

APLICAÇÃO DOS ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS *

Eng. Mec. Biagio Loberto **
MSc Cesar Lucio Molitz Allenstein ***

ABSTRACT

The aim of this article is to show that the Quality Control through the Non-Destructive Testing has advantages such as to control the raw-material, to reduce the maintenance and manufacture costs, and to establish the safety of machine operation, equipments or industrial products.

RESUMO

Este artigo foi elaborado com a finalidade de mostrar que o Controle de Qualidade através de Ensaio Não Destrutivo traz vantagens, seja para controlar a matéria-prima, reduzir custos de manutenção ou fabricação e garantir a segurança de operação de máquinas, equipamentos ou produtos industriais.

1. INTRODUÇÃO

As unidades modernas de geração de energia destinadas, principalmente, à melhoria de qualidade de vida, trouxeram consigo riscos de operação em virtude das altas potências geradas, sendo necessário o desenvolvimento de tecnologias que permitam controle contínuo dos materiais utilizados no processo.

Além disso, o padrão econômico moderno está baseado em disputa internacional de mercados com produtos de maior desempenho e qualidade, exigindo mais dedicação das fábricas no controle total do produto e na produção com custos controlados de manutenção.

A aplicação dos ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS — END —, no controle de qualidade e na manutenção, tem sido cada vez mais difundida pela simplicidade dos métodos, redução de custos e resultados rápidos e precisos.

Procurou-se, aqui, apresentar, de forma simplificada, conceitos relativos à escolha do método de END mais apropriado a diversos casos correntes nas unidades fabris.

(*) Artigo apresentado no II SPEIND — Seminário Paranaense de Engenharia Industrial, classificado em 3º lugar do prêmio Paraná de Engenharia Mecânica, 1987.

(**) Biagio Loberto. Engenheiro Mecânico; Professor de Ensaio de Materiais no CEFET-PR; Diretor Técnico da Engisa Inspeção e Pesquisa Aplicada à Indústria Ltda.

(***) Cesar Lucio Molitz Allenstein. Professor de Ensaio de Materiais no CEFET-PR; Mestre em Engenharia Metalúrgica e de Materiais; Diretor de Pesquisa e Desenvolvimento da Engisa Inspeção e Pesquisa Aplicada à Indústria Ltda.

2. MÉTODOS DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

Podemos classificar os END em 4 categorias principais, em função de sua aplicabilidade industrial.

- Ensaio não destrutivo utilizando radiação penetrante: radiografia e gamagrafia.
- Ensaio não destrutivo utilizando energia acústica: ultra-som.
- Ensaio não destrutivo utilizando energia eletromagnética: ensaio por partículas magnéticas e ensaio por correntes parasitas.
- Outros ensaios não destrutivos: visual, líquidos penetrantes.

3. OBJETIVOS DA APLICAÇÃO DOS END

Os END têm como principais objetivos:

1. determinar as condições dos materiais a serem empregados no processo fabril, evitando-se rejeições durante ou ao final do processo;
2. reduzir riscos de acidentes de operação pelo acompanhamento da produção de peças ou conjuntos mecânicos em condições de "Severidade";
3. garantir a qualidade, certificando o produto antes da entrega ao consumidor;
4. reduzir os custos de manutenção e produção.

A determinação das condições dos materiais, a serem empregados no processo fabril, envolviam, até alguns anos atrás, a análise química, ensaios físicos e mecânicos. Porém, uma dúvida surgia quanto a possíveis defeitos internos ou externos, que não visíveis a olho nu, poderiam ser a causa de ruptura catastrófica durante o processo de fabricação ou no próprio uso do produto.

Diversos sistemas de END foram idealizados para o controle de chapas, barras e fundidos dependendo da aplicação, a qual delimita o percentual de aceitação de defeitos.

À medida que novos processos fabris são idealizados, surgem para o homem novos desafios. As usinas nucleares, por exemplo, são uma forma de geração de energia aplicável à melhoria da qualidade de vida do homem; porém, os riscos também são grandes. A responsabilidade dos que projetam, constroem e controlam estes complexos, é muito grande, sendo necessário algum auxílio para este controle.

Nas refinarias de petróleo por exemplo, apesar do processo de extração ser conhecido e em grande parte dominado pelo homem, existem estudos constantes sobre a aceleração do processo para aumento de produção, redução de custos e em certos casos mudança nos equipamentos que venham melhorar a qualidade do produto.

Assim sendo, os equipamentos sujeitos à pressão interna, tubulações de gás, tubulações de vapor e combustíveis, reatores nucleares e outros conjuntos de unidades de processamento, devem ser controlados em operação ou paradas de manutenção quanto à corrosão interna, soldas, válvulas e outros elementos que permitam uma avaliação de estado presente para uma previsão de correção, se necessário.

A garantia da qualidade é refletida no mercado pela confiança do consumidor, no produto e na empresa produtora do mesmo.

Além disso, da qualidade também depende o sucesso comercial das empresas. Na indústria automobilística por exemplo, a preocupação pela qualidade é uma constante; tanto é que sistemas automáticos de END são, constantemente, empregados no controle de peças produzidas internamente e daquelas produzidas por terceiros, sendo que estes últimos, também, possuem sistemas similares para evitar rejeições no fornecimento.

Nas empresas de equipamentos e máquinas, a aplicação dos END também é fundamental. Assim, um processo de soldagem por exemplo, apesar do projeto e da execução serem feitos com estudo prévio para aplicação dos parâmetros e variáveis de soldagem, existe a necessidade de controlar a qualidade da solda executada.

Desta forma, qualquer empresa seja ela de geração e transmissão de energia, de produção de bens de consumo ou de capital, a preocupação com a qualidade requer, fatalmente, a utilização de um processo de controle que possa ser aplicado antes, durante e após a produção, e que não danifique o elemento que está sendo verificado.

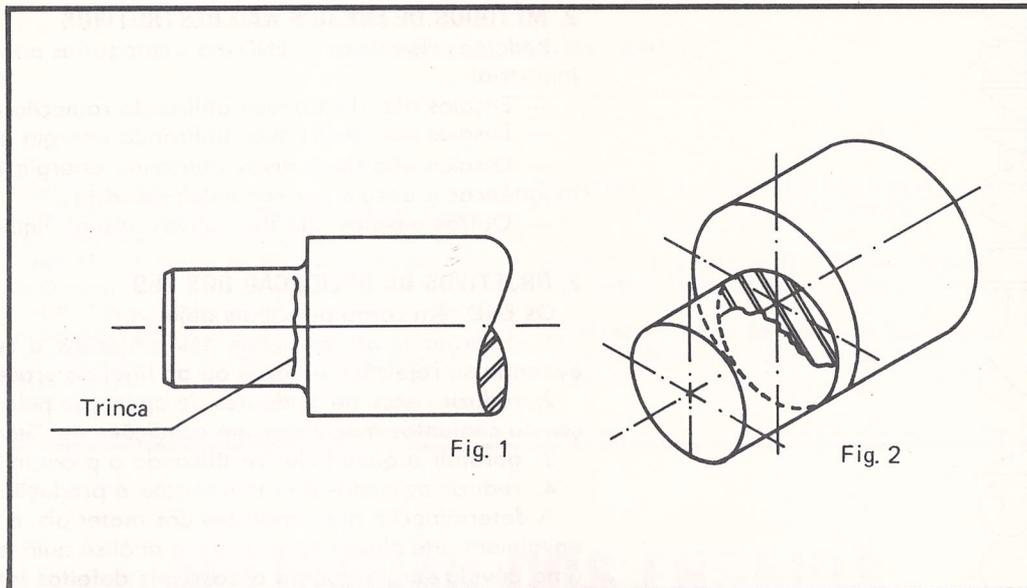
4. REDUÇÃO DE CUSTOS PELA APLICAÇÃO DOS END

4.1. Manutenção

Inspeção de Eixo de Prensa 150t — Um eixo de prensa excêntrica de 150t rompeu na redução do eixo para o excêntrico. Existia, na empresa, outra prensa similar com o mesmo tempo de vida operacional. Através do ensaio por partículas magnéticas detectou-se uma trinca conforme Figura 1. A dúvida surgia quanto à profundidade da trinca: se a mesma seria reparável ou não. Através do ensaio de ultra-som, Figura 2, obteve-se a profundidade da trinca, considerando-a reparável através de solda. Devido ao material ser aço 1045, a soldagem foi acompanhada através de ensaio por partículas magnéticas para verificar se os cordões de solda não apresentaram trincas devido ao alto carbono.

Neste caso, o custo de confecção do eixo novo seria 3,5 vezes o custo para execução do reparo.

Além disto para confecção do eixo novo, as fábricas estavam solicitando 60 dias, ao passo que para o reparo com acompanhamento pelos ensaios seriam necessários apenas 5 dias.



4.2. Fabricação de Vasos de Pressão

O código ASME - Pressure Vessel Code Section VIII - DIV.1, 1983, fornece os elementos para dimensionamento de vasos de pressão. A espessura da parede do vaso depende se as soldas serão executadas sem controle por ensaio radiográfico, com radiografia parcial ou total, resultando em diferentes espessuras calculadas respectivamente com eficiência da junta de 75%, 85% ou 100%. Além disso, para espessuras acima de 31,75mm o código prevê tratamento térmico para alívio de tensões de todo o vaso.

O engenheiro-mecânico Luiz Fernando Pimenta realizou estudo com computador a nível de Anteprojeto de Vasos de Pressão com base nos parâmetros fornecidos pelo código, determinando, para as três eficiências de junta, dados como espessuras (t), peso de chapas (w), área (AL), volume interno (V), espessura mínima admissível (E), número de filmes radiográficos necessários para radiografar os cordões de solda, pressões máximas de trabalho admissível (P), e consumo em peso de consumíveis (Eletrodos) (WC), sendo DI o diâmetro interno do vaso.

Abaixo reproduziram-se os dados obtidos pelo engenheiro, assim como selecionaram-se duas linhas da tabela obtida pelo computador.

Estudo a nível de anteprojeto de vasos sob pressão interna

Norma Orientativa ASME - Pressure Vessel Code - Section VIII - Div. 1 - Edition 1983.

Elemento calculado - **Costado Cilíndrico** - temperatura de projeto TP (= 50 graus Celsius). Pressão de operação PO - 12 (kgf/cm²) - Pressão de projeto PP = 13.2 (kgf/cm²) - Pressão de teste PT = 19.8 (kgf/cm²).

Pressão máxima de trabalho admissível (MAWP) - P1 - P2 - P3 - em BAR.

Material utilizado - aço - **ASTM - A - 516 - 70** - Tensão de ruptura SR = 4920 (kgf/cm²) e Tensão admissível SA = 1230 (kgf/cm²).

DI	T1	T2	T3	W1	W2	W3	AL	V	E	Filme	P1	P2	P3	WC1	WC2	WC3
mm	mm	mm	mm	kgf	kgf	kgf	m ²	l/m	mm		BAR	BAR	BAR	kgf	kgf	kgf
3000	25.40	22.22	19.05	1890	1652	1415	9,5	7069	23.21	27	14.45	15.37	13.96	21.71	17.23	13.27
3300	31.75	22.22	22.22	2600	1816	1816	10.5	8553	25.53	30	16.42	13.97	14.80	35.39	18.97	18.97

Em 1 metro de altura de vaso, teremos:

Para 75% de eficiência o peso de chapas e eletrodos é respectivamente 1890 kgf e 21,71 kgf. Se radiografarmos totalmente as soldas (eficiência 100%), o peso será 1415 kgf das chapas e 13,27 kgf dos eletrodos. O custo neste último caso será 30% menor que a anterior mesmo considerando os serviços de inspeção radiográfica.

À medida que as espessuras vão aumentando, a redução de custos também é maior. No caso de um diâmetro de 3300 mm a espessura decorrente é 31,75 mm (para eficiência de 75%). Para esta espessura o código prevê Tratamento Térmico de alívio de tensões das soldas. Para eficiência de 100%, a espessura a ser utilizada seria 22,22 mm e sem necessidade de custo de Tratamento Térmico, além de redução do peso das chapas e eletrodos.

É conveniente lembrar que espessuras maiores de chapas demandam equipamentos de elevação e conformação mais potentes, resultando em custos de energia maiores para soldagem e maior número de homens/hora.

5. APLICAÇÃO DOS END EM FUNÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DA EMPRESA

As empresas da área metal mecânica têm procurado incluir, no Departamento de Controle de Qualidade, os END, principalmente aquelas cujo projeto final exige um desempenho satisfatório em termos de segurança e durabilidade em meios agressivos.

No que tange às empresas de bens de consumo, a aplicação dos END tem mais uma característica de controle de qualidade, para garantir ao consumidor um produto durável e de manutenção mínima.

Nas empresas montadoras de complexos industriais, tais como a área nuclear, petróleo e transmissão de energia, os END são aplicados nos controles das soldagens realizadas nas montagens de tubulações, tanques de armazenamento de líquido e gases. Convém ressaltar, porém, que a inspeção realizada nos diversos componentes, a serem montados, é realizada previamente no domicílio do fornecedor.

A tabela a seguir fornece alguns tipos de ensaios realizados em função das características da empresa produtora.

6. NORMAS E PROCEDIMENTOS DE INSPEÇÃO

A normalização dos END vem sendo estudada constantemente no Brasil pelas empresas, centros de pesquisa e Institutos de Tecnologia. Além disso, no Brasil a ABENDE — Associação Brasileira de Ensaios não Destrutivos —, não tem medido esforços para congrega aqueles que, diariamente, deparam com problemas de inspeção. Cursos têm sido promovidos na área, pela ABENDE com intuito de qualificar pessoal. A PETROBRÁS tem desenvolvido processos e análise de métodos aplicáveis em suas unidades e cujos resultados têm sido extremamente favoráveis ao desenvolvimento dos END.

Porém, com base na normalização existente, é necessário que as empresas elaborem procedimentos de inspeção de seus produtos e apliquem estes procedimentos para controlar a qualidade.

Elaborar um procedimento é relativamente simples; porém, deve-se verificar quatro itens de fundamental importância:

1. quais as normas existentes a respeito do ensaio a ser realizado;
2. que tipo de defeito o produto pode apresentar;
3. qual a seqüência para a procura do defeito;
4. qual o equipamento, ou produto de END, mais adequado para a descoberta do defeito.

Atendidos estes itens, os resultados da inspeção serão sempre confiáveis.

7. IMPORTÂNCIA DE ESCOLHA DO MÉTODO E IMPORTÂNCIA DO OPERADOR/INSPETOR

Antes de escolher o método de teste, deve-se saber qual é a descontinuidade que se está procurando e saber qual o perigo que ela oferece à peça.

De nada adiantará, por exemplo, estar interessado na detecção de uma descontinuidade interna e lançar mão do ensaio PM (detecta somente defeitos superficiais e subsuperficiais).

Por outro lado, não interessa detectar a menor descontinuidade de uma peça fundida, quando se sabe que ela, para o serviço proposto, não acarretará nenhum problema ou perigo.

Existem casos, entretanto, em que se deve lançar mão de mais um método de ensaio para garantir a qualidade da peça; por exemplo, RG e PM. Construções de alta responsabilidade requerem, via de regra, a utilização de, pelo menos, dois métodos de END.

No atual desenvolvimento tecnológico, desenvolvem-se materiais sofisticados para emprego em artefatos cada vez mais complexos. Os métodos de fabricação tendem a acompanhar esse desenvolvimento e, portanto, são, cada dia, mais complexos.

É fácil verificar a importância dos END dentro desse sistema. Eles são uma das ferramentas das mais importantes no atual controle da qualidade. É necessário, portanto, que sejam bem projetados, bem executados e avaliados corretamente.

Os END são métodos altamente dependentes do inspetor que os realiza. Se este erra, a avaliação pode ser completamente errada.

8. A INSPEÇÃO NÃO DESTRUTIVA E A MECÂNICA DA FRATURA

Os métodos utilizados nos laboratórios de propriedades mecânicas, aliados à utilização de equipamentos sensíveis para a medição de cargas e deformações, permitem a determinação de parâmetros que traduzem o comportamento de um dado material quando solicitado mecanicamente, mesmo que neste material existam descontinuidades tais como trincas.

Convencionalmente, a aceitação ou rejeição de uma dada descontinuidade é feita pelo uso dos códigos ou normas de referência para o projeto do equipamento. No caso específi-

APLICAÇÃO DOS END EM FUNÇÃO DO TIPO DE EMPRESA						
PRODUTO	EMPRESA PRODUTORA	ITENS DE INSPEÇÃO	TIPOS DE DESCONTINUIDADE	ENSAIO(S) MAIS CORRENTE(S)	TIPOS DE ENSAIO Manual Automático	OBSERVAÇÕES
1. Laminados planos e não planos de Aço	SIDERÚRGICA	Descont. Internas Descont. Externas	Dupla Laminado Segregação Inclusões Gasosas Trincas Porosidade	Ultra-som Líquidos Penetrantes e/ou Partículas Magnéticas	X X	A solicitação para certificados de qualidade dos Ensaio, deverá ser feita pelo adquirente com base no projeto do equipamento a ser construído com estes tipos de materiais. Solicitação mais frequente: chapas para caldeiras e vasos de pressão, eixos para indústria naval, eixos de laminadoras. Manual para peças de pequena produção.
2. Peças Fundidas em Aço	FUNDIÇÃO	Descont. Internas Descont. Externas	Trincas Inclusões Gasosas Segregação Escória Trincas Porosidades	Ultra-som Raios X Raios γ Líquidos Penetrantes Partículas Magnéticas	X X	Automático para peças em série.
3. Peças Fundidas em FOFO	FUNDIÇÃO	Descont. Internas Descont. Externas	Trincas Segregação Escória Trincas Porosidade	Ultra-som Raios X Raios γ Partículas Magnéticas Partículas Penetrantes	X X	O tipo de distribuição intergranular, no ferro fundido dificulta o ensaio de ultra-som Automático para peças em série.
4. Equipamentos de Indústrias de Processamento e Transmissão de energia em operação.	QUÍMICA PETROQUÍMICA PAPELEIRA ENERGIA ELÉTRICA SANEAMENTO NUCLEAR	Descont. Internas Descont. Externas	Trincas de Fadiga Corrosão por PIT Trincas em soldas Corrosão	Ultra-som Raios X Raios γ Partículas Magnéticas Líquidos Penetrantes Eddy Current	X X	A realização do ensaio de ultra-som para medida da espessura de corrosão é feito numa programação que depende do meio corrosivo e abrange tubulações sob pressão, transporte de combustíveis, tanques e recipientes de pressão. A realização do ensaio de Raios X e ultra-som abrange as soldas e elementos sob carga dinâmica oscilante ou não.
5. Equipamentos para Indústrias de Processamento e Transmissão de Energia pré-operação	QUÍMICA PETROQUÍMICA ENERGIA ELÉTRICA PAPELEIRA SANEAMENTO NUCLEAR	Descont. Internas Descont. Externas	Trincas Porosidade Inclusões Trincas Porosidades	Ultra-som Raios X Raios γ Partículas Magnéticas Líquidos Penetrantes	X X	Os ensaios, neste caso, são realizados para certificação do produto fornecido pelas empresas do grupo I, pela Empresa Produtora do Equipamento na construção dos elementos e pela montadora, no campo após a montagem. Normalmente os END são realizados nas soldas de união dos diversos elementos.
6. Bens de Consumo AUTOMOTORES	VEÍCULOS AUTOMOTORES	Descont. Internas Descont. Externas	Trat. Térmico Inclusões Trincas Trefilação Estampagem	Ultra-som e/ou Raios X PM, LP MAGNATEST	X X X	Neste tipo de Empresas os ensaios são feitos pelo fornecedor das peças com acompanhamento de inspetores da fábrica na recepção das peças. Normalmente os processos de ensaio são automáticos e projetados especialmente para o tipo de controle exigido.

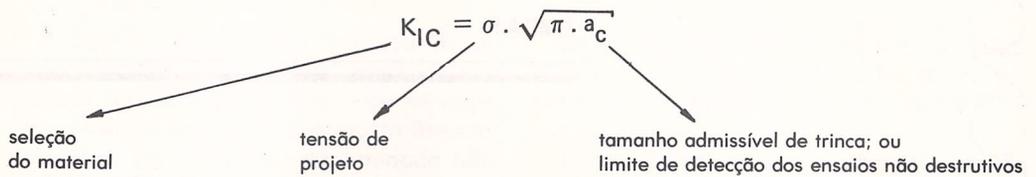
co de vasos de pressão é muito comum o uso do código ASME-sec. VIII, ou para estruturas as normas AWS - American Welding Standard. Estes códigos não aceitam trincas como possíveis de existirem nas estruturas, vaso, linhas, etc.

Com o desenvolvimento dos métodos acima citados, com a utilização de procedimentos para a análise de tensões, aliados ao grande desenvolvimento nos métodos não destrutivos, uma nova filosofia tem sido usada, hoje, no projeto, na inspeção e no desenvolvimento de novos materiais. Esta nova filosofia, conhecida como mecânica da fratura, consta de carregação entre tenacidade à fratura, tensão mecânica, e tamanho e geometria de trincas.

A tenacidade à fratura é obtida via medição em laboratório do fator crítico de intensificação de tensões (K_{IC}). Os valores de K_{IC} expressam a tenacidade à fratura em deformação plana. Estes valores são sensíveis às variáveis do processamento do material, tais como temperatura de cominação, composição química, microestrutura e outras. Dizemos que K_{IC} está para fratura como tensão de escoamento está para a resistência mecânica.

A obtenção dos valores de K_{IC} é efetuada numa máquina de tração capaz de medir e registrar cargas e aberturas de trinca num corpo de prova pré-fissurado por fadiga. A norma ASTM E 399-707 estabelece as condições para execução do ensaio. Os valores de K_{IC} são expressos no sistema internacional de unidades em $\text{MPa} \sqrt{\text{m}}$, ou no sistema inglês em $\text{ksi} \sqrt{\text{in.}}$

O conhecimento preciso dos valores de K_{IC} , o conhecimento da tensão atuante, nos permite o uso da seguinte condição:



Esta equação pode ser usada de várias formas, por exemplo, se estamos construindo um equipamento para atmosfera agressiva, como ocorre nas indústrias de processamento, a preocupação inicial estará em escolher um material resistente à corrosão. Uma vez isto feito, fixa-se o valor de K_{IC} . Se optamos pela presença de grandes e estáveis trincas que possam facilmente ser detectadas e reparadas, devemos manter a tensão de projeto menor que $K_{IC} / \sqrt{\pi a_c}$.

A grande utilidade desta equação é o fato de podermos decidir o que é mais preponderante no projeto de um dado equipamento. Se as propriedades do material, o nível da tensão do projeto e as implicações desta no peso e custo do equipamento, ou o tamanho crítico de trincas que podem proporcionar segurança na operação do equipamento. Uma vez que a lista de prioridades seja feita, certas decisões serão então tomadas.

Nas juntas soldadas inúmeros tipos de descontinuidade podem ocorrer. É realmente difícil obter uma junta isenta de problemas; por este motivo dizemos que nos é forçada a condição da "convivência" com descontinuidades.

Os problemas encontrados em juntas soldadas vão desde as trincas de hidrogênio, altamente perigosas; trincas a quente; inclusões de escória; falta de fusão; falta de penetração; porosidades; mordeduras, distorção e tensões residuais.

O Welding Handbook volume 1¹⁵, apresenta uma aplicação interessante da mecânica da fratura em vasos de pressão.

Uma adaptação desta equação, quando se introduz o fator de forma da trinca Q_{CF} é assim escrita:

$$a_{cr} = \frac{Q_{CF}}{1,21 \pi} \left(\frac{K_{IC}}{\sigma} \right)^2$$

Sendo a_{cr} o tamanho crítico da trinca, o fator de forma Q_{CF} pode ser calculado para uma dada razão entre a profundidade e o comprimento de trincas. Portanto, se o valor de K_{IC} é precisamente obtido, podemos facilmente calcular o tamanho crítico das trincas para uma dada tensão de trabalho.

Rolf e Gross¹⁵ têm usado a relação acima na determinação dos tamanhos críticos de defeitos para aços usados na construção de vasos de pressão. Infelizmente é observado que o tamanho crítico de trincas diminui muito com o aumento da tensão e também é fato conhecido que o aumento da tensão de escoamento reduz a tenacidade à fratura dos materiais¹⁶. Logo o uso dos materiais de alta resistência requer métodos mais rigorosos de inspeção. A tabela 1 apresenta os valores de K_{IC} , tamanho crítico de trincas e nível de tensão atuante relacionada com a tensão de escoamento.

A trinca considerada é elíptica com comprimento igual a duas vezes a profundidade. Nesta tabela é importante observar as diferenças encontradas entre o metal de base e o metal de solda.

AÇO	$\sigma_{0,2}$ Tensão de Escoamento ksi	K_{Ic} ksi $\sqrt{\text{in}}$	Tamanho de Trinca na tensão indicada em % da tensão de escoamento				Tensão de Projeto	
			100	75	50	25	σ_d ksi	% da Tensão de Escoa- mento
METAL DE BASE								
Aço Carbono	40	80	1,29	2,48	5,90	24,0	46	115
A517F	110	170	0,76	1,49	3,53	14,5	100	91
5Ni-Cr-Mo-V	140	245	1,04	1,98	4,72	19,2	143	102
12Ni-5Cr-3Mo	180	180	0,32	0,62	1,47	6,02	115	64
18Ni-Co-Mo	200	130	0,14	0,27	0,62	2,53	79	40
18Ni-Co-Mo	250	80	0,05	0,06	0,15	0,62	49	20
METAL DE SOLDA (DEPÓSITO)								
Aço Carbono	50	120	1,90	3,50	8,50	35,0	51	102
A517F	118	190	0,84	1,60	3,75	14,6	123	104
5Ni-Cr-Mo-V	140	225	0,84	1,64	3,81	15,50	130	93
12Ni-5Cr-3Mo	180	170	0,29	0,56	1,31	5,37	106	59
18Ni-Co-Mo	200	120	0,12	0,22	0,53	2,17	73	37
18Ni-Co-Mo	250	70	0,03	0,05	0,11	0,46	43	17

TABELA 1

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE (Seção V - Artigos 2, 5, 6 e 7. — Seção VIII - Divisão II.)
- ROSSI, Oswaldo. Líquidos Penetrantes — Princípios Físicos Químicos, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS — ABEND. 1983.
- NIPPOM STEEL CORPORATION, Information in Group Training Course of Properties and Testing of Steel Products — JAPAN INTERNACIONAL COOPERATION AGENCY - JICA.
- RICHARDSON, E.G. Ultrasonic Physics, Amsterdam. 1962.
- I.I.W — INTERNATIONAL INSTITUTE OF WELDING. Recommendations for Ultrasonic Examination of Welds.
- PUBLICAÇÕES PETROBRÁS.
Parte I — Princípios Básicos de Ultra-som.
Parte II — Prática de Inspeção de Materiais Metálicos por Ultra-som.
Parte III — Inspeção Ultra-sônica em Juntas Complexas de Plataformas Offshore.
- MANUAL DE CONTROLE DE QUALIDADE PLATAFORMA PM 2
a) Procedimento para exame por meio de ultra-som TENENGE/FEM/RDL/HMC/PETROBRÁS.
b) Procedimento para Detecção de Dupla Laminação através do Exame de Ultra-som.
- RUMYANTSEV, S. Industrial Radiology. Moscou.
- EASTMAN KODAK CO — RADIOGRAPHY IN MODERN INDUSTRY NEW YORK. 1957.
- LOBERTO, B.; ALLENSTEIN, C.L.M. & NOGOSECKI, W. Raios X. CEFET-PR 1976.
- Procedimento de Inspeção por Gamagrafia END E 003 - ENGISA — Inspeção e Pesquisa Aplicada à Indústria Ltda. Curitiba. 1985.
- ANTEPROJETO DE CÁLCULO DE VASOS DE PRESSÃO. Eng. Mec. Luiz Fernando Pimenta. 1986.
- HERTZBERG, R.W.; JOHN Wiley & Sons Inc. 1976.
- DIETER, G.E. Mechanical Metallurgy, Mac Graw Hill, Kogakuska. 1976.
- Welding Handbook. Vol. I. Sixth Edition, published by American Welding Society. MacMilian & Co. Ltd.
- BASTIAN, F.L.; ALLENSTEIN, C.L.M. and ABREU, A.S. de. Influence of Niobium Additions on the mechanical properties of rail steels. International Conference on Fracture in Energy and Transport Systems. Rio de Janeiro. Dezembro, 1983. p. 149.