

## **Controle de qualidade em juntas soldadas: Um estudo de caso em fabricante de equipamentos criogênicos**

**Carlos Eduardo Paro Benedette  
Manoel Rodrigues Monção Neto**

*Resumo: Nas últimas décadas, as indústrias têm buscado constantemente maneiras de oferecerem produtos de melhor qualidade pelo menor preço, afim de se manterem competitivas no mercado mundial. Os processos de soldagem representam boa parte dos custos de fabricação de um produto e o controle de qualidade das juntas soldadas exerce relevante influência no desempenho do produto. Uma falha em uma solda não detectada no processo de controle, pode gerar sérias consequências ao fabricante do equipamento. Deste modo, através de um estudo de caso em um fabricante de equipamentos criogênicos, tem-se como objetivo analisar o processo de controle de qualidade de soldas utilizado na empresa focal. Como resultados, são apresentadas os pontos fortes identificados e discutidas as oportunidades de melhoria para o processo de controle de qualidade de soldas da empresa focal.*

### **1.Introdução**

Nas últimas décadas, as indústrias têm buscado de forma intensa maneiras de oferecerem produtos de melhor qualidade pelo menor valor, a fim de se manterem competitivas no mercado mundial. Em diversos casos, os processos de soldagem representam boa parte dos custos de fabricação de um produto e isso justifica os crescentes esforços para se obterem melhorias nesta área (SCHWEDERSKY *et al.*, 2011).

A soldagem define-se como uma técnica de reunir duas ou mais partes que passam a constituir um todo, assegurando a continuidade do material e suas características mecânicas e químicas. A soldagem é classificada com destaque entre os processos de união dos materiais, por ser amplamente empregada e por envolver grande volume de atividades (FÜHR, 2012).

O processo de soldagem Tungsten Inert Gas (TIG) ou GasTungstenArcWelding (GTAW) é um processo de soldagem a arco elétrico que utiliza um arco entre um eletrodo não consumível de tungstênio e a poça de soldagem. Seu grande desenvolvimento deveu-se à necessidade de disponibilizar processos eficientes de soldagem para materiais difíceis a serem unidos como alumínio e magnésio, se tornando um processo de alta qualidade e custo relativamente baixo, em aplicações diversas (BRACARENSE, 2000).

Durante a fabricação, construção, montagem e manutenção de equipamentos e peças usualmente são realizados ensaios. São denominados ensaios não destrutivos qualquer

tipo de ensaio praticado a um material que não altere de modo permanente suas características sejam elas físicas, química, mecânicas ou dimensionais e que somente impliquem em danos que são imperceptíveis ou nulos (LOURENÇO, 2012). Os métodos mais utilizados de ensaios não destrutivos são a inspeção visual, os líquidos penetrantes, as partículas magnéticas, as correntes induzidas, os ultrassons e as radiografias. (CARVALHO, 2012).

Tem-se como objetivo neste trabalho, através de um estudo de caso em uma empresa fabricante de equipamentos para armazenamento e transporte de produtos criogênicos, avaliar a eficiência do controle de qualidade das juntas soldadas pelo processo TIG, em chapa de aço inoxidável American Society for Testing and Materials (ASTM) A240-304 por meio de ensaio radiográfico.

Este trabalho está estruturado da seguinte forma: inicialmente é realizado uma breve revisão de literatura sobre soldagem e radiologia industrial, seguido pela apresentação da empresa focal e do contexto do estudo de caso. Posteriormente são discutidos os resultados obtidos e apresentadas as conclusões finais do estudo.

## 2. Revisão de Literatura

### 2.1. Soldagem

Os diversos processos de soldagem empregam grande concentração de energia e a origem da energia utilizada define parcialmente estes processos. Assim, conforme a fonte de energia, os processos classificam-se em sete áreas: fase sólida, termoquímica, resistência elétrica, arco não protegido, arco protegido por fluxo fusível, arco protegido por gás e energia radiante. Além disso, o processo de soldagem necessita ser correlacionado ao controle da atmosfera que envolve o local da solda (MACHADO, 1996).

Existem aproximadamente cem processos de soldagem e técnicas conexas. A soldagem a arco com proteção por gás e eletrodo não consumível TIG, é um processo geralmente destinado à realização de soldas sobre peças de pequena espessura, ou empregado sobre peças espessas de alta qualidade (FÜHR, 2012). A maioria dos metais podem ser soldados pelo processo TIG (BRACARENSE, 2000).

Devido a baixa taxa de deposição e alto custo para soldagem de materiais com espessuras superiores a 6 mm, o processo TIG fica restrito somente ao passe de raiz, para espessuras superiores a mencionada. É dada continuidade a junta por outro processo de soldagem de maior rendimento (GARCIA, 2011).

Segundo Fogagnolo (2011), as principais vantagens do processo TIG são produzir soldas de alta qualidade, soldar a maioria dos metais e ligas e como a fonte de calor é concentrada, a zona termicamente afetada (ZTA) e as distorções são minimizadas. As principais limitações referem-se a baixa taxa de deposição, impossibilidade de soldagem em locais com corrente de ar e emissão intensa de radiação ultravioleta.

Garcia 2011 afirma que a energia de soldagem é importante para o processo de solda, quando a quantidade de calor transmitida para a peça é muito alta a peça pode sofrer fenômenos metalúrgicos que mudam suas propriedades. Entretanto, se a energia for muito baixa, a velocidade de resfriamento será baixa, não favorecendo a fusão na junta. Conforme Garcia (2011), a energia de soldagem é calculada pela seguinte fórmula:

$$H = \frac{60 * V * I}{v}$$

Onde:

H=energia de soldagem (J/cm)

V= tensão de soldagem (V)

I= corrente de soldagem (A)

v= velocidade de soldagem (cm/min)

O processo TIG é utilizado principalmente em processos de soldagem de metais sofisticados tais como aços inoxidáveis, materiais criogênicos e ligas não ferrosas (OKUMURA *et al*, 1982).

Para a soldagem TIG são utilizados alguns consumíveis como o gás de proteção, comumente se usa o argônio, devido ao seu menor preço e maior estabilidade do arco elétrico, embora o hélio propicie uma maior penetração, deixando o arco voltaico mais quente. O argônio é 10 vezes mais denso que o hélio gerando uma melhor atmosfera de proteção, é possível se obter uma maior velocidade de soldagem com o uso do hélio de 30 a 40%, a pureza dos gases deve ser de 99.995% (MACHADO 1996).

Os eletrodos de tungstênio (W) não consumíveis são subdivididos em 5 grupos, segundo a classificação AWG:

- eletrodos de tungstênio puro com 99,95% de tungstênio;
- os cerinados, que possuem 97,3% de W, 1,8 a 2,2% CeO (óxido de Cério), com 0,5% de outros óxidos no máximo;
- com óxido de lantânio, 98.3% de W e 0,0 a 1,2% La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(Óxido de Lantânio) e outros elementos máximos em 0,5% ;o
- os torinados, que possuem óxido de tório que vão de 0,8 a 2,2% de ThO<sub>2</sub> e devido a isso são subdivididos em 2 categorias de acordo com a concentração de oxido, este não é muito recomendado, pois são cancerígenos e seu uso requer cuidados com a inalação de poeiras e não deve ser usado por muito tempo em ambientes confinados;
- com óxidos de zircônio, que contem 99,1% de tungstênio e 0,15 a 0,4% de ZrO<sub>2</sub>(oxido de zircônio) (Machado 1996, Fogagnolo 2011).

O metal de adição para a soldagem TIG é disponível em uma grande gama de ligas e materiais, eles podem ser fornecidos em varetas de aproximadamente 1m e também em rolos para solda automatizada. Os metais são classificados de acordo com suas propriedades mecânicas, físicas e químicas, a AWS é grande responsável pela classificação dos metais de adição para o processo TIG, neste caso para aços inoxidáveis é notado AWS 5.9, o metal de adição deve ser similar ao material da junta, prevendo compatibilidade metalúrgica (MODENESI *et al.*, 2005).

A seleção do tipo de corrente e a polaridade utilizada depende do material. Pode ser utilizada corrente continua de polaridade direta (eletrodo negativo), que gera maior aquecimento e penetração. Já com a polaridade reversa (eletrodo positivo) ocorre um maior

poder de limpeza, entretanto, com menor poder de penetração. Pode-se utilizar também a corrente alternada, misturando as duas características, conforme demonstrado na tabela 1, a seguir (GARCIA, 2011).

TABELA 1- Tabela de polaridade utilizada para os diferentes materiais.

Metal	Corrente Alternada com Alta Frequência	Corrente Contínua Polaridade Direta	Corrente Contínua Polaridade Inversa
Aço	Limitada	Adequada	-
Aço inoxidável	Limitada	Adequada	-
Ferro fundido	Limitada	Adequada	-
Alumínio e suas ligas	Adequada	-	Possível para chapas finas
Magnésio e suas ligas	Adequada	-	Possível para chapas finas
Cobre e suas ligas	Limitada	Adequada	-
Bronze alumínio	Adequada	Limitada	-

Fonte: OKUMURA *et al.*, 1989

## 2.2. Descontinuidades em soldagem

Defeito ou descontinuidade é qualquer interrupção da estrutura típica de uma junta soldada, ou seja, pode-se considerar como descontinuidade a falta de homogeneidade de características físicas, mecânicas ou metalúrgicas do material ou da solda. Isto não significa necessariamente que a mesma seja defeituosa. Esta condição depende de aplicação a que se destina o componente e é em geral caracterizado pela comparação das descontinuidades observadas ou propriedade medida com níveis estabelecidos em um código, projeto ou contato pertinente (MODENESI, 2001).

O grande problema normalmente enfrentado deve-se ao fato do aparecimento inesperado de condições adversas, como um erro de procedimento durante a operação de soldagem, aparentemente sem influência, porém gerando descontinuidades, como concentração de tensões que culminam na redução da vida útil do componente além da possibilidade de falhas (SANCHES, 2010).

Contaminações da junta, mordedura, trincas, porosidades, falta de fusão, excesso de penetração e fissuras devido a contrações do material, são defeitos característicos do processo TIG (MODENESI, 2001).

A seguir são apresentadas algumas descontinuidades internas em juntas soldadas, e suas formas na imagem radiográfica.

### 2.2.1 Inclusões gasosas (poros)

Durante a fusão da solda pode haver o aprisionamento, devido a várias razões, como o tipo de eletrodo utilizado, má regulagem do arco, deficiência na técnica do operador, umidade etc. Sua aparência radiográfica é sob a forma de pontos escuros com o contorno nítido. Algumas destas inclusões gasosas assumem uma forma alongada, cilíndrica e sua imagem radiográfica vai depender de uma orientação em relação ao feixe de radiação incidente. Outra forma típica de inclusão é aquela que tem a aparência de um galho ramificado chamada de porosidade vermiforme (ABENDE, 2005).

### 2.2.2 Inclusões de escória



São devidas ao aprisionamento de escória ou materiais estranhos durante o processo de soldagem. Elas se apresentam com mais frequência em soldas de passes múltiplos, principalmente quando a limpeza não é bem efetuada entre um passe e outro (ABENDE, 2005).

### **2.2.3 Falta de penetração**

É considerada falta de penetração a ausência de material depositado na raiz da solda, devido ao fato de o material não ter chegado até a raiz. No caso de não haver passe de raiz a falta de penetração pode ficar aparente. A aparência radiográfica em ambos os casos é uma linha escura, intermitente ou contínua, no centro do cordão (ABENDE, 2005).

### **2.2.4 Trincas**

As trincas são descontinuidades produzidas por rupturas no metal como resultado de tensões nele produzidas durante a soldagem, sendo mais visível na radiografia, quando o feixe de radiação incide sobre a peça em uma direção sensivelmente paralela ao plano que contém a trinca, que produz uma imagem radiográfica na forma de uma linha escura com direção irregular. A largura desta linha dependerá da largura da trinca. Se a direção do plano que contém a trinca coincidir com o feixe de radiação, sua imagem será escura. De outra forma, ela perderá densidade, podendo não aparecer. Devido ao fato da trinca ser considerada como o mais grave defeito de uma solda, deve-se ter uma atenção especial para a sua detecção. A imagem das trincas, especialmente em filmes de granulação grossa, pode não ser muito clara (ABENDE, 2005).

### **2.2.5 Falta de fusão**

Descontinuidades que é gerada devido a falta de fusão entre o metal depositado e o metal base. A falta de fusão só é bem caracterizada em uma radiografia quando a direção do feixe incidente coincide com o plano do defeito. A imagem radiográfica da falta de fusão é uma linha escura, estreita, paralela ao eixo da solda, em um ou em ambos os lados (ABENDE, 2005).

## **2.3. Ensaios não destrutivos**

A utilização de ensaios destrutivos ou não destrutivos é comum na indústria moderna, tendo em vista a garantia da qualidade dos produtos e obviamente a sua confiabilidade no uso. Os ensaios não destrutivos consistem na aplicação de métodos e técnicas de ensaio, que visam analisar a sanidade de vários tipos de materiais, peças ou mesmo equipamentos soldados, fundidos, forjados e laminados, dentre outros (PEREIRA, 2013).

Os ensaios não destrutivos incluem métodos capazes de identificar descontinuidades e também monitorar a degradação em serviço de componentes, equipamentos e estruturas. Para obter-se resultado satisfatório e válido é necessário considerar-se alguns elementos essenciais no processo, tais como pessoal treinado, procedimento qualificado, equipamentos devidamente calibrados e normas e critérios de aceitação bem definidos (SAMPAIO, 2009).

## **2.4. Radiografia Industrial**

A radiografia industrial é um dos principais métodos de ensaio não destrutivo usados em indústrias, baseia-se na diferente absorção de radiação penetrante, pelo material em estudo, sejam eles metais fundidos, soldaduras, ou outros, para detectar variações de espessuras, defeitos ou falhas (MIRANDA, 2011).

Através da sua característica de indicar gradientes de espessuras ou densidades relativas a regiões da peça em estudo, a radiografia industrial é dentre as técnicas de ensaio não destrutivos, uma das mais adequadas no estudo de classificação de defeitos volumétricos (SILVA, 2011). Em juntas soldadas, a radiografia é um método frequentemente referenciado pelos códigos de fabricação de peças. A radiologia industrial desempenha um papel importante e de certa forma insuperável na documentação da qualidade do produto inspecionado, pois a imagem projetada do filme radiográfico representa a fotografia interna da peça, o que nenhum outro ensaio não destrutivo é capaz de mostrar na área industrial (ANDREUCCI, 2006).

A partir da exposição da peça a uma fonte de radiação penetrante é obtido a imagem radiográfica, que é gerada com a intenção de executar análises que muitas vezes não são possíveis a olho nu, por se tratarem de análises do interior das peças. Desta forma, é identificado o defeito na imagem radiográfica quando há diferença de intensidade de radiação recebida entre o deformidade e o restante da peça (SCHNEIDER, 2005).

Andreucci (2002) descreve alguns critérios de aceitação ou rejeição de defeitos em juntas soldadas mediante ensaios radiográficos. Os critérios são retirados do código ASME Seção VIII divisão 1, para vasos de pressão e são aplicados em juntas soldadas de topo, critérios apresentados para soldas projetadas para ensaio radiográfico total (parágrafo UW-51).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) ainda não tem suas próprias normas no campo de radiografia. A Japanese Industrial Standards (JIS) apresenta uma das coleções mais completas, cobrindo métodos de ensaios radiográficos e a classificação de radiografias de uma vasta gama de materiais (OKUMURA *et al*, 1989).

### **3. Estudo de caso**

#### **3.1. A empresa focal**

A empresa focada neste estudo fabrica tanques rodoviários e estacionários para transporte e armazenamento de produtos criogênicos. Localiza-se no interior do estado de São Paulo. O ensaio não destrutivo por meio de radiação é de suma importância na etapa de finalização do tanque interno, que é construído em chapas de aço inoxidável ASTM A240-304, afim de que não haja vazamento quando for efetuar vácuo para proteção térmica e também no seu carregamento com os respectivos líquidos criogênicos, evitando perdas de produto, vácuo, dinheiro e principalmente, não colocando em risco a população e o meio ambiente.

#### **3.2. Processo de soldagem da empresa focal**

Afim de garantir a qualidade e a eficiência nas juntas soldadas, a empresa focal implantou diversos procedimentos para o processo de soldagem TIG, tais como Registro de Qualificação de Procedimento de Soldagem (RQPS), Especificação de Procedimento de Soldagem (EPS) e Instrução de Execução e Inspeção de Soldagem (IEIS).

Os referidos procedimentos apoiam a empresa focal a executar soldas conforme processos e parâmetros testados e aprovados. Estes processos abordam desde a construção da junta até a inspeção final do processo, a fim de minimizar os defeitos nas juntas. Tais processos são necessários para atender exigências de grandes multinacionais, indústrias petrolíferas, químicas, alimentícias, dentre outras. Quaisquer parâmetros que forem modificados ao processo de soldagem devem passar ser validados para inclusão nos procedimentos de soldagem.

A empresa focal utiliza o processo de soldagem TIG com dupla fusão, onde um soldador está posicionado na parte de exterior do tanque e outro no interior. A deposição de material é feita pelo soldador externo. O soldador interno faz uma solda autógena no interior do vaso de pressão, afim de não haver contaminações na parte interior das juntas do vaso de pressão. Este processo é rotineiro, pois não é possível usar um gás de purga para fazer a inertização da atmosfera da solda na parte interior da junta devido ao grande diâmetro do vaso de pressão, então este processo se mostra eficaz para que não haja contaminação no passe da solda por óxidos despendidos da reação entre aquecimento e oxigênio no interior do tanque.

Com o uso destes processos a empresa focal visa obter uma solda uniforme, livre de óxidos e demais defeitos, atendendo a requisitos de estanqueidade, suporte de pressão, resistência a esforços de contração, congelamento expansão e tração, conforme previsto no código ASME VIII divisão 1 e 2.

As soldas são realizadas em chapas de aço inoxidável ASTM A240-304, na espessura de 3mm, especificada por um software de simulação em vasos de pressão chamado CérebroMix, para que seja suportado uma pressão de 4Kgf/cm<sup>2</sup>, a solda é realizada de topo, o material de deposição é compatível com a chapa e sua limpeza inicial é feita por meio de solvente e escova de aço inoxidável.

O gás de proteção tem uma influência muito grande sobre a qualidade da soldagem, não podendo ser desprezada, sua pureza deve ser de 99,995% devidamente certificado pelo fornecedor, neste caso contamos com a matéria prima da Air Liquide para a realização da soldagem. O mesmo gás é usado nas 2 tochas de soldagem, a vazão padrão deste gás está em torno de 10 l/min medido por um fluxometro de coluna de vidro. Garantindo uma atmosfera inerte, ideal para a execução da solda.

Constatou-se também que o eletrodo de tungstênio usado na empresa focal é de 2,4mm de diâmetro e puro, produzindo uma boa qualidade e estabilidade do arco elétrico na hora da soldagem.

O metal de adição usado no processo de soldagem é similar a chapa, foi utilizado o consumível ER 308L, com características muito próximas da chapa com alguns aditivos metalúrgicos, para minimizar possíveis defeitos provenientes desta operação, a baixa adição de carbono é uma boa demonstração, pois diminui o efeito da sensitização, do aço inox, segregação de carbono e fragilização da junta.

A seleção da corrente, tensão e velocidade do passe solda também é muito importante, para o caso da empresa focal são utilizadas duas máquinas de solda em corrente continua com o eletrodo não consumível na posição negativo (polaridade direta), nesta configuração a junta tem um caráter de alta penetração, devido ao caminho percorrido pelos elétrons que vão do eletrodo para o metal base, nesta condição o eletrodo não é aquecido demasiadamente podendo ser de um diâmetro menor, evitando se fundir com o metal de base, nesta configuração o metal base recebe mais calor. A faixa de corrente da primeira tocha deve estar entre 60 e 120 Ampere (A), a tensão entre 8 e 12 Volts (V) e a velocidade entre 60 e 120 milímetros por minuto (mm/min), já para a segunda tocha a corrente deve ser de 40 a 100A a voltagem de 8 a 14V e velocidade de 60 a 120 mm/min.

A energia de soldagem é levada em consideração e é importante para o processo de solda, quando a quantidade de calor transmitida para a peça é superior a um valor pré determinado por estudos técnicos, a ZTA, pode sofrer algumas transformações nas fazes

intercristalinas, o tempo de resfriamento também varia de acordo com a quantidade de calor fornecida pelo processo de soldagem e se este calor for insuficiente para fundir a junta em questão também pode haver comprometimento da junta. Para a empresa focal, é mencionado nos processos de reconhecimento e inspeção de solda a quantidade máxima previsto por estudos e normas a quantidade de calor de 1,5KJ/mm, supondo o pior caso, ou seja, na menor velocidade e nas maiores correntes e voltagens este valor não é superior a 1,2 KJ/mm, garantindo o cumprimento das especificações previstas. Descrita pela equação a seguir:

$$H = \frac{60 * V * I}{v}$$

Onde:

H=energia de soldagem (KJ/mm)

V= tensão de soldagem (V)

I= corrente de soldagem (A)

v= velocidade de soldagem (mm/min)

Entretanto, notou-se na empresa focal que quando o soldador vai começar a desenvolver a junta soldada, o arco elétrico se inicia a partir do toque do eletrodo com a peça gerando um curto circuito, popularmente tratado como riscar o eletrodo na peça, esta operação se se mostra eficaz entretanto não se torna eficiente, pois é comprometido o afiamento do eletrodo e tal manobra pode causar inclusões de tungstênio na junta soldada, tal manobra é necessária devido ao equipamento de soldadura ser adaptado ao processo TIG.

Com este tipo de acendimento do arco além dos riscos de contaminar a junta, o tempo de operação é prejudicado, pois a afiação do eletrodo precisa ser feita constantemente demandando tempo do operador em parar a máquina, esfriar a tocha e manusear o eletrodo.

Também notou-se que não havia vazão de gás no pós solda, o que na maioria das vezes pode causar poros na junta soldada, também percebemos que devido o equipamento de soldagem não favorece a extinção do arco voltaico, pois não possui dispositivo para interromper o arco, entretanto sua extinção é causada a partir do afastamento da tocha da peça em questão, o simples fato desse fazer esta manobra já pode comprometer a junta soldada com oxidações e poros, pois atmosfera inerte está sendo extinta com a junta ainda incandescente.

### 3.3. Radiografia industrial da empresa focal

O processo de radiologia industrial visa atender a requisitos impostos pelo código ASME, a fim de garantir a conformidade de juntas soldadas em vasos de pressão, também visa a garantia no trabalho e serviço prestado seja ele ao público ou setor privado, evitando assim uma possível remessa reversa do produto e retrabalho quando este já se encontra com os clientes finais, impactando diretamente em custos da empresa fabricante e da empresa cliente ao ter uma frota parada para retrabalho. Este retrabalho seria muito complicado, pois o tanque examinado por este tipo de ensaio não destrutivo, se encontra no interno do tanque atmosférico, construído a partir de uma chapa em ASTM A36, ou seja, este tanque em aço inoxidável é encapsulado dentro do outro com um espaço calculado para isolamento térmica, tanto por radiação quanto por condução, estas isolações são feitas por vácuo e perlita criogênica.



O exame radiográfico, geralmente é feito fora do horário de trabalho, pois a empresa deve estar vazia para que não haja contaminação por radiação aos trabalhadores. É colocada uma fonte ionizante apropriada para radiografia industrial do vaso de pressão, um aparato para capturar as imagens ao lado opostas da fonte, a fim de se capturar a imagem da junta examinada, este processo deve ser feito por empresas devidamente qualificadas e com pessoal treinado. Pois oferece grande risco a saúde, caso haja algum acidente.

A junta a ser examinada é sub dividida em várias partes para que o filme radiográfico possa ser instalado, em especial neste caso, a fonte ionizante de radiografia foi instalada com cuidado no interior do tanque em questão, os filmes foram alocados do lado externo do tanque após este processo de marcação das juntas e a fixação do filme é emitido a radiografia gama por um tempo determinado, a fim de se capturar as imagens do interior da junta.

A empresa terceirizada emite um relatório radiográfico devidamente reconhecido por um inspetor de solda nível II, que permite avaliar a junta para retrabalho total ou reparo local antes do vaso de pressão ser encapsulado, que seria o próximo passo da linha de montagem. Neste relatório são informados tipo do material, sinete do soldador que é um código para marcação do operador da solda, fabricante do filme, norma pertinente ao ensaio neste caso ASME Sec. VIII UW.51, objeto do ensaio, no caso o tanque, Unidade de Transporte Criogênico (UTCN) 26.500L TAG-G, técnica radiográfica e o laudo de aprovação. Para elaboração do ensaio é necessário enviar o desenho do mapa de juntas do vaso de pressão, que consiste no projeto do corpo interno somente com a demarcação das soldas que serão examinadas, que são sub divididas para a fixação do filme radiográfico. Como descrito no projeto das juntas.

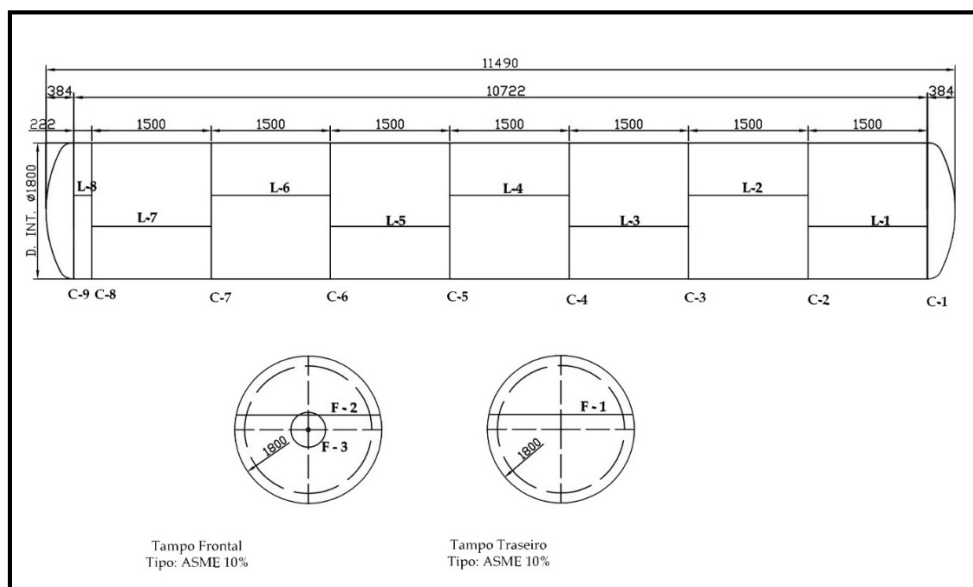


Fig 1. Mapa radiográfico para ensaio. Fonte (Barbosa 2012).

Os resultados do relatório são informados junta a junta, sobre sua condição e defeito/descontinuidade, encontrados tais como: trinca, falta de fusão, falta de penetração, inclusão de escória, inclusão de Tungstênio, porosidade, concavidade, mordedura e excesso de penetração.

#### 4 Discussões

Ao se analisar o relatório radiográfico emitido pela empresa terceirizada do ensaio não destrutivo, observaram-se alguns problemas típicos, como inclusões de tungstênio, mordeduras e poros na soldagem. Estes tipos de problema podem ser gerados devido a necessidade do operador em riscar o eletrodo de tungstênio na peça para a abertura do arco elétrico, causando na abertura do arco elétrico uma inclusão de tungstênio. Já os poros são causados por não manter o gás de pós vazão por tempo adequado a junta soldada, causando uma oxidação no fim do cordão de solda na extinção do arco elétrico.

Tendo em vista que o equipamento para soldagem hora utilizado não é adequado para a eficácia da junta soldada, seria interessante a implantação de um equipamento de soldagem que possuísse o recurso de abertura de arco por alta frequência, este recurso, quebra a barreira dielétrica gerada pelo próprio espaço que existe entre a ponta do eletrodo e a superfície a ser unida, concluindo assim uma maior facilidade para dar início as juntas e também é evitado os defeitos como as inclusões de tungstênio.

Afim de tentar solucionar o problema com porosidades é aconselhado a extinção do arco elétrico por meio eletrônico, que recurso equipa máquinas de soldagem adequadas, estas máquinas também possuem o controle de vazão pós gás juntamente com o dispositivo para extinção do arco elétrico, com estes recursos, não seria necessário retirar a tocha da área da poça de fusão para extinguir o arco elétrico.

Ao se analisar o custo da hora trabalhada da máquina de solda, chegou-se a um valor médio de R\$ 35,00 por hora de trabalho, somando custos referentes a mão de obra, gás de proteção e energia elétrica. O metal de adição é uma variável do processo, pois sua quantidade depende do tipo da junta e da técnica de solda utilizada, sendo que o quilo do metal de adição custa em média R\$ 43,00. O custo da radiografia de um vaso de pressão é de R\$ 12.400,00, mais o proporcional de R\$ 65,23 para cada filme radiográfico utilizado novamente devido a retrabalhos locais.

Tais problemas podem ter consequências muito além do simples acréscimo do preço do equipamento, podendo gerar atrasos da entrega, quebra de contrato com o cliente, multas, necessidade de funcionários trabalhando horas extras para compensar o prazo de entrega, deixando a empresa menos competitiva e não confiável na visão de seus principais concorrentes.

O tempo médio de retrabalho para um defeito leve encontrado na junta é de 20 minutos. Caso ocorra um defeito grave, pode ser necessário um dia de retrabalho para correção.

Conforme dados da empresa focal, para cada tanque soldado é necessário uma média de 9 retrabalhos, resultando a despesa de R\$ 801,66 com retrabalhos por cada tanque fabricado, conforme demonstrado a seguir:

$$VRT = (Nj * Vprj) + (Nmaq * Vhmaq * Nh) + (Nvar * Cvar)$$

Então:  $VRT = (9 * 65,26) + (2 * 35 * 3) + (9 * 0,43) = R\$ 801,66$

Onde:

VRT = Valor de retrabalho da junta

$N_j$  = Número de juntas

$V_{prj}$  = Valor individual de radiografia da junta

$N_{maq}$  = Número de máquinas de solda

$N_h$  = Número de horas

$V_{hmaq}$  = Valor de hora de trabalho da máquina

$N_{var}$  = Número de varetas de metal de adição

$C_{var}$  = Custo da vareta de adição

Ao se fazer a análise crítica do processo de soldagem da empresa, chegamos a conclusão que o problema no processo de soldagem são as máquinas inadequadas utilizadas no processo. Foi sugerido ao diretor da empresa o investimento em novos equipamentos de solda adequados para suas necessidades, a fim de atender. Tal investimento representaria cerca de R\$ 9.000,00 reais.

Este investimento ao longo de um ano de produção representaria uma redução no custo com radiografias e insumos de processo em aproximadamente R\$ 9.620,00, ou seja, este investimento se mostra interessante pois ao longo de 12 meses o investimento se recuperará, contribuindo assim para a empresa diminuir o seu custo de manufatura do equipamento, podendo impactar diretamente em um maior poder de vendas ao se conseguir abaixar o custo de produção de um equipamento deixando a empresa mais competitiva.

#### 4. Conclusão

Os processos de soldagem representam grande parte dos processos de conformação na indústria, visando a necessidade de um mercado cada vez mais competitivo e produtos cada vez mais bem acabados, com alto teor de qualidade e confiança. É largamente usado para este tipo de processo ensaios não destrutivos. Este tipo de ensaio não gera dano à peça analisada, podendo ser feito no produto na linha de produção e avaliar os dados rapidamente, a fim de se economizar em processos de retrabalho mais longos com o produto totalmente terminado.

Foi sugerido ao diretor da empresa com base neste estudo a aquisição de novos equipamentos de soldagem para a empresa focal a fim de aumentar sua eficácia de processo, o investimento é recuperado ao longo de um ano, deixando a empresa mais competitiva.

Conclui-se com este estudo que a empresa demonstrou carência em bons equipamentos de soldagem embora possua um bom “*Knou-how*” de processo e operadores devidamente capacitados entretanto, a sua qualidade fica seriamente comprometida com os defeitos encontrados nas juntas soldadas que foram objeto deste estudo de caso na empresa.

#### 5. Referências Bibliográficas

ANDREUCCI, R. Curso de soldagem controle da qualidade II CQ-II. Apostila. ABENDE. São Paulo. 2002.

ANDREUCCI, R. Iniciação a radiologia industrial. Apostila. UNINOVE. São Paulo. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO (ABENDE). Curso de inspetor de fabricação – Módulo de Ensaios Não Destrutivos, São Paulo, 2005.

- BRACARENSE, A.Q. Processo Soldagem TIG- GTAW. Apostila. Belo Horizonte. UFMG. 2000.
- CARVALHO, D.J.T.de. Desenvolvimento e Aplicação de Técnicas Inovadoras de Ensaios Não Destrutivos. (END) com Células Bacterianas. 106p.Dissertação.Universidade Nova de Lisboa - UNL,Lisboa, 2012.
- FOGAGNOLO, F.B. Introdução a processos e metalurgia da soldagem. Apostila. Campinas: UNICAMP. 2011.
- FUHR, T.A. Reconhecimento avaliação dos riscos ambientais gerados nos processos da soldagem de uma empresa de segmentos metal mecânico. 76p.Monografia.Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio de Janeiro – UNIJUI,Ijuí, 2012.
- GARCIA, E.R.V. Efeito da corrente de soldagem do processo TIG pulsado autógeno da microestrutura da zona fundida dos aços inoxidáveis duplex uns s32304 e uns s32101.186p.Dissertação.Universidade de São Paulo – USP,São Paulo,2011.
- LOURENÇO, C.S.de. Os ensaios não destrutivos como ferramentas indispensável na garantia total da qualidade dos projetos de engenharia de tecnologia militar da marinha do Brasil. 165p. Monografia.Universidade Candido Mendes - UCAM, Campos dos Goytacazes, 2012.
- MACHADO, I. G. Soldagem & técnicas conexas: processos. Porto Alegre: Machado, 1996.477p.
- MIRANDA, M. Comparação entre métodos de inspeção não-destrutiva aplicados a peças compósitas laminadas sólidas estruturais aeronáuticas.194p.Dissertação. Universidade Federal de São Carlos - UFSCAR, São Carlos, 2011.
- MODENESI, Paulo J. Descontinuidade e inspeção em juntas de solda. Apostila. Belo Horizonte: UFMG 2001
- MODENESI, PAULO JOSE; MARQUES, PAULO VILLANI; BRACARENSE, ALEXANDRE QUEIROZ. Soldagem: Fundamentos e tecnologia. Editora UFMG, 2005.
- PEREIRA, J.A.V. Estudo e Aplicação de Ensaios Não Destrutivos. 85p. Dissertação.Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP, Porto,2013.
- SAMPAIO, M.V.C. Aplicação da inspeção não intrusiva em equipamentos do sistema de dessulfurização de gás natural da plataforma de pampo.126p.Dissertação.Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS,Porto Alegre, 2009.
- SANCHES,R.A. Defeitos em solda detectáveis através de inspeção visual. 63p.Monografia. Centro Universitário Luterano de Manaus - CEULM, Manaus,2010.
- SCHNEIDER, G.A. Segmentação e extração das características de defeitos em imagens radiográficas de juntas soldadas e tubulações.154p. Dissertação.Centro Federal de Educação Tecnológica Paraná – CEFET-PR,Curitiba,2005.
- SCHWEDERSKY, M. B. et al .Soldagem TIG de elevada produtividade: influência dos gases de proteção na velocidade limite para formação de defeitos.Soldag. insp., São Paulo, v. 16, n. 4, Dez. 2011 .Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-92242011000400004&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-92242011000400004&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 02 Junho 2013.
- SILVA,F.E.da.Reconhecimento de padrões através de análises estatísticas e fractais aplicadas a dados de ensaios não-destrutivos. 131p.Tese.Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza, 2011.
- OKUMURA,T.;TANIGUCHI, C. Engenharia de Soldagem e Aplicações – Rio de Janeiro: LTC- Livros técnicos e Científicos Editora S.A: Tóquio: TheAssociation For Internacional Technicalpromotion, 1982.