir a descontinuidade de modo perpendicular, mas nota-se o surgimento de novos ecos com menos intensidade.

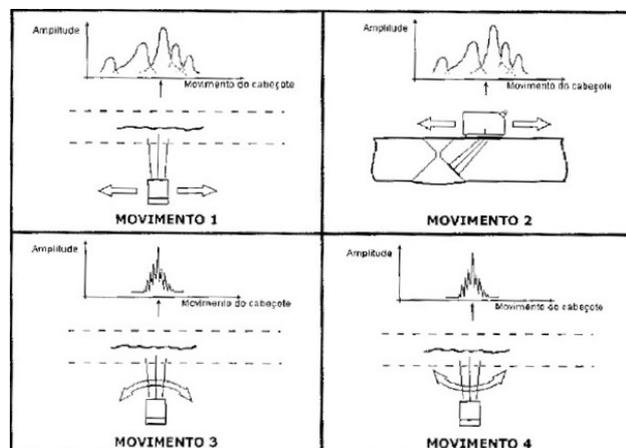


Figura 18 – Trinca. Fonte: SANTIN (2003)

3.6.3. Tipo de descontinuidade: Poro

Localizado no interior da junta soldada é proveniente de gases que não foram expulsos durante a solidificação da poça de fusão, por tanto apresenta uma superfície lisa. Gera um eco de baixa amplitude, estreito e não serrilhado, mas bastante sensível ao movimento orbital do cabeçote.

Na figura 19 os movimentos 1, 2 e 3 geram um eco com a mesma amplitude, sem variação na sua altura ou dimensão em relação a tela do aparelho. Já o movimento 4, por se tratar de deslocamento orbital, transforma o eco em uma linha constante e com máxima amplitude.

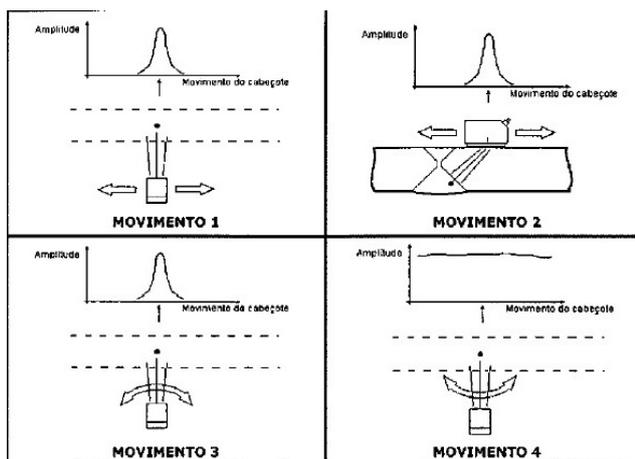


Figura 19 – Poro. Fonte: SANTIN (2003)

3.7. Avaliação de descontinuidades e critérios de aceitação

Após alguma descontinuidade ser encontrada em uma junta soldada, ela precisa passar por um processo de investigação, o qual foi citado anteriormente, e com base nisso e nos padrões e normas que regem a aplicação do ensaio julgar se aquele defeito é prejudicial ou não para a junta. Esses padrões geralmente são elaborados por empresas que aplicam o ensaio de ultrassom em suas instalações ou instituições que promovem a qualificação dos procedimentos e profissionais envolvidos. Porem

todos esses procedimentos são baseados em normas como a ASME, que estabelece a forma correta de aplicação do ensaio e o critério de avaliação dos defeitos ou descontinuidades encontradas.

Segundo Andreucci (2011, p. 70), em geral as descontinuidades são julgadas pelo seu comprimento, e amplitude do eco de reflexão, que são quantidades mensuráveis pelo inspetor de ultrassom. Entretanto, algumas normas, estabelecem que o tipo da descontinuidade encontrada também deva ser avaliada e decisiva na aceitação ou rejeição da junta soldada. Por exemplo: se o inspetor interpretou uma indicação como trinca, falta de fusão ou falta de penetração, a junta soldada deve ser rejeitada, independente do seu comprimento ou amplitude de eco na tela do aparelho, de acordo com o Código ASME.

Conforme o código ASME Sec. VIII Div. 1, Div. 2 e Sec. I (tradução livre), Imperfeições as quais produzirem uma resposta maior que 20% do nível de referência deve ser investigada a extensão para que o operador possa determinar a forma, identificar, e localizar tais indicações e avaliar as mesmas em termos do padrão de aceitação dado em (a) e (b) abaixo.

(a) Indicações caracterizadas como trincas, falta de fusão ou penetração incompleta são inaceitáveis independente do comprimento;

(b) Outras imperfeições são inaceitáveis se indicações excedem o em amplitude o nível de referência e tenha um comprimento que exceda:

$1/4$ pol. (6,0 mm) para t até $3/4$ pol. (19 mm);

$1/3.t$ para t de $3/4$ (19 mm) até $2.1/4$ (57,0 mm);

$3/4$ pol. para t acima de $2.1/4$ pol. (57,0 mm)

Onde t é a espessura da solda excluindo qualquer reforço permitido. Para juntas soldadas de topo onde dois membros tendo diferentes espessuras de solda, t é a mais fina dessas duas espessuras. Se uma solda de penetração total inclui uma solda de filete, a espessura da garganta do filete deve ser incluída em t .

Com base nesse critério de avaliação e aceitação de descontinuidades encontradas, o inspetor pode conservar junto com descontinuidades aceitáveis pela norma sem que as mesmas fossem condenadas por outros ensaios não destrutivos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve por objetivo demonstrar que a diferenciação de descontinuidades encontradas em juntas soldadas pelo ensaio de ultrassom é muito mais preciso em comparação com os outros END. Seja em serviços de reparo de equipamentos de processo, fabricação de navios ou peças metálicas empregadas em máquinas de grande porte, as técnicas de inspeção com ultrassom são usadas largamente nas indústrias petroquímicas, petrolíferas, nuclear e naval. O estudo de caso desse artigo utilizou como exemplo a aparelhagem com mostrador do tipo A-Scan e cabeçotes angulares.

Como anteriormente mencionado as juntas soldadas merecem uma atenção exclusiva, pois a depender dos critérios que forem usados na hora da sua construção algumas descontinuidades podem surgir e ocasionarem perda de qualidade da mesma, inviabilizando o processo de fabricação ou reparo. Dai surge a correta avaliação da qualidade dessas juntas através de ensaios não destrutivos, mas com isso observa-se que uma grande maioria dos ensaios apenas consegue dizer se ha ou não uma descontinuidade no material analisado. No caso do ultrassom quando alguma descontinuidade é encontrada na junta, ela é investigada através das técnicas disponíveis, e após a confirmação se a mesma se configura em um defeito os dados referentes a sua correta localização e volume são revelados. Com os dados em mãos o inspetor recorre ao critério de aceitação que é estabelecido pela norma aplicada e julga qual ação é mais correta.

**Evaluation and identification welded joint's discontinuities using
ultrasound with A-Scan visualization – Higher efficiency than other tests.**

Eduardo Tourinho Santana (SENAI CIMATEC) - tourinho81@gmail.com¹

ABSTRACT

Among the known methods of inspecting the equipment that stand out are best known as NDT nondestructive testing. The test is an ultrasound NDT that can be considered as the most practical and widely used, with relative ease of application and immediate report. He is employed in the analysis of welded and predictive evaluations in their daily use in field structures. Objective with this study demonstrate that the differentiation of discontinuities found in welded joints by ultrasonic testing is much more accurate compared to the other END because it can accurately measure and locate the defect in the tested piece, unlike the test radiography can only tell whether or not a discontinuity. Whether in repair of process equipment, fabrication of vessels and metal parts used in large machines, service inspection techniques with ultrasound are widely used in petrochemical, oil, nuclear and naval. To construct this work we take as an example the stereo display with type A-Scan and angle heads.

Keywords: Inspection by ultrasound; A-Scan; welded joints.

REFERÊNCIAS

American Society for Testing and Materials – ASTM. Standard Specification for Ultrasonic Angle-Beam Examination of Steel Plates. A577 / A577M (Reapproved 2012).

American Petroleum Institute Standards - API STANDARD 620. Design and Construction of Large, Welded, Low-Pressure Storage Tanks, 11 ed. 2002.

American Society of Mechanical Engineers - ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section V . 2013.

American Society of Mechanical Engineers - ASME Requirements Pertaining to Methods of Fabrication of Pressure Vessels, Section VIII. 2013.

ANDREUCCI, R., Ensaio por Ultrassom, Ed. Set., 2011.

ANDREUCCI, R., Ensaio por Partículas Magnéticas, 2^ª Ed. Jul., 2002.

ANDREUCCI, R., Ensaio por Líquidos Penetrantes, Ed. Jun., 2013.

ANGELO, J. D. , A Tecnologia da Soldagem na Recuperação de Equipamentos Industriais, In:8a COTEQ - Conferência Sobre Tecnologia de Equipamentos, Bahia, 2005.

BARROSO, Fábio de Andrade. Projeto e desenvolvimento de um sistema intercambiável para inspeção em dutos de petróleo e gás. João Pessoa - PB, 2011.

CERQUEIRA, Alexsinaldo da Silva. Avaliação da Técnica de Ultrassom Phased Array na Inspeção de Juntas Soldadas Dissimilares e Cladeadas com Diferentes Espessuras de Amanteigamento. Porto Alegre – RS, 2009.

FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, Nondestructive Evaluation (NDE) Web Manual, Version 1.0, Ed. Nov., 2015 (Disponível em <<https://fhwaapps.fhwa.dot.gov/ndep/Default.aspx> >)

FOWLER, Kenneth A.; HOTCHKISS, Frederick H. C.; YAMARTINO, Tom V.; Nelligan, T. *Important Characteristics of Sound Fields of Ultrasonic Transducers*. Estados Unidos da América, 2012.

GARCIA, Amauri; SPIM Jaime Alvares; SANTOS, Carlos Alexandre dos. Ensaio dos Materiais. Rio de Janeiro. LTC. 2000, 247 p.

LOPES, Diego; FARIAS, Cláudia; ALBUQUERQUE, Maria Cléa; OLIVEIRA, Teodoro; SOUZA, Inaian Suede. Visão Geral Sobre a Inspeção em Cordões de Solda Através de Técnicas Não Destrutivas Ultrassônicas. Salvador, 2010.

Marcello Consonni Author, Chen Fun Wee Coauthor and Charles Schneider Coauthor TWI Ltd, *Manufacturing of welded joints with realistic defects, Paper presented at NDT 2011 - 50th annual conference of the British Institute of Non-Destructive Testing*, 13-15 Sept. 2011.

MODENESI, P. J. , Descontinuidades e Inspeção em Juntas Soldadas, Apostila Soldagem I, UFMG, 2000.

MODENESI, P. J., MARQUES P. V., Introdução aos Processos de Soldagem, Apostila Soldagem I, UFMG, 2005.

MR Chemie. < <http://www.mr-chemie.de/produkte/eindringpruefung/beschreibung/> >
Acesso em 07 de Agosto de 2017.

NETO, Otávio S. Gadelha; SOBRINHO, Carlos A.; SANTOS, Neilor C.; SILVA, Edgar M. Caracterização de Micro Estruturas por Ensaio de Ultra Som em Aço 1045. João Pessoa – PB, 2007.

OLIVEIRA, Antônio Guilherme de; MURY, Silva. Inspeção Radiográfica e Por Ultrassom de Juntas Soldadas de Alumínio Liga 6063. Rio de Janeiro, 1980.

PEREIRA, João Adriano Vieira. Estudo e Aplicação de Ensaio Não Destrutivos Líquidos penetrantes, Ultra sons, Radiografia digital – Técnica tangencial medição de espessuras. Portugal, 2013.

Petrobras N-1738 Descontinuidades em Juntas Soldadas, Fundidos, Forjados e Laminados REV. C, 2011.

Petrobras N-1594. Ensaio Não Destrutivo - Ultrassom em Solda. REV. H, 2013.
GE Sensing & Inspection Technologies. USM Go: 2.08 2013.

Portal LinkedIn, Buehler – *Hardness Testing – To Map or Not to Map??* Disponível em:
< <https://www.linkedin.com/pulse/hardness-testing-map-evans-mogire> > Acesso em 31 de julho de 2017.

QUITES, Almir. Terminologia da soldagem: imperfeições dimensionais, de propriedades e descontinuidades. Florianópolis – SC, 2011.

Revista Solução. Contagem – MG: ESAB. Edição Especial. Abril 2005.

Revista de divulgação do projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense, BOLSISTA DE VALOR, V.2, N.1, P. 271-275, 2012.

RODOVALHO, Tainá Gomes. Medição da Velocidade da Onda Ultrassônica Longitudinal em Compósitos de Fibra de Carbono/Epóxi. Campinas, 2012.

S Fisher, BNFL, Dr C A Olivier, TWI and S T Riches, TWI, *Optimisation of plasma control parameters for Nd:YAG laser welding of stainless steel enclosures*, Presented at 7th NOLAMP Conference, Lappeenranta, Finland, 1999.

SANTIN, Jorge Luiz. Ultra-som: técnica e aplicação. 2. ed. Curitiba. Pró End. 2003 276 p.

SOUZA, Ricson Rocha. Controle de Qualidade e END; Estanqueidade. Grupo de Mecânica Aplicada. Definição de END. Ensaios Não-Destrutivos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO, Fábio Décourt Homem de. Soldagem Processos e Metalurgia. São Paulo. 1992, 494 p.