

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA

**INFLUÊNCIA DA UMIDADE NA QUALIDADE
DA SOLDA NO PROCESSO DE ELETRODO
REVESTIDO**

Jeanine Alves Moreira

Luiz Paulo da Silva Freitas

Pindamonhangaba - SP

2017

FACULDADE DE TECNOLOGIA DE PINDAMONHANGABA

**INFLUÊNCIA DA UMIDADE NA QUALIDADE
DA SOLDA NO PROCESSO DE ELETRODO
REVESTIDO**

Jeanine Alves Moreira

Luiz Paulo da Silva Freitas

Monografia apresentada á Faculdade de
Tecnologia de Pindamonhangaba para graduação,
no Curso Superior de Tecnologia em Processos
Metalúrgicos.

Área de Concentração: Soldagem

Orientador: Rômulo Lucas Borges

Pindamonhangaba -SP

2017

M838i

Moreira, Jeanine Alves.

Influência da umidade na qualidade da solda no processo de eletrodo revestido / Jeanine Alves Moreira; Luiz Paulo da Silva Freitas / FATEC Pindamonhangaba, 2017.
56f.: il.

Orientador: Professor Rômulo Lucas Borges
Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de
Tecnologia de Pindamonhangaba. 2017

1. Soldagem. 2. Eletrodo Revestido. 3. Ressecagem dos eletrodos. 4. Umidade no revestimento I. Moreira, Jeanine Alves. II. Freitas, Luiz Paulo da Silva. III. Borges, Rômulo Lucas. IV. Título.

CDD 671.52

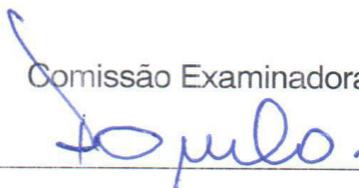
Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

**“INFLUÊNCIA DA UMIDADE NA QUALIDADE DA
SOLDA NO PROCESSO DE ELETRODO
REVESTIDO”.**

**JEANINE ALVES MOREIRA
LUIZ PAULO DA SILVA FREITAS**

Monografia apresentada à Faculdade de
Tecnologia de Pindamonhangaba, para
graduação no Curso Superior de
Tecnologia em Processos Metalúrgicos.

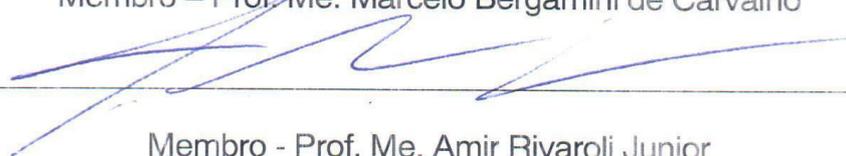
Comissão Examinadora



Orientador – Prof. Rômulo Lucas Borges



Membro – Prof. Me. Marcelo Bergamini de Carvalho



Membro - Prof. Me. Amir Rivaroli Junior

Pindamonhangaba, 28 de junho de 2017.

DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho as nossas famílias pelo apoio e compreensão e também a todos nossos colegas e professores que estiveram juntos a nós durante esse período de graduação.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus pelo Dom da vida e por esta sempre comigo guiando meus passos e me dando força e saúde para correr atrás dos meus sonhos.

Agradeço também aos meus pais Geraldo Alves Moreira e Roseli Alves Moreira por sempre estarem comigo ao longo desta trajetória, que nos momentos de alegrias e tristezas souberam me ouvir, aconselhar e apoiar minhas decisões, e também por terem sempre me incentivado a procurar conhecimentos e incrementar minha formação curricular.

Agradeço também ao meu noivo William Caldas por sempre estar ao meu lado me apoiando e incentivando a concluir esse trabalho de graduação.

Agradeço também as amigas construídas durante todo o curso, em especial ao meu amigo Luiz Paulo Freitas, companheiro deste trabalho que soube me suportar, por me ajudar e incentivar a estudar, e também por me fazer rir nos momentos mais difíceis e felizes no período desta graduação.

Agradeço também ao nosso professor orientador Rômulo Borges pela paciência, dedicação e pelo apoio e direcionamento deste trabalho.

E por fim agradeço todo grupo docente e funcionários da Fatec de Pindamonhangaba, que acompanhou durante todo o curso, transmitindo conhecimentos teóricos e práticos de muita importância para a realização deste trabalho.

Jeanine Alves Moreira.

Agradeço primeiramente a Deus pelo Dom da vida e por ter me dado força e saúde para concluir esta graduação.

Agradeço também a meu pai João Bosco e minha mãe Maria de Lourdes por sempre estarem ao meu lado e apoiarem nos meus estudos.

Agradeço a minha esposa Tânia Macedo Freitas que soube ter paciência nos momentos que dei pouca atenção devido as provas e trabalhos, e sempre me incentivou a concluir este curso.

Agradeço também a amizade de todos os alunos que estiveram comigo durante estes anos e em especial a Jeanine Alves, companheira deste trabalho, que sempre me ajudou nas matérias mais difíceis e me deu força para não abandonar esta graduação.

Agradeço também ao professor orientador e padrinho Rômulo Borges pela dedicação e ajuda durante todo este tempo.

E por fim agradeço a todos os funcionários da Fatec de Pindamonhangaba pois sem eles nada disso teria acontecido.

Luiz Paulo da Silva Freitas.

“Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja toda a escada.

Apenas dê o primeiro passo.”

Martin Luther King

MOREIRA, J, A; FREITAS, L, P, S. **Influência da umidade na qualidade da solda no processo de Eletrodo Revestido**. 2017. 56p. Trabalho de Graduação (Curso de Processos Metalúrgicos). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. 2017.

RESUMO

O processo de solda por eletrodo revestido conhecido como SMAW, tem diversos fatores que influenciam na qualidade da solda, e um importante deles é o revestimento do eletrodo. O objetivo deste trabalho é demonstrar na prática que a umidade no revestimento é causadora de defeitos na solda. E para comprovar soldamos 2 corpos de prova utilizando um eletrodo revestido com alto teor de umidade. Para a fabricação dos corpos de prova foram utilizados o aço SAE 1020 cortados em forma retangulares. O eletrodo escolhido para a realização da solda foi um E7018 ESAB de característica básico com 2,5 mm de espessura sem ressecagem com um alto teor de umidade, que foi adquirido após ser deixado imerso em água durante 12 horas para a realização do primeiro corpo de prova e por 24 horas para a realização do segundo corpo de prova. Escolhido os parâmetros de soldagem seguindo as orientações do fornecedor, para o primeiro passe foi utilizado 80A, para os demais passes 100A, todos na posição plana. Após a realização da soldagem ambos os corpos de prova foram analisados com ensaios não destrutíveis e a macrografia. O primeiro ensaio a ser realizado foi o ensaio visual, onde apenas visualizamos um excesso de respingo em ambas as peças, que não interfere na resistência da solda, em seguida realizamos os ensaio por líquido penetrante e partículas magnéticas, que visa identificar defeitos externos e de baixa profundidade. E por último foi realizado o ensaio por ultrassom com a finalidade de analisar a sanidade interna da solda e através deste ensaio identificamos a presença de defeito caracterizado como porosidades e trincas, em varias pontos em ambos corpo de prova. E para obter a confirmação visual do defeito encontrado foi realizado o ensaio de macrografia com ataque de níquel 2% no período de 1,5 minutos, para confirmar de maneira prática e visual que a não realização de ressecagem dos eletrodos para retirada da umidade do revestimento, é causador de defeitos que irão interferir diretamente na qualidade da solda.

Palavras - chave: Soldagem, Eletrodo Revestido, Ressecagem dos eletrodos, Umidade no revestimento.

MOREIRA, J, A; FREITAS, L, P, S. **Influence of moisture on weld quality in Coated Electrode process.** 2017. 56p. Graduation Work (Course of Metallurgical Processes). Faculty of Technology of Pindamonhangaba. 2017.

ABSTRACT

The coated electrode soldering process known as SMAW has several factors that influence the quality of the solder, and an important one is the coating of the electrode. The objective of this work is to demonstrate in practice that the moisture in the coating causes defects in the weld. And to prove we welded 2 test bodies using a coated electrode with high moisture content. SAE 1020 steel cut into rectangular shapes was used for the fabrication of the test specimens. The electrode chosen for the realization of the weld was a basic characteristic ESAB with 2.5 mm thickness without dryness with a high moisture content, which was acquired after being immersed in water for 12 hours for the realization of the first body of Test and for 24 hours to perform the second test piece. Once the welding parameters were selected following the supplier's instructions, for the first pass 80A was used, for the other 100A passes, all in the flat position. After the welding, both specimens were analyzed with non-destructible assays and macrography. The first test to be performed was the visual test, where we only visualized an excess of splash in both pieces, that does not interfere in the resistance of the weld, then we performed the tests by penetrating liquid and magnetic particles, which aims to identify external defects and Low depth. Finally, the ultrasonic test was performed with the purpose of analyzing the internal sanity of the weld and through this test, we identified the presence of defect characterized as porosities and cracks, in several points in both test pieces. And in order to obtain the visual confirmation of the defect found, the macrography test with a 2% attack in the period of 1.5 minutes was carried out to confirm in a practical and visual way that the non-drying of the electrodes to remove the coating moisture , Is causing defects that will directly interfere with the quality of the weld.

Key words: Welding, Coated Electrode, Electrode resection, Moisture in the coating.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Desenho esquemático de uma soldagem com eletrodo revestido	16
Figura 2: Alma: aço baixo teor de Carbono cortado na forma de varetas	19
Figura 3: Pesagem e peneiramento das matérias primas do revestimento	19
Figura 4: Mistura e aglomeração com silicato de sódio ou potássio	20
Figura 5: Formação de um bloco homogêneo das matérias-primas do revestimento	20
Figura 6: Prensa: a alma (vareta) e o bloco do revestimento são prensados juntos	21
Figura 7: Acabamento do eletrodo revestido.....	21
Figura 8: Sistema de marcação no eletrodo de aço carbono de acordo com AWS 5.1	28
Figura 9: Sistema de marcação no eletrodo de aço carbono de acordo com AWS 5.5	28
Figura 10: Trinca	31
Figura 11: Trinca por hidrogênio	32
Figura 12: Porosidade	33
Figura 13: Máquina de soldagem utilizada	35
Figura 14: Soldando os corpos de prova	35
Figura 15: Chapa SAE 1020.....	36
Figura 16: Eletrodos revestidos 7018 na água	36
Figura 17: Etapas do ensaio não destrutíveis e macrografia	36
Figuras 18 e 19: Ensaio Visual antes da soldagem	37
Figuras 20 e 21: Corpo de prova soldado com eletrodo 7018 básico, que ficou durante 12h imerso em água.	38
Figuras 22 e 23: Corpo de prova soldado com eletrodo 7018 básico, que ficou durante 24h imerso em água.	38
Figuras 24 e 25: Limpeza e preparação dos corpos de provas para o ataque de partículas magnéticas C.P-1.	39
Figuras 26 e 27: : Limpeza e preparação dos corpos de provas para o ataque de partículas magnéticas C.P-2	40
Figuras 28 e 29: Ataque com partículas magnéticas via úmido C.P-1	40
Figuras 30 e 31: Ataque com partículas magnéticas via úmido C.P-2.....	41
Figura 32 Limpeza e desengraxamento da peça:.....	42
Figura 33: Produtos utilizados no ensaio.....	42
Figuras 34 e 35: Aplicação do pó revelador C.P-1	43
Figuras 36 e 37: Aplicação do pó revelador C.P-2.....	43

Figuras 38, 39, 40 e 41: Realização do ensaio por ultrassom	45
Figura 42- Marcação dos defeitos encontrados no ensaio de ultrassom C.P-1	46
Figura 43 - Marcação dos defeitos encontrados no ensaio de ultrassom C.P-2	46
Figura 44: Ciclo de Preparação Metalográfica	47
Figuras 45 e 46: Descontinuidades	48

SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AWS - Amazon Web Services

CA - Corrente Afetada

CC - Corrente Contínua

C.P- Corpo de Prova

EPI'S - Equipamento de Proteção Individual

E.R- Eletrodo Revestido

Lux - Sistema internacional de Unidades

SAE - Society of Automotive Engineers - EUA

SMAW - Shielded Metal Arc Welding

ZTA- Zona Termicamente Afetada

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 DEFINIÇÃO DE SOLDAGEM	16
2.2 HISTÓRICO DO ELETRODO	16
2.3.1 Processos de fabricação do eletrodo	18
2.3.2 Equipamentos para soldagem com eletrodo revestido	21
2.3.3 Características do processo de soldagem com eletrodo revestido	22
2.3.4 A importância do revestimento no eletrodo revestido	24
2.3.5 Características e composição dos revestimentos e eletrodos	25
2.4 ESPECIFICAÇÃO AWS A5.1 E A5.5	27
2.5 ARMAZENAMENTOS DO CONSUMÍVEL DE SOLDAGEM	29
2.6 DESCONTINUIDADE E DEFEITOS DE SOLDAGEM	29
2.6.1 Descontinuidades dimensionais	30
2.6.2 Trinca	30
2.6.2.1 <i>Trinca a frio induzida por hidrogênio</i>	31
2.6.3 Porosidade	33
3. METODOLOGIA	35
3.1 MATÉRIAS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	35
3.2 ENSAIO VISUAL	37
3.2.1 Resultado do ensaio visual	39
3.3 ENSAIO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS	39
3.3.1 Resultado do ensaio de partículas magnéticas	41
3.4 ENSAIO POR LIQUIDO PENETRANTE	41
3.4.1 Resultado do ensaio por líquido penetrante	44
3.5 ENSAIO POR ULTRASSOM	44
3.5.1 Requisitos básicos para o ensaio de ultrassom	44
3.5.2 Resultado do ensaio por ultrassom	46
3.6 ENSAIO METALOGRÁFICO	47
3.6.1 Resultados do ensaio macrográfico	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5 CONCLUSÃO	50
SUGESTÃO PARA TRABALHO FUTURO	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
ANEXOS	53

1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho visa demonstrar de forma prática e teórica a importância do revestimento no eletrodo, e quais os efeitos causados pela umidade no revestimento durante a realização de uma solda.

O estudo realizado está dividido em duas partes, sendo na primeira parte em um estudo teórico de como é fabricado estes revestimentos, quais os principais tipos, a melhor escolha do eletrodo para determinada aplicação e a maneira correta de manuseio e conservação desses eletrodos revestidos. A segunda parte do estudo relata uma experiência prática que envolve a realização de um corpo de prova soldado, utilizando-se do eletrodo básico E7018 em má conservação e com alto teor de umidade.

Com base no método acima descrito, foi analisado os defeitos encontrados na solda através de ensaios visual, partículas magnéticas, líquido penetrante, ultrassom e macrografia.

Esse experimento confirma que o revestimento do eletrodo úmido interfere diretamente na qualidade da solda, provando a necessidade de cuidados na conservação e manuseio para diminuir ou eliminar por completo os defeitos oriundos da umidade.

Outro ponto a ser considerado é o custo que cada defeito acrescenta ao valor final da solda, devido a execução de retrabalho, que acaba reduzindo a competitividade da empresa ou serviço.

O objetivo deste trabalho é confirmar na prática que a má conservação e o excesso de umidade no revestimento são causadores de defeitos na solda.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DEFINIÇÃO DE SOLDAGEM

De acordo com Sanches (2010 p.16), a soldagem é um processo que visa à união localizada de materiais, similares ou não, de forma permanente, baseada na ação de forças em escala atômica semelhantes às existentes no interior do material e é a forma mais importante de união permanente de peças usadas industrialmente. Existem basicamente dois grandes grupos de processos de soldagem. O primeiro se baseia no uso de calor, aquecimento e fusão parcial das partes a serem unidas, e é denominado processo de soldagem por fusão.

De acordo com Sanches (2010 p.16), o segundo se baseia na deformação localizada das partes a serem unidas, que pode ser auxiliada pelo aquecimento dessas até uma temperatura inferior à temperatura de fusão, conhecido como processo de soldagem por pressão ou processo de soldagem no estado sólido.

2.2 HISTÓRICO DO ELETRODO

“A soldagem com eletrodos revestidos é definida como um processo de soldagem com arco, onde a união é produzida pelo calor do arco criado entre um eletrodo revestido e a peça soldada” (TECCO, 2010, p.31). O arco funde simultaneamente o eletrodo e a peça, o metal fundido do eletrodo é transferido para a peça, formando uma poça fundida que é protegida da atmosfera (O_2 e N_2) pelos gases de combustão do revestimento, conforme a figura 1.

Figura 1- Desenho esquemático de uma soldagem com eletrodo revestido



Fonte: Marques (2009, p.181)

De acordo com Áquila (2012, p.7) a soldagem por eletrodo revestido teve origem na soldagem com eletrodo de carvão. Em 1885 Nicolai N. Bernardos desenvolveu a soldagem por eletrodo de carvão, estabelecendo os princípios da soldagem por arco elétrico.

De acordo com Tecco (2010, p.31) antes se soldava com arames nus para cercas, ligados na rede elétrica, era um processo simples, porem com muitos problemas de instabilidade de arco, e contaminação nos depósitos de solda, mas adotando essa pratica foram observando-se que com arames enferrujados ou cobertos com cal, melhorava a estabilidade do arco, então começou a ser usado o eletrodo com revestimento ácido protegendo o deposito de solda da contaminação.

De acordo com Gadelha (2010, p.57), as desvantagens do eletrodo nu são:

- Grande dificuldade na abertura do arco;
- Grande dificuldade em manter o arco aceso;
- Somente utilizado com corrente contínua (CC);
- Péssimas propriedades mecânicas em virtude da oxidação e nitretação do metal fundido;
- Impossível obter um cordão regular;
- Aspecto do cordão não estético;
- Perda de elementos de liga pela oxidação e volatilização.

Um eletrodo sem revestimento e sem nenhum outro tipo de proteção, após sua fusão perde parte de seus elementos e deposita um metal nitretado e oxidado, cujo valor das propriedades mecânicas será relativamente inferiores as das chapas de aço doce. Estes dois elementos químicos (Nitrogênio e Oxigênio) são os principais para influenciar a deterioração das propriedades. (ELBRAS, 2005, p.16)

De acordo com Gadelha (2010, p.58) o oxigênio presente no processo de soldagem reage principalmente com o carbono e o manganês formando os seus óxidos, que passam imediatamente para a escória que está se formando, e o nitrogênio em altas temperaturas, reage com o ferro do metal base e forma o Nitrato de Ferro, que mesmo em baixas concentrações aumenta drasticamente a fragilidade da junta soldada.

2.3.1 Processos de fabricação do eletrodo revestido

De acordo com Marques (2009, p.193) o processo de fabricação dos eletrodos revestidos se inicia com o recebimento da matéria primas como minerais e compostos diversos para o revestimento, em geral na forma de pó, arame para a fabricação da alma e o ligante, esses materiais devem ser testados para melhor qualidade do eletrodo. O material do revestimento é pesado e misturado a seco, segundo uma fabricação desenvolvida pelo fabricante, para um dado tipo de eletrodo, então este material é misturado com o ligante ate formar uma massa de consistência adequada, é levado a maquina de extrusão. O arame é trefilado ate o diâmetro desejado, desempenado, cortado em varetas de tamanho apropriado pelo fabricante do arame ou do eletrodo, e depois também é colocado na máquina extrusora, conforme a figura 2.

De acordo com Fichel (2009) a massa úmida que formará o revestimento é prensada, enquanto os pedaços de arame são alimentados, produzindo eletrodos a uma grande velocidade (entre dez a vinte eletrodos por segundo), conforme a figura 3. Os eletrodos úmidos caem em uma esteira rolante e são levados ao forno para secagem e cura do revestimento, a temperatura e tempo de permanência, dependem do tipo de revestimento. Após a passagem pelo forno, os eletrodos são identificados com sua marca de fabricação e classificação e as suas extremidades, que serão usadas para contato elétrico de arco. Depois disso os eletrodos são embalados e antes de serem enviados para armazenamento e vendas são passadas em laboratórios para realização de testes do lote, para verificação da qualidade dos eletrodos.

O esquema de fabricação dos eletrodos de acordo com Fichel (2009) descritos acima é o seguinte:

- Mistura dos componentes do revestimento;
- Aglomeração com silicato de sódio ou potássio, conforme a figura 4;
- Mistura homogênea em forma de um bloco vai para a prensa de extrusão, conforme a figura 5;
- Mistura e a alma são prensadas juntas, conforme a figura 6;
- Acabamento do eletrodo revestido, conforme a figura 7;
- Faz a secagem em forno do eletrodo.

Figura 2 - Alma: aço baixo teor de Carbono cortado na forma de varetas



Fonte: Souza ([s.d]. p.12)

Figura 3 - Pesagem e peneiramento das matérias primas do revestimento



Fonte: Souza ([s.d]. p.12)

Figura 4 - Mistura e aglomeração com silicato de sódio ou potássio



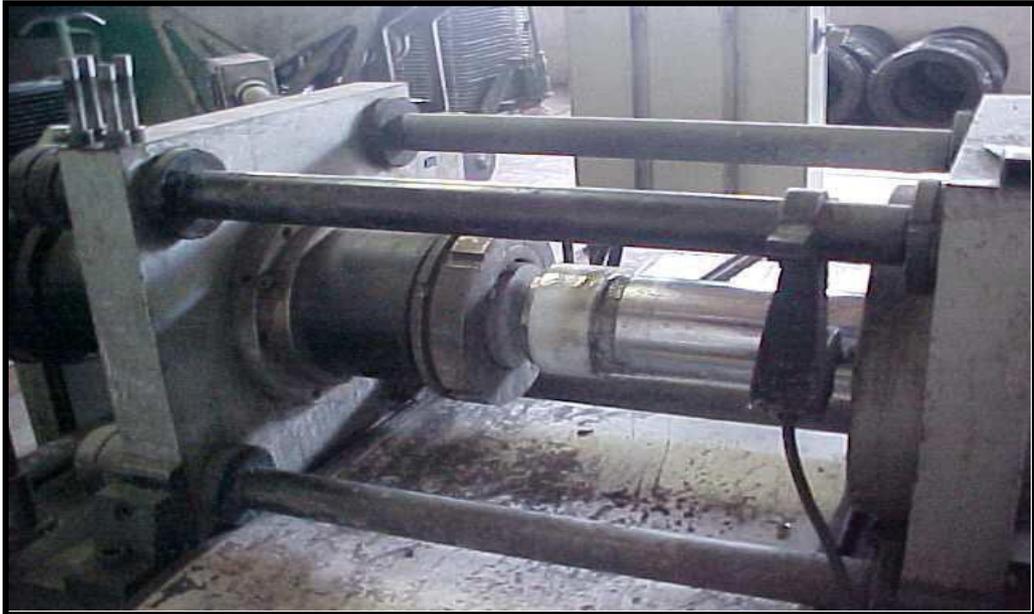
Fonte: Souza ([s.d]. p.13)

Figura 5 - Formação de um bloco homogêneo das matérias-primas do revestimento



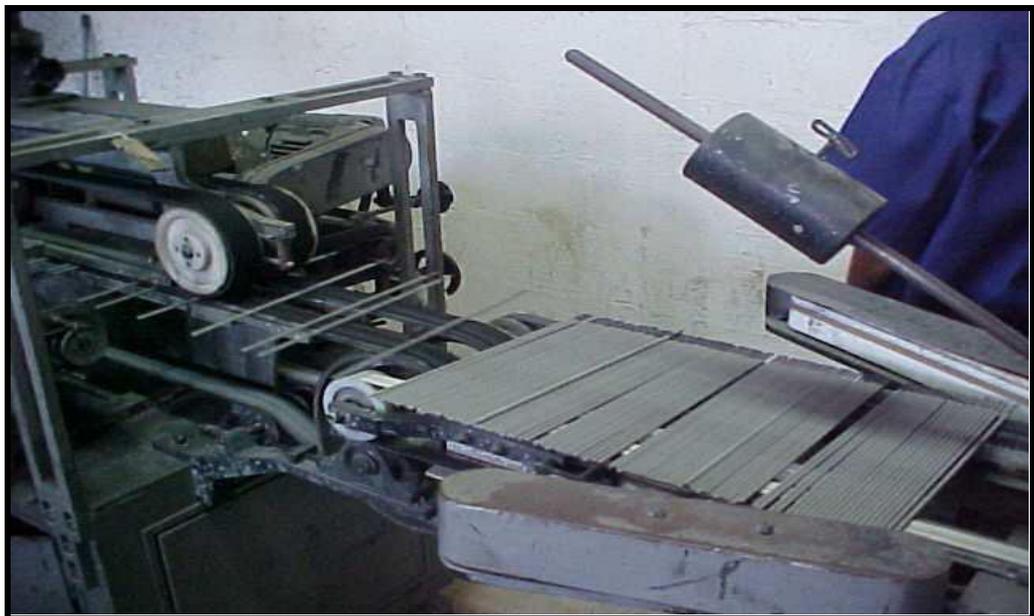
Fonte: Souza ([s.d]. p.13)

Figura 6 - Prensa: a alma (vareta) e o bloco do revestimento são prensados juntos



Fonte: Souza ([s.d]. p.13)

Figura 7 - Acabamento do eletrodo revestido



Fonte: Souza ([s.d]. p.12)

2.3.2 Equipamentos para soldagem com eletrodo revestido

De acordo com Tecco (2010, p.32-35) os equipamentos básicos para soldagem com eletrodos revestidos é simples e de fácil manuseio são eles:

- Fonte de energia: O transformador para corrente alternada é a mais barata, comparado com outras fontes de energia de soldagem, e para a corrente contínua duas configurações podem ser utilizadas, a unidade geradoras que é mais usada para trabalhos em canteiro, e transformador-retificadas que são os preferidos, pois sua operação é silenciosa, baixo custo de operação, e por ter poucas partes móveis ocorre menos manutenção.
- Alicates para fixação dos eletrodos: são disponíveis duas versões para a fixação dos eletrodos, no formato de pinça que é um sistema menos conhecido no país e por garra que é parecido com um mandril de furadeira.
- Cabos de interligação: são normalmente compostos por fios finos de cobre enrolados por uma camada protetora de borracha isolante, é utilizados dois cabos de interligação um para conexão do eletrodo a fonte e o outro para retorno a peça que está soldada, designado por um cabo terra.
- Pinças para a ligação a peça: no mercado são disponíveis no formato de garra ou em grampos, e são conectadas ao cabo de interligação, sendo que do tipo garra oferece maior facilidade, mas o contato elétrico é inferior ao de grampos, pois a pressão aplicada é menor.
- Equipamentos de proteção individual (EPI'S): são todos aqueles equipamentos que protegem o operador, como por exemplo, temos o capacete equipado com filtros protetores contra radiação, aventais, luvas magotes, sapatos fechados entre outros.

2.3.3 Características do processo de soldagem com eletrodo revestido

De acordo com Tecco (2010, p.35-36) uma das características importantes da soldagem com eletrodos revestidos, que o diferencia dos demais processos semi-automáticos convencionais, é que a tensão de arco é controlável independentemente dos outros parâmetros, por três razões básicas:

- O controle da distância entre o eletrodo e a peça é realizado manualmente e não pode ser executado com grande precisão.
- A transferência dos glóbulos no arco está associada a variações consideráveis no comprimento efetivo do arco (e conseqüentemente na tensão).
- Maiores tensões são requeridas para operação normal, à medida que a corrente de soldagem é aumentada.

De acordo com Marques (2009, p.197) a corrente de soldagem controla todas as características operatórias do processo, o aspecto do cordão e as propriedades da junta soldada. Ela controla a magnitude e a distribuição espacial da energia térmica disponível no

arco elétrico, e também a maior parte dos fenômenos que ali ocorrem.

De acordo com Tecco (2010, p.37) a velocidade de avanço é a segunda mais importante variável operatória do processo, apesar de seu controle ser consideravelmente impreciso no caso de aplicações manuais, Altura e largura do cordão variam inversamente com a velocidade de avanço. A implicação genérica é que a energia de soldagem pode ser mantida reduzida, mesmo com elevadas correntes, através do uso de altas velocidades de avanço. Assim, altas taxas de deposição podem ser obtidas, concomitantemente com microestruturas mais refinadas, tanto na zona fundida como na termicamente afetada.

De acordo com Tecco (2010, p.38) a oscilação do eletrodo tem caráter intrínseco na soldagem com este processo e é necessária para a obtenção de formatos satisfatórios de cordão. Uma das mais importantes implicações relacionadas á oscilação de arco é que a velocidade efetiva de avanço é diminuída com o aumento da oscilação, aumentando a energia de soldagem. Nos casos em que o controle da energia introduzida é realmente requerido, cabe, portanto, minimizar a oscilação do eletrodo. Esta pratica, entretanto, não deve ser usada indiscriminadamente, já que a produtividade fica prejudicada em decorrência do aumento de trabalho para a limpeza dos cordões entre passes. Dependendo da posição de soldagem e do tipo de eletrodo empregado, uma oscilação mínima será sempre necessária, destinada a permitir o controle do banho de fusão, no sentido de restringir o movimento da escória, evitando no metal fundido.

De acordo com Marques (2009, p.196) o diâmetro de eletrodos varia entre 1 a 8 mm e o comprimento de 350 a 470 mm, os limites normalmente variam também de acordo com a habilidade dos soldadores e pela posição de soldagem, eletrodos com dimensões maiores podem ser feito por encomendas. O diâmetro é um dos principais fatores limitantes da faixa útil de corrente de soldagem, na medida em que ele controla a densidade de corrente elétrica por unidade de área da seção transversal da alma.

De acordo com Tecco (2010, p.38) o ângulo do eletrodo em relação à peça é normalmente ajustado no sentido de equalizar o fluxo térmico entre as parte soldadas, controlar o banho da peça na poça de fusão e o formato do cordão, em particular, a molhabilidade do liquido nas bordas do chanfro. O ângulo do eletrodo é uma variável importante, pois pode ocasionar o aparecimento de defeitos de cordão, de difícil controle, já que seu ajuste depende essencialmente do operador e de seu grau de destreza. Definem-se dois ângulos do eletrodo em relação ao eixo, e o longitudinal, também denominado ataque.

De acordo com Tecco (2010, p.38-39) os eletrodos para soldagem são normalmente

obtidos através da extrusão, sob pressão de um revestimento sobre a alma, usualmente um arame endireitado e cortado na dimensão. Raramente o revestimento é depositado por imersão em banho ou enrolado sobre a alma. A partir daí, uma sequência de operações de secagem precede o empacotamento final. Essas operações de secagem podem ser realizadas em bandejas (em lotes), ou de modo ininterrupto, em fornos contínuos. O uso de um ou outro método varia com o produtor, mas é determinado, em larga escala, pelo tipo de revestimento e bitola da alma. A produtividade obtida com fornos contínuos é bastante superior aquela com o processo inteiramente, podendo-se atingir taxas superiores a 1000 varetas por minuto. Nesta situação, a produtividade final da fábrica passa a ser determinada pela capacidade da extrusora.

2.3.4 A importância do revestimento no eletrodo revestido

De acordo com Sanches (2010) os revestimentos são umas misturas de compostos minerais ou orgânicos, adicionados a aglomerantes e outros compostos com finalidades específicas que além de outras funções, mantém o arco aberto porque contém elementos que ionizam o ar, permitindo a condução da corrente elétrica.

De acordo com Buzzine (1987, p.33) a presença do revestimento no eletrodo permitirá a utilização de tensões em vazio baixas, mesmo em trabalhos com corrente alternada (40 a 80 V), possibilitando assim uma redução do consumo de energia no primário e um considerável aumento da segurança do soldador e, a continuidade e conseqüentemente a estabilidade do arco.

A função metalúrgica do revestimento no processo de soldagem é que ao fundir cria uma cratera e gera gases que protegem a fusão da alma do eletrodo contra o Oxigênio e o Nitrogênio do ar e deposita a escória que é mais leve que o metal fundido e que protegerá o banho de fusão não somente contra a oxidação e nitretação, mas também contra um resfriamento rápido. (ELBRAS, 2005).

De acordo com Souza ([s.d],p.12) e para que não ocorra este resfriamento rápido a escória também age como um isolante térmico permitindo a liberação dos gases retidos no interior do metal depositado, evitando com isto a formação de poros, e, minimiza o endurecimento do material depositado por têmpera, têmpera esta conseqüência de um rápido esfriamento.

De acordo com Marques (2010, p. 40) as principais funções do revestimento do eletrodo na soldagem são:

- Estabilização do arco elétrico através de elementos ionizantes (CC+/CC-ou CA),
- Proteção da poça de fusão;
- Formação de escória, agentes que promovem a remoção das impurezas da superfície do metal base e metal de solda;
- Desoxidação principalmente com Mn - manganês e Si - silício, reduzindo a tendência para a porosidade;
- Isolação térmica formada pela escória, protegendo o resfriamento do metal de solda da atmosfera;
- Adição de elementos de liga que aumentam a resistência do metal de solda;
- Aumento da deposição de metal de solda, quando é incorporado pó de ferro no revestimento.

De acordo com Tecco (2010, p.43-44) e Souza ([s.d],p.13-14) são quatro os principais grupos de revestimentos de eletrodos para soldagem de aços de baixa e média liga, cada uma com suas características que são eles, eletrodos celulósicos, eletrodos rutílicos, eletrodos ácidos e eletrodos básicos.

2.3.5 Características e composição dos revestimentos e eletrodos.

De acordo com Marques (2009, p.188-189) a composição química dos revestimentos podem ser classificado em 5 tipos diferentes, revestimento ácido, celulósico, rutílico, básico, e oxidante.

Revestimento ácido: seus principais constituintes são o óxido de ferro e sílica (SiO₂). Os eletrodos ácidos podem ter pó de ferro na sua fórmula para aumentar o seu rendimento. Estes eletrodos apresentam fácil soldabilidade e boas propriedades mecânicas do metal de solda. Exemplos deles são:

E6020/27: eletrodos ácidos. CC- e CA. Apresenta boa soldabilidade. É indicado para as posições de soldagem plana e horizontal. E-6027 com adição de pó de ferro de 50%.

E6022: eletrodo similar ao E6020. É indicado para soldagem em alta velocidade e alta deposição em juntas de topo e sobrepostas. Posição plana e horizontal de filete.

Revestimento celulósico: Seus principais constituintes são matérias orgânicas, a celulose. Apresenta uma formação de escória fina que permite realizar a soldagem em todas as posições, inclusive na vertical descendente. Estes eletrodos são de alta penetração e sempre

são indicados para a soldagem de passe de raiz. Estes eletrodos têm boa soldabilidade e são indicados para a soldagem de tubulação. Exemplos deles são:

E6010: eletrodo celulósico, com silicato de sódio CC+. Apresenta alta penetração. Soldagem em todas as posições tanto na vertical descendente e sobre-cabeça.

E6011: Similar, com silicato de Potássio CC+ e CA.

Revestimento rutílico: o principal constituinte deste revestimento é rutilo, mineral que apresenta grande quantidade de dióxido de titânio (TiO₂). Estes eletrodos apresentam fácil soldabilidade em qualquer posição de soldagem, o arco elétrico é muito estável mesmo em corrente alternada. A escória é de fácil remoção e as soldas têm bom acabamento. Exemplos deles são:

E6012/13: eletrodo rutílico, CA e CC+-. O E-6013 com silicato de potássio apresentam arco elétrico muito estável indicado para soldar chapa fina.

E7014/24: eletrodo rutílico, similar ao E-6012/13, porém com adição de pó de ferro. **E7014** oscila entre 25 a 40% de adição de pó de ferro e 7024 oscila 50%. O E7024 é indicado para a posição plana e horizontal.

Estes eletrodos são indicados para a soldagem de filete. Apresentam fácil remoção de escória.

Revestimento básico: os principais elementos deste revestimento constituem de cálcio (CaCO₃ e CaF₂), que são elementos refratários. Podem ainda conter pó de ferro para aumentar o seu rendimento. Este revestimento caracteriza-se por apresentar excelentes propriedades mecânicas, incluindo tenacidade à baixa temperatura. Apresentam também baixo teor de hidrogênio (H₂) do metal de solda. Este revestimento é higroscópico, ou seja, têm facilidade em absorver umidade e prejudicar as suas características operacionais, por isso é necessário cuidado com o seu armazenamento. Exigem que os soldadores sejam devidamente treinados e qualificados para utilizarem eletrodos com este tipo de revestimento. Exemplos deles são:

E7015: eletrodo básico, com baixo H₂ no metal de solda. É formulado com silicato de sódio - CC+. Indicado para as posições de soldagem plana, horizontal, vertical descendente e sobre-cabeça.

E7016: eletrodo básico, com baixo H₂ no metal de solda. É formulado com silicato de potássio - CC+ e CA.

E7018/28: eletrodo básico, com Baixo H₂ no metal de solda. E7018 oscila de 25 a 40% pó de ferro. E7028 oscila 50% pó de ferro. Posição plana e horizontal filete. CC+ e CA.

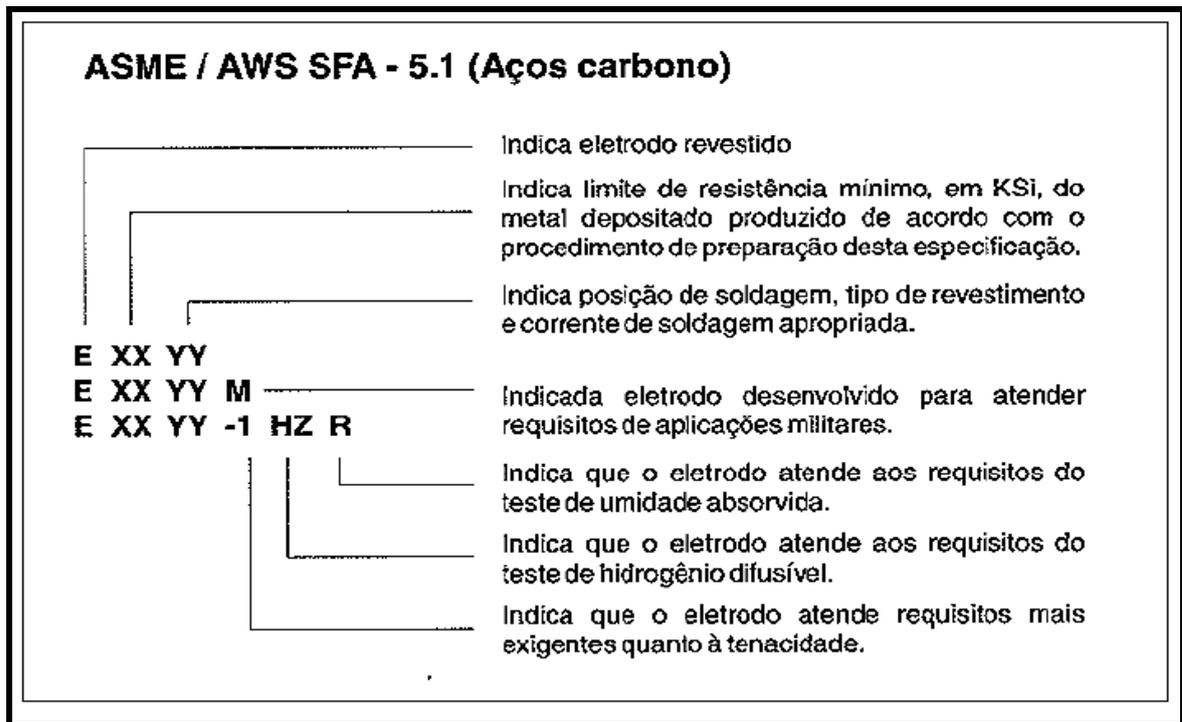
E7048: eletrodo básico similar ao E-7018, formulado para posição vertical descendente.

Revestimento oxidante: é constituído principalmente de óxido de ferro e manganês. Produz uma escória oxidante, abundante e fácil de destacar. Os eletrodos com revestimento oxidante podem ser utilizados nas correntes contínuas ou alternadas e apresentam uma baixa penetração. O metal depositado possui baixos teores de carbono e manganês e, embora o aspecto da soldagem produzida seja muito bom, não é o eletrodo adequado para aplicações de elevado risco, atualmente, este tipo vem sendo cada vez menos utilizado.

2.4 ESPECIFICAÇÃO AWS A5.1 E A5.5

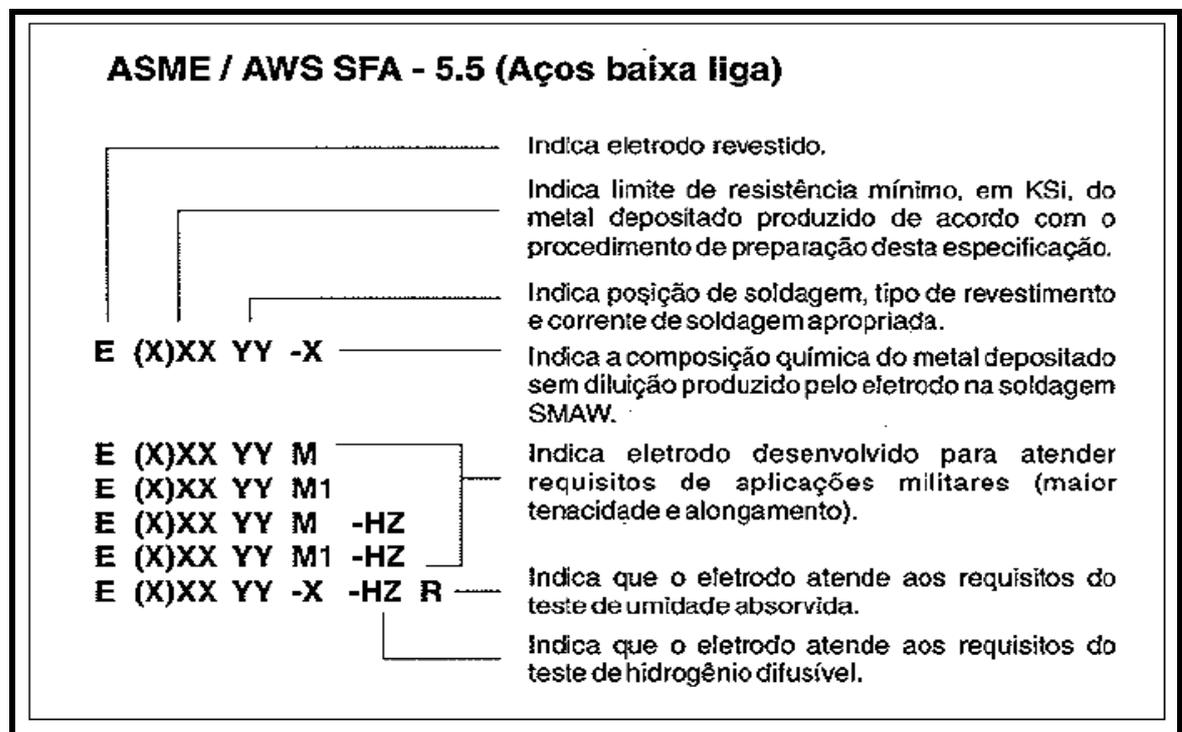
De acordo com ELBRAS ELETRODOS DO BRASIL LTDA (2005) essa especificação da American Welding Society (AWS) foi desenvolvida ao longo dos anos por um comitê composto de membros que representam os fabricantes de consumíveis. Os eletrodos para aços carbono e aços de baixa liga são classificados pelos fabricantes de consumíveis, em conformidade com a especificação acima, com base nas propriedades mecânicas (também conhecidas como propriedades físicas) do metal de solda, no tipo de revestimento, na posição de soldagem, e no tipo de corrente (CA ou CC). O sistema de classificação é elaborado para fornecer certas informações sobre o eletrodo e o metal de solda depositado, conforme as figuras 8 e 9.

Figura 8 - Sistema de marcação no eletrodo de aço carbono de acordo com AWS 5.1



Fonte: (ELBRAS 2005)

Figura 9 - Sistema de marcação no eletrodo de aço carbono de acordo com AWS 5.5



Fonte: (ELBRAS 2005)

2.5 ARMAZENAMENTOS DOS CONSUMIVEIS DE SOLDAGEM

De acordo com Souza ([s.d],p.41-42) e Áquila (2012) o procedimento de armazenamento dos eletrodos revestido segue a norma PETROBRÁS N133,e os eletrodos varetas, fluxos e arames em sua embalagem original devem ser armazenados sobre estrados ou prateleiras, em estufas que atendam as seguintes condições:

➤ A temperatura deve ser no mínimo 10°C acima da temperatura ambiente e igual ou superior a 20°C.

➤ A umidade relativa do ar deve ser no máximo de 50%.

De acordo com Souza ([s.d], p.42) quando as latas são armazenadas na posição vertical devem preservar as pontas dos eletrodos. Estas pontas devem estar voltadas para cima, devendo seguir as instruções do fabricante.

De acordo com Souza ([s.d], p.42) a ordem de retirada de embalagens do estoque deve evitar a utilização preferencial dos materiais recém-chegados. Os eletrodos e fluxos de baixo hidrogênio devem ser submetidos à secagem e às condições de manutenção da secagem em estufas apropriadas. Na estufa de secagem, os eletrodos devem ser dispostos em prateleiras, em camada não superior 50 mm e na estufa de manutenção de secagem em camada igual ou inferior a 150 mm.

De acordo com Souza ([s.d], p.42) nas estufas com bandejas para secagem ou manutenção de secagem, a camada de fluxo deve ser igual ou inferior a 50 mm. A secagem e a manutenção de secagem devem obedecer aos parâmetros requeridos nas especificações ou nas recomendações do fabricante. Os eletrodos revestidos de baixo hidrogênio, quando de sua utilização, devem ser mantidos em estufas portáteis, em temperatura entre 80°C e 150°C. As estufas devem ser calibradas.

De acordo com Souza ([s.d], p.42) os eletrodos revestidos de baixo hidrogênio que, fora da estufa de manutenção de secagem, não forem utilizados após uma jornada de trabalho devem ser identificados e retornar à estufa de manutenção para serem ressecados. Permite-se apenas uma ressecagem.

2.5 DESCONTINUIDADES E DEFEITOS DE SOLDAGEM

De acordo com Paredes (2009) designam-se como defeitos ou descontinuidade a qualquer interrupção da estrutura típica ou esperada de uma junta soldada. Neste sentido, pode-se considerar como descontinuidade, a falta ou alteração da homogeneidade de características físicas, mecânicas ou metalúrgicas do material ou da solda. A existência de

descontinuidades em uma junta, 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.

De acordo com Paredes (2009) considera-se uma junta soldada que contém defeitos quando esta apresenta descontinuidades ou propriedades que não atendam ao exigido pelas normas vigentes. Juntas defeituosas em geral, precisam ser reparadas ou mesmo substituídas.

De acordo com Sanches (2010 p.42) e Paredes (2009) as descontinuidades dividem-se em três tipos:

- Dimensional;
- Estruturais;
- Descontinuidades relacionadas com as propriedades indesejáveis da região da solda.

2.6.1 Descontinuidades dimensionais

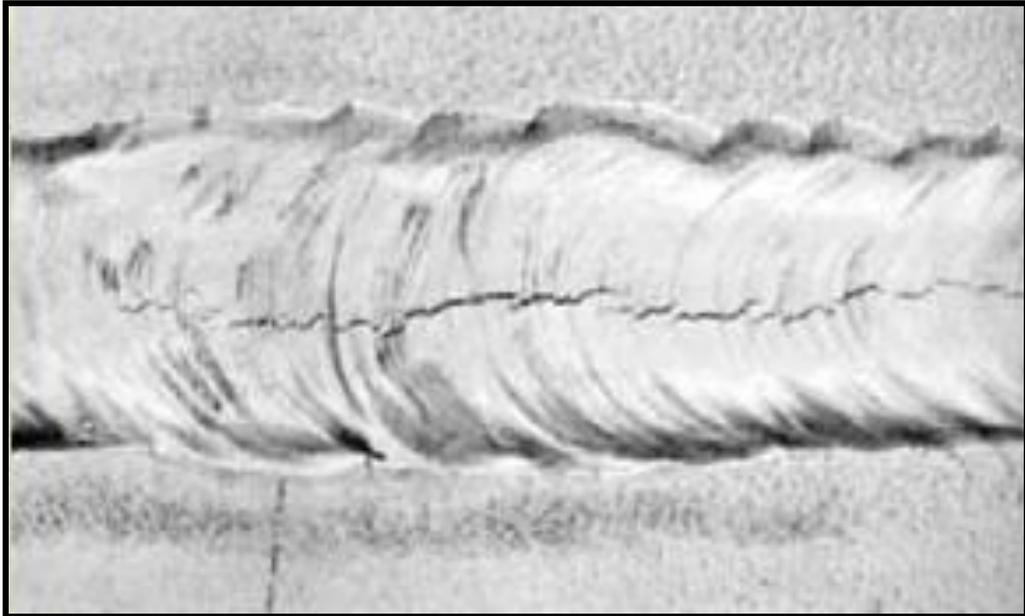
De acordo com Sanches (2010 p.42), para a fabricação de qualquer estrutura soldada é necessário que tanto a estrutura como as suas soldas tenham dimensões e formas similares (dentro das tolerâncias exigidas) às indicadas em desenhos, projetos, ou contratos. Uma junta que não atenda a esta exigência pode ser considerada defeituosa, sendo necessária a sua correção para aceitação final.

De acordo com Sanches (2010 p.44), descontinuidades de soldagem podem ser classificadas como falta de fusão ou penetração, excesso de respingos, mordeduras, trincas, inclusão de escória, porosidades.

2.5.2 Trincas

De acordo com Sanches (2010 p.52) as trincas são consideradas em geral, as descontinuidades mais graves em uma junta soldada por serem fortes concentradores de tensão e elas podem se formar durante e logo após a soldagem ou em operações subsequentes a soldagem, e podem acontecer a quente e a frio, conforme a figura 10.

Figura 10- Trinca



Fonte:(ELBRAS 2005)

De acordo com Sanches (2010 p.52), as consequências são:

- Existem muitos tipos de trincas, porém nem todas são visíveis, mas todas elas são potencialmente perigosas para a integridade do cordão de solda;
- Elas podem se propagar e quebrar totalmente a peças em serviço;

De acordo com Sanches (2010 p.52), as causas das ocorrências são:

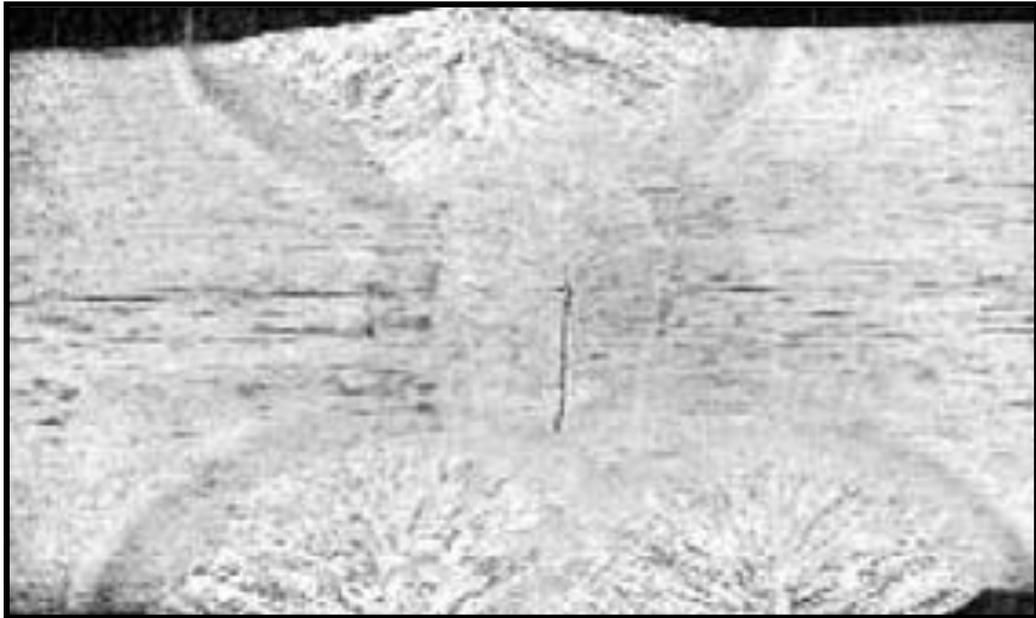
- Trincas de cratera, no final do cordão o arco é fechado muito rápido;
- Teor de carbono ou enxofre elevado no metal base, o que significa estar utilizando um eletrodo não adequado;
- Peça muito espessa ou junta muito rígida;
- Cordão de solda muito côncavo ou muito convexo;
- Eletrodo úmido;
- Junta ou chanfro incorreto em peças de espessuras elevadas ou com vários passes.

2.6.2.1 Trinca a frio induzida por hidrogênio

A trinca a frio induzida por hidrogênio é o tipo de descontinuidade mais perigoso de todos; um dos motivos é que logo após a soldagem a trinca pode ainda não ter se formado, conforme a figura 11. Às vezes, o tempo de aparecimento dessas trincas é de dezenas de horas

após a soldagem. Outro motivo é que as trincas podem ter tamanho abaixo do limite de detecção dos ensaios não destrutivos adequados. Dessa maneira, este tipo de descontinuidade deve ser evitado ao máximo, uma vez que pode causar danos muito sérios a um equipamento soldado.

Figura 11- Trinca por hidrogênio



Fonte: (ELBRAS 2005)

Para ocorrer a trinca a frio induzida por hidrogênio são necessários os seguintes requisitos: presença de hidrogênio, microestrutura favorável, tensão residual de tração e temperatura.

As principais fontes de hidrogênio durante a soldagem são: umidade no revestimento ou fluxo, contaminação do gás de proteção com vapor de água, metal de base com teores elevados de hidrogênio dissolvido e contaminação superficial por materiais orgânicos.

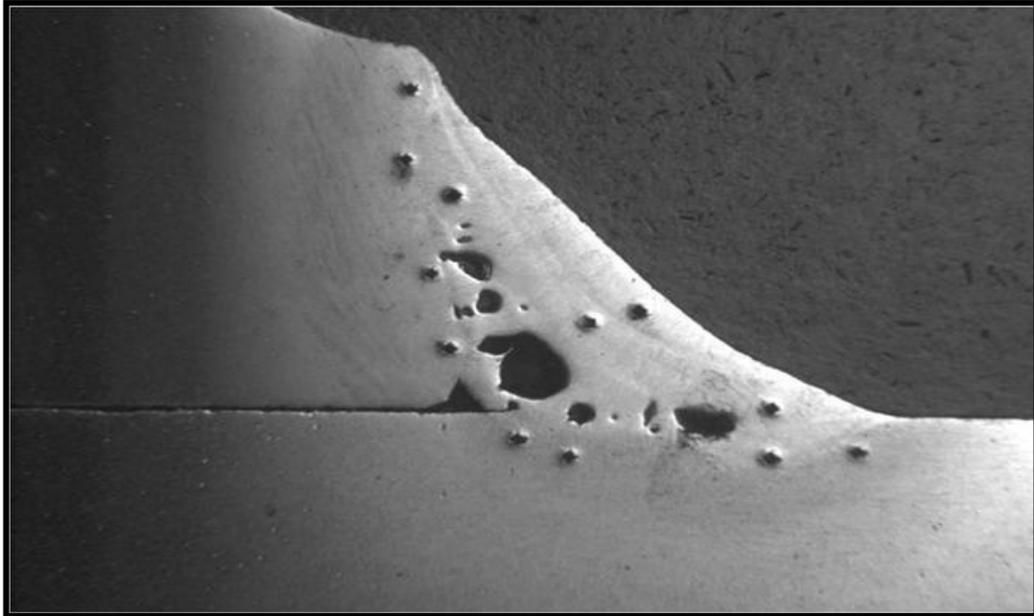
Todo fator que altera a temperabilidade de um aço carbono favorece a ocorrência da trinca a frio induzida por hidrogênio.

A microestrutura mais favorável para o aparecimento de trinca a frio induzida por hidrogênio é a martensítica, devido a sua dureza elevada e pouca tenacidade. Essa microestrutura é obtida por mudanças na composição química do aço ou por uma velocidade de resfriamento muito elevada.

2.6.3 Porosidade

De acordo com Sanches (2010 p.56) as principais causas operacionais de formação de porosidade estão relacionadas com as contaminações de sujeira, oxidação e umidade, na superfície do metal de base e consumíveis de soldagem, conforme a figura 12.

Figura 12 - Porosidade



Fonte: (PAREDES 2009)

De acordo com Sanches (2010 p.57), as consequências são:

- Sua presença deixa a solda frágil e sem resistência;
- muitas vezes esse problema ocorre no interior da solda e não pode ser detectável através de inspeção visual.

De acordo com Sanches (2010 p.57), as causas das ocorrências:

- Peça suja, enferrujada ou úmida;
- Corrente de soldagem incorreta;
- Velocidade de soldagem muito alta;
- Distância muito alta do eletrodo a peça;
- Polaridade incorreta;
- Eletrodo úmido.

De acordo com Sanches (2010 p.57), os métodos de correção são:

- Limpar as superfícies a serem soldadas com lixadeira ou escova de aço para remover de forma efetiva a ferrugem presente;
- Verificar junto ao fabricante do eletrodo a faixa de corrente adequada para a bitola em uso, geralmente esta informação esta presente na embalagem;
- Soldar com eletrodo mais próximo da peça;
- Verificar a polaridade indicada para ser usada com aquele eletrodo;
- Acondicionar de forma adequada os eletrodos.

3 METODOLOGIA

3.1 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Para a realização do processo de soldagem SMAW foram utilizados E7018 de característica básico com 2,5 mm de espessura sem ressecagem, ficaram imersos em água durante 12 e 24 horas, conforme a figura 16. Para a fabricação dos corpos de prova foram utilizados o aço SAE 1020 cortados em forma retangulares com 200 mm de comprimento, 100 mm de largura e 6 mm de espessura com um chanfro de 37,5° pelo processo de esmerilhamento e a montagem da junta em "V" com uma abertura de 4 mm, conforme a figura 15.

Para que ambos os corpos de provas tivessem os mesmo parâmetros de soldagem ficou determinado que o primeiro passe foi utilizado 80 A, para os demais passes 100A e o acabamento com 110A, todos na posição plana, conforme a figura 14.

Todos os processos de soldagem foram realizados com a maquina de solda no laboratório de soldagem ambos da Fatec de Pindamonhangaba, conforme a figura 13, pelo soldador qualificado Luiz Paulo da Silva Freitas com o auxilio do professor orientador Rômulo Lucas Borges.

Após a realização da soldagem ambos os corpos de prova foram analisados com ensaios não destrutíveis e a macrografia, conforme a figura 17.

Figura 13 -Máquina de soldagem utilizada



Fonte: (Autor)

Figura 14 - Soldando os corpos de prova



Fonte: (Autor)

Figura 15 - Chapa SAE 1020



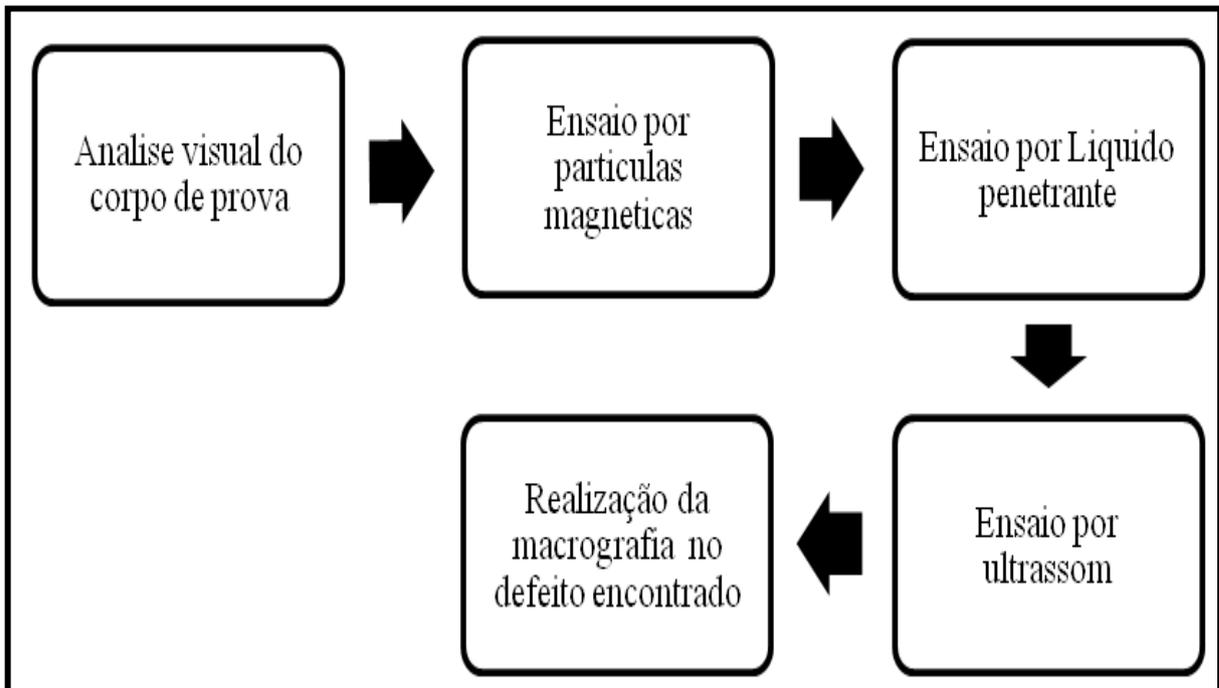
Fonte: (Autor)

Figura 16: Eletrodos revestidos 7018 na água



Fonte: (Autor)

Figura 17 - Etapas do ensaio não destrutíveis e macrografia

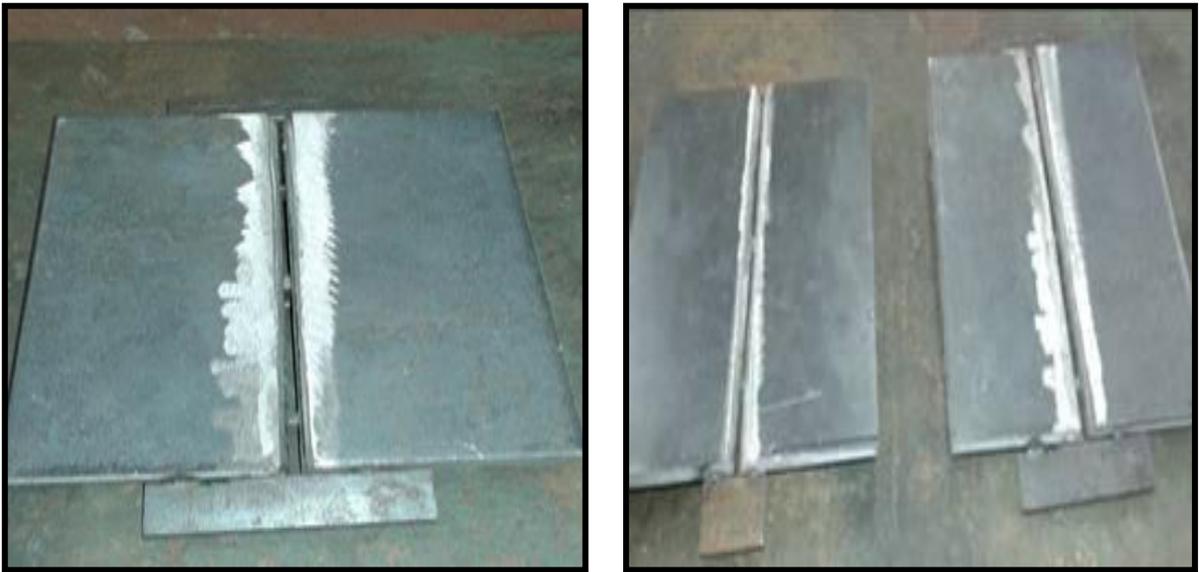


Fonte:(Autor)

3.2 ENSAIO VISUAL

O ensaio visual foi realizado antes e após a soldagem. Antes da soldagem a finalidade do ensaio é observar e analisar as condições e as dimensões da junta a ser soldada, o ajuste dos componentes montados e as condições superficiais do metal de base, conforme as figuras 18 e 19.

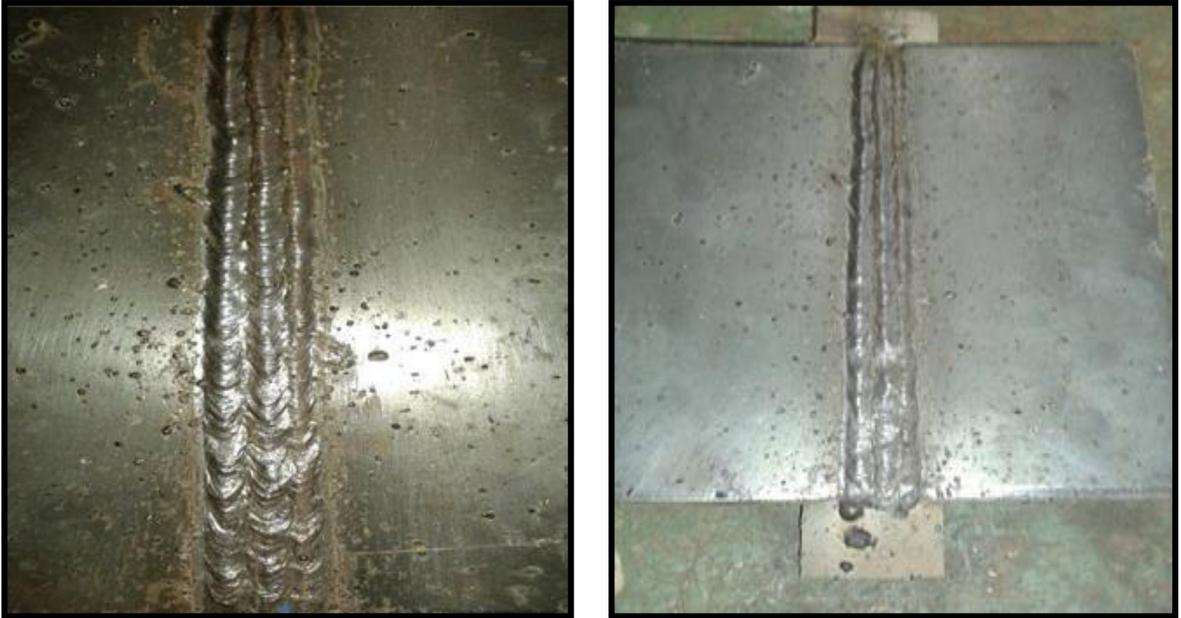
Figura 18 e 19 - Ensaio Visual antes da soldagem



Fonte: (Autor)

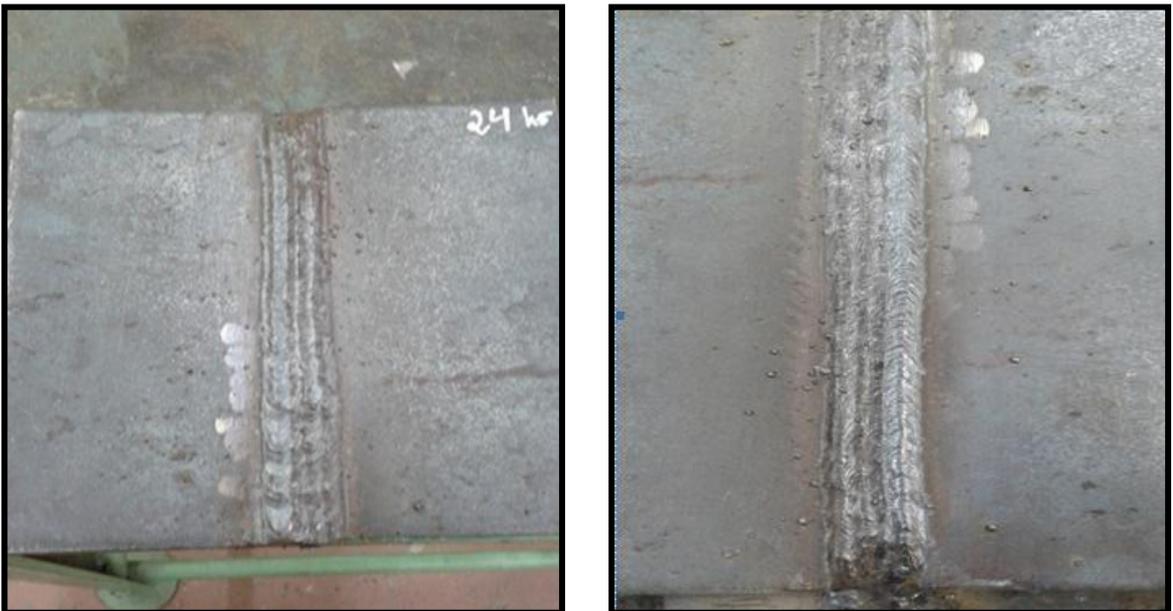
Após a soldagem o ensaio visual visa a detecção de descontinuidades estruturais, tais como: trincas, porosidade e inclusões de escoria, conforme as figuras 20,21, 22 e 23. Uma junta soldada pode apresentar também descontinuidade dimensionais que são as seguintes: reforço excessivo, deposição insuficiente, concavidade e convexidade no cordão de solda e mordeduras.

Figura 20 e 21 - Corpo de prova soldado com eletrodo 7018 básico, que ficou durante 12h imerso em água.



Fonte: (Autor)

Figura 22 e 23 - Corpo de prova soldado com eletrodo 7018 básico, que ficou durante 24h imerso em água.



Fonte: (Autor)

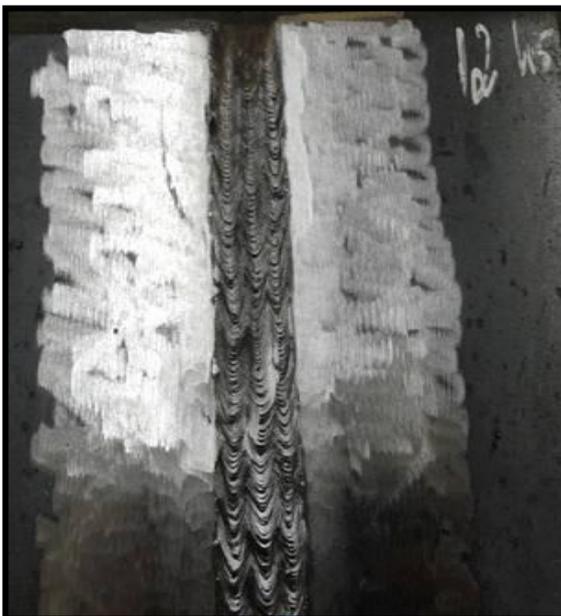
3.2.1 Resultado do ensaio visual

De acordo com as normas técnicas para o ensaio visual os 2 corpos de prova apresentam uma boa qualidade, porém visualizamos um excesso de respingo em ambas as peças. Esse excesso de respingo não altera sua resistência mecânica mas sim a parte estética da soldagem.

3.3 ENSAIO DE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

Após o ensaio visual, as soldas foram limpas e preparadas, conforme as figuras 24,25,26 e 27, e submetidas ao ensaio de partículas magnéticas via úmido, conforme as figuras 28,29,30 e 31, visando detectar possíveis descontinuidades superficiais que o ensaio visual não encontrou e a principal vantagem do ensaio por partículas magnéticas via úmido é a detecção de defeitos subsuperficiais que através do ensaio visual não é possível ser encontrado. Os defeitos que podem ser detectados por esse método de ensaio são trincas, porosidades e falta de fusão.

Figura 24 e 25 - Limpeza e preparação dos corpos de provas para o ataque de partículas magnéticas C.P-1.



Fonte:(Autor)

Figura 26 e 27 - Limpeza e preparação dos corpos de provas para o ataque de partículas magnéticas C.P-2.



Fonte: (Autor)

Figura 28 e 29 - Ataque com partículas magnéticas via úmido C.P-1



Fonte:(Autor)

Figura 30 e 31 - Ataque com partículas magnéticas via úmido C.P-2



Fonte: (Autor)

3.3.1 Resultado do ensaio de partículas magnéticas

Neste ensaio não foram detectados a presença de poros ou trincas que viessem comprometer o cordão de solda ou a qualidade dos corpos de prova.

3.4 ENSAIO POR LIQUIDO PENETRANTE

O ensaio por líquido penetrante basear-se na penetração de líquidos em trincas e rachaduras superfícies de peças por ação do fenômeno da capilaridade, e é aplicado, portanto, na verificação da existência de trincas superfícies difíceis de serem observadas a olho nu.

O ensaio consiste nas seguintes fases:

- Limpeza e desengraxamento da peça, seguidos de secagem, conforme a figura 32;
- Aplicação do líquido penetrante, por imersão ou aspersão;
- Limpeza superficial, com retirada do excesso de líquido penetrante, cuidando-se para que não seja removido o líquido que penetrou nas eventuais trincas, conforme a figura 33;
- Aplicação de pó revelador (ou líquido volátil) que absorve o líquido penetrante, revelando o local das trincas e rachaduras, conforme as figuras 34, 35, 36 e 37..

- Observação das trincas;
- Limpeza e secagem final para remoção dos resíduos dos líquidos utilizados no ensaio.

Figura 32 - Limpeza e desengraxamento da peça

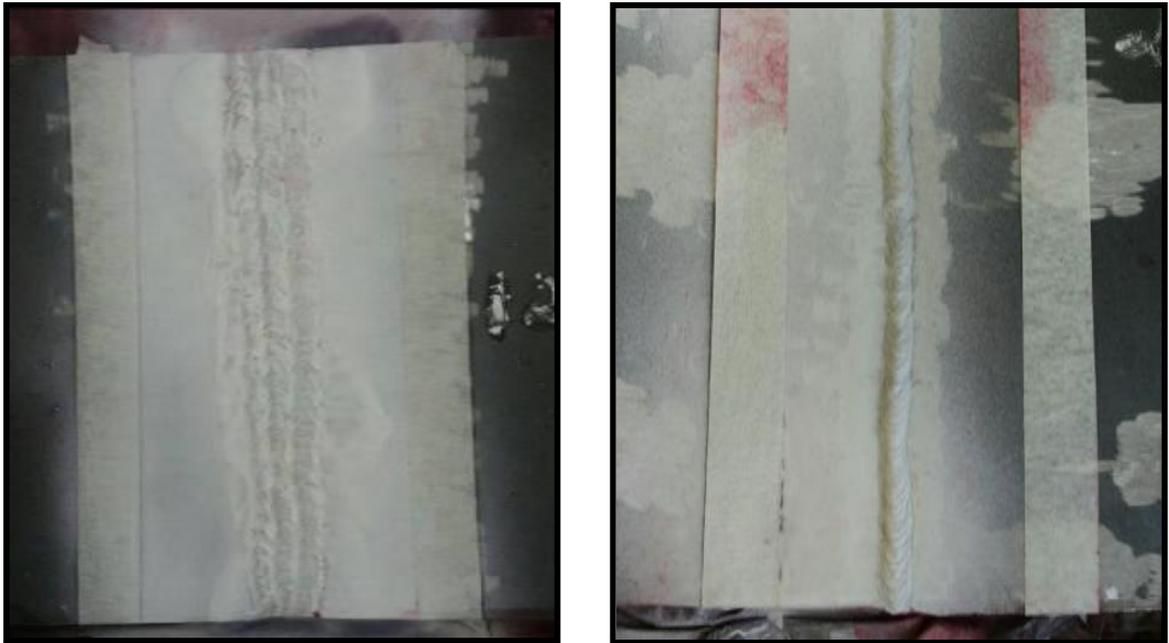


Figura 33- Produtos utilizados no ensaio



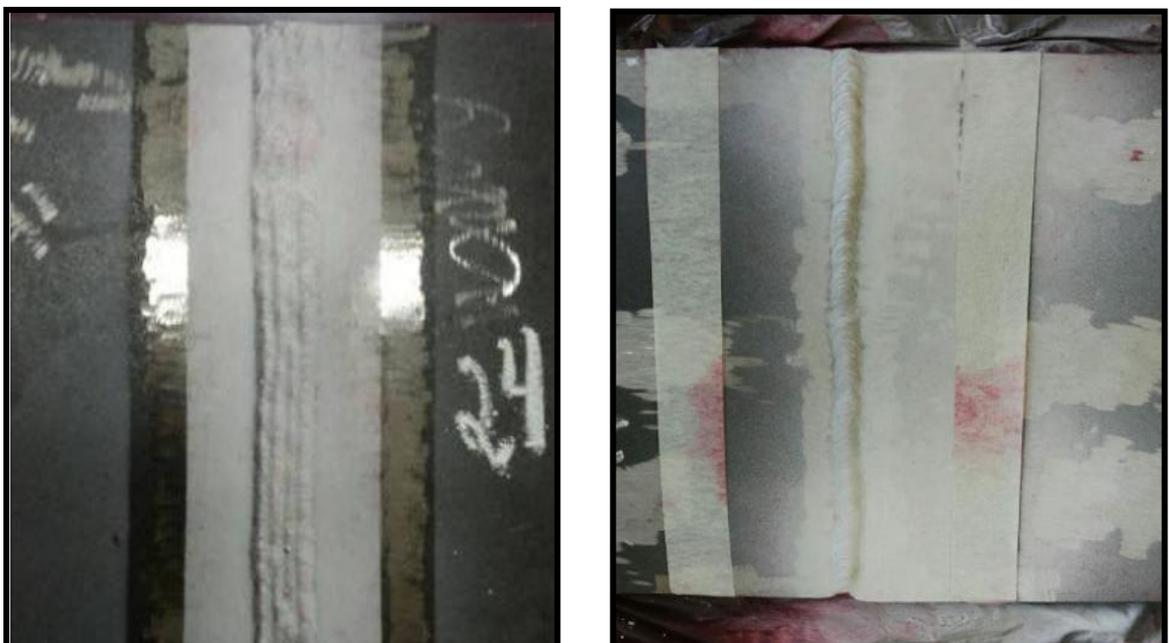
Fonte: (Autor)

Figura 34 e 35 - Aplicação do pó revelador C.P-1



Fonte: (Autor)

Figura 36 e 37 - Aplicação do pó revelador C.P-2



Fonte: (Autor)

3.4.1 Resultado do ensaio por líquido penetrante

Neste ensaio pode-se observar que não houve o aparecimento de mordeduras, trincas ou porosidades que viessem a comprometer o cordão de solda ou a qualidade dos corpos de prova.

3.5 ENSAIO POR ULTRASSOM

O ensaio por ultrassom visa á obtenção de descontinuidade por meio de ultrassom da junta soldada, analisando tanto o interior da junta soldada quanto a ZTA e a superfície externa do cordão de solda.

Inicialmente é feita a limpeza no corpo de prova com água potável, em seguida o mesmo é seco para não ocorrer oxidação do metal. Após a secagem, aplica-se o acoplante, uma solução de metil-celulose cuja a função é acoplar o cabeçote revelador á junta soldada.

Após a aplicação do acoplante, manualmente, o técnico lança mão no cabeçote revelador e em movimentos retilíneo desliza o cabeçote revelador em toda a região soldada e nas superfícies externas da solda, variando desde o cordão ate a ZTA, conforme as figuras 38,39 40 e 41.

O cabeçote revelador é acoplado por meios de cabos a um painel que transmite por meio de um gráfico a vibração ou onda ultrassônica que reflete em uma descontinuidade ou falha de solda, conforme as figuras 42 e 43.

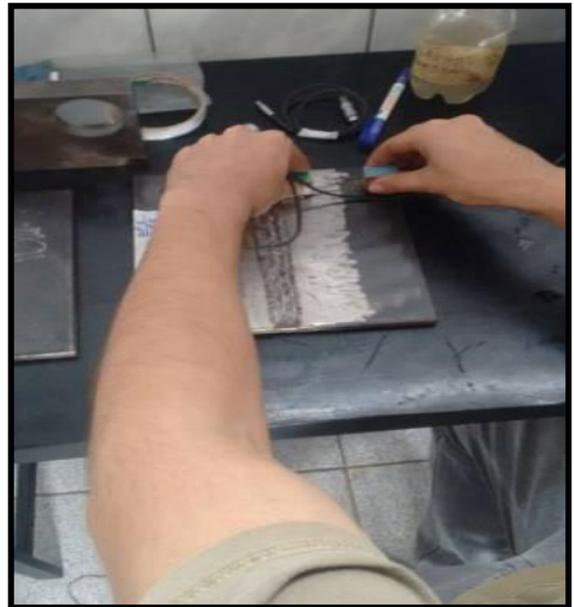
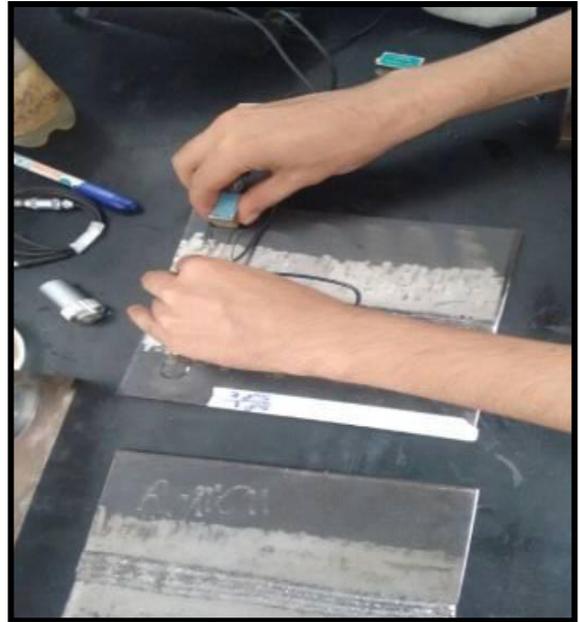
O ensaio por ultrassom é caracterizado por uma ferramenta muito útil na obtenção da qualidade do material e equipamentos submetido a soldas.

O aparelho de ultrassom utilizado para este trabalho foi o MITECH modelo MFD350B, transdutor duplo cristal F10-SE, angulares MWB60/4 e MWB70/4, o ensaio foi realizado pelo operador qualificado Lucas Carvalho, ex aluno da Fatec Pinda.

3.5.1 Requisitos básicos para o ensaio de ultrassom

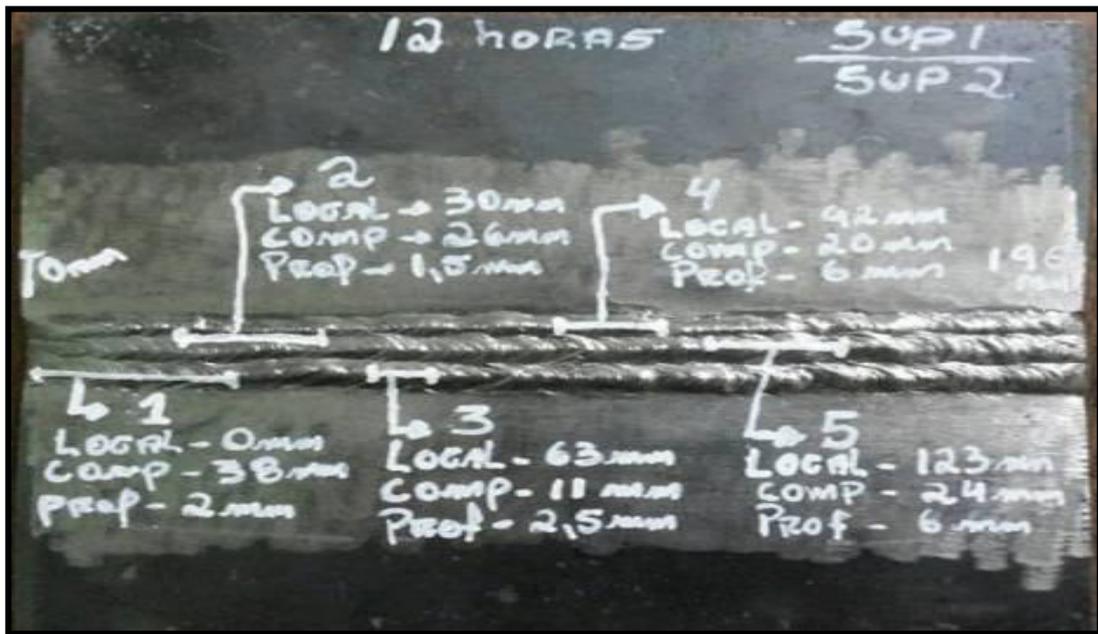
- 1- Operador treinado e qualificado
- 2- Norma técnica e procedimento
- 3- Aparelho de ultrassom
- 4- Transdutores
- 5 - Acoplante
- 6- Bloco de calibração e de referencias
- 7- Material a ser ensaiado

Figura 38, 39, 40 e 41 - Realização do ensaio por ultrassom



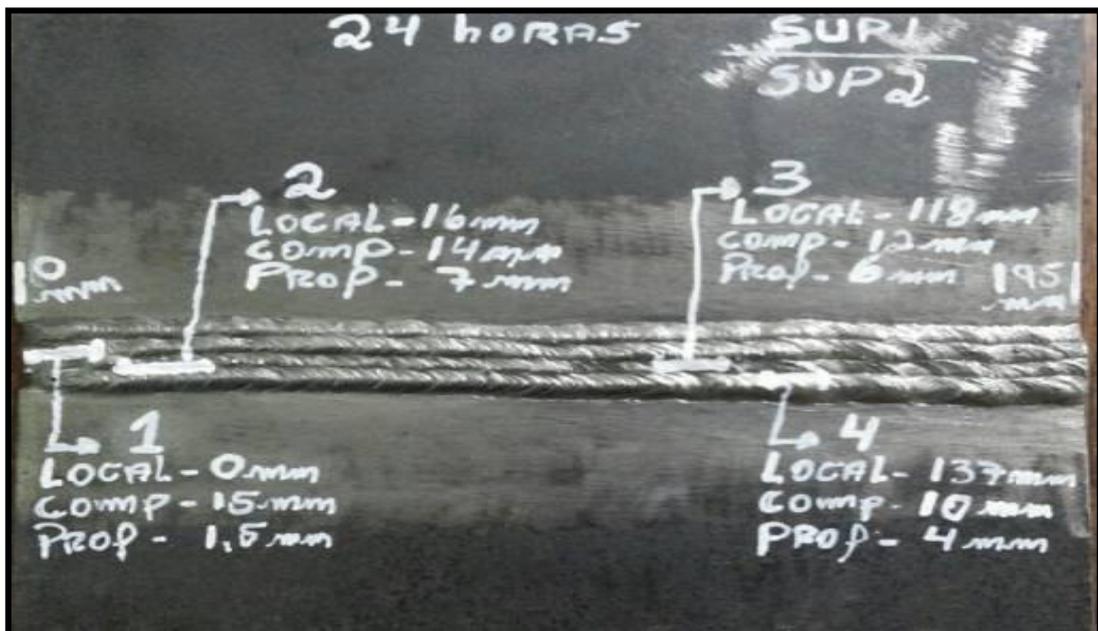
Fonte: (Autor)

Figura 42 - Marcação dos defeitos encontrados no ensaio de ultrassom C.P-1



Fonte: (AUTOR)

Figura 43- Marcação dos defeitos encontrados no ensaio de ultrassom C.P-2



Fonte: (Autor)

3.5.2 Resultado do ensaio por ultrassom

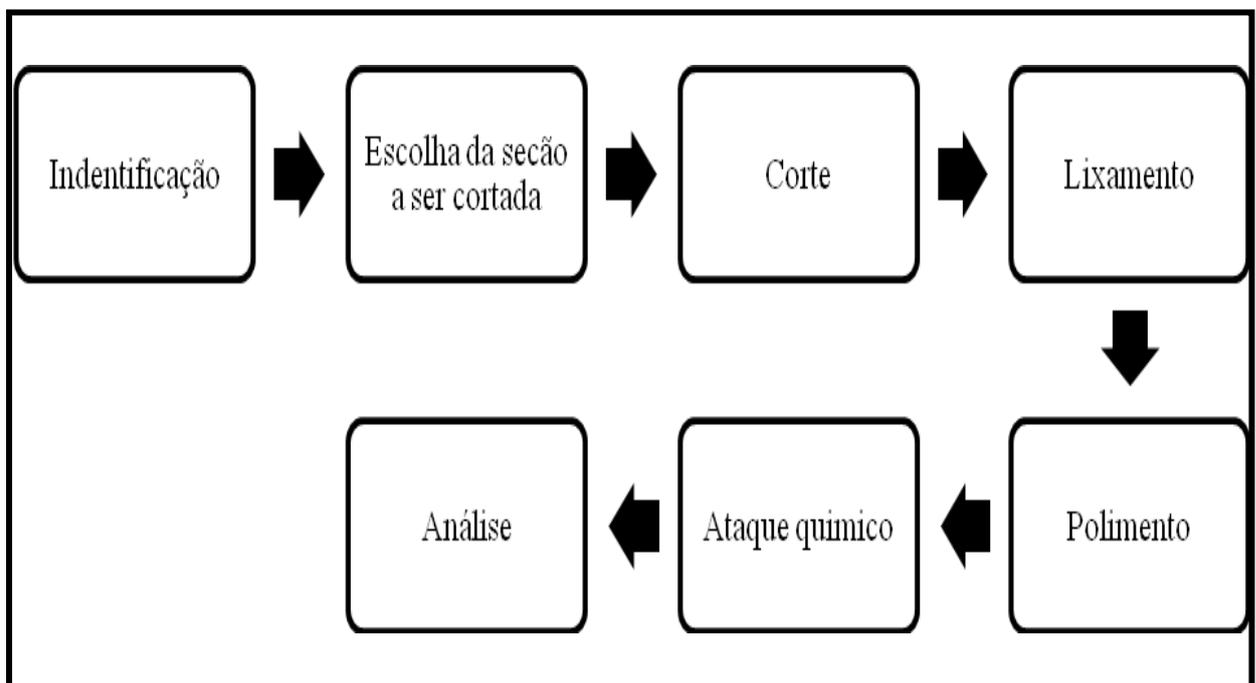
Através do ensaio realizado com o aparelho de ultrassom, detectamos a presença de poros e trincas internas em ambos os corpos de prova que comprometem a qualidade mecânica da solda.

3.6 ENSAIO METALOGRAFICO

O Ensaio de macrografia consiste na verificação a olho nu ou com ampliação de no máximo dez vezes de uma superfície plana preparada adequadamente através do lixamento; a superfície é normalmente atacada por uma substância que reage com a superfície lixada e revela detalhes macrograficos da estrutura do material ou da junta soldada ensaiada.

Para preparar uma amostra para realizar um ensaio metalográfico a amostra precisa passar por diversas etapas, conforme a figura 44.

Figura 44- Ciclo de Preparação Metalográfica

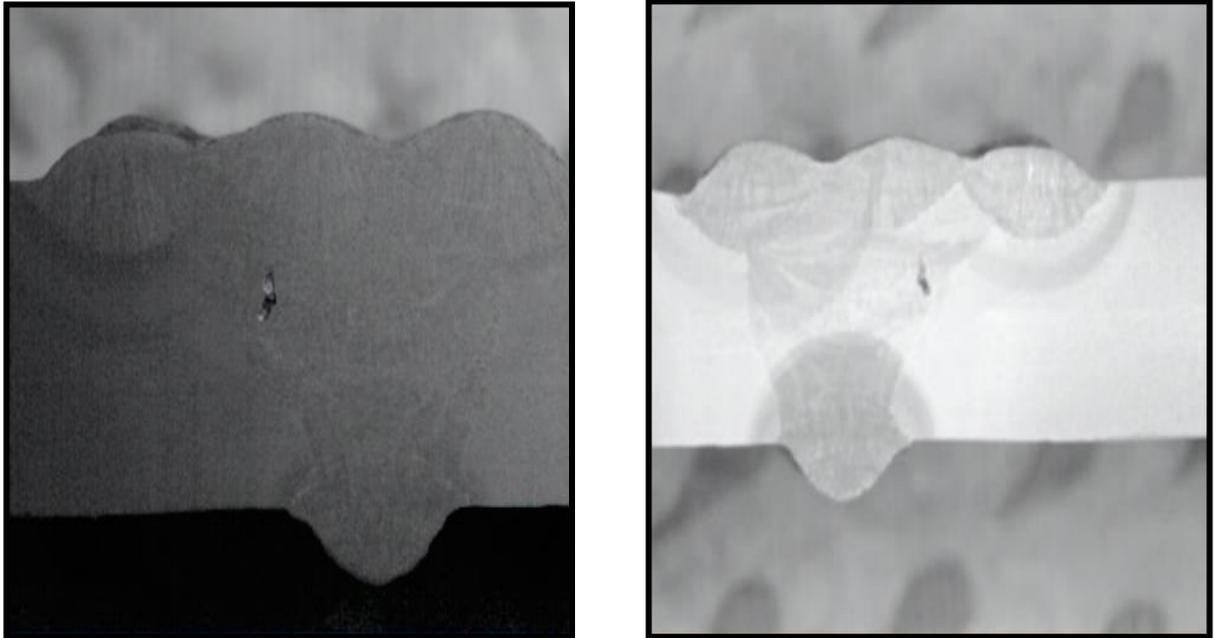


Fonte: (Autor)

As imagens macrografica das amostras foram obtidas através de um estereoscópio com um aumento que varia entre 6.7x e 45x. E foram atacadas com o reagente de nital 2% no período de 1,5 min.

O interesse deste ensaio macrografico foi observar e analisar a geometria (altura e largura dos reforços de solda da zona fundida) e a localização exata da descontinuidade, conforme as figuras 45 e 46.

Figura 45 e 46- Descontinuidades



Fonte: (Autor)

3.6.1 Resultados do Ensaio Macrografico

Através das imagens do ensaio macrografico pode-se observar que um dos defeitos de porosidade estava localizado no enchimento da solda.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O que se pode obter de resultados dos ensaios não destrutíveis realizados nos corpos de prova é que embora ela tenha sido aprovado no ensaio visual, líquido penetrante e partículas magnéticas ele acabou sendo reprovado no ensaio de ultrassom, que é entre todos os realizados o mais eficiente, devido a sua capacidade de detectar defeitos internos imperceptíveis a visão humana.

Uma particularidade muito importante nestes corpos de provas, ambos os dois, é que não obteve defeitos no acabamento da solda, o que torna a inspeção muito mais complexa exigindo a utilização de aparelhos mais sofisticados.

E através destes defeitos detectados pode-se confirmar que a presença de umidade no revestimento do eletrodo causa o aparecimento de trincas internas e porosidades que comprometem o cordão e a qualidade solda.

5 CONCLUSÃO

Com o presente estudo prático, feito os corpos de prova foi possível concluir que o excesso de umidade no revestimento do eletrodo é um fator relevante para o surgimento de defeitos na solda.

Esses defeitos podem ser classificados em diferentes níveis de intensidade ao cordão de solda comprometendo ou não os corpos de prova. O primeiro defeito encontrado nessa etapa pratica foi o excesso de respingo, causando perda de material e afeta esteticamente o cordão de solda, mas pode ser corrigido com uma boa limpeza do material e não interfere na resistência mecânica da peça soldada, que é o que realmente importa.

Outro defeito encontrado nos corpos de prova foi o aparecimento de mordeduras, é um defeito que deve ser analisado mais criticamente pois dependendo da profundidade pode causar perda de resistência do material, mas de acordo com as análises realizadas nos corpos de prova a profundidade das mordeduras está dentro do permitido, não comprometendo a peça.

O último defeito encontrado e o mais critico foi obtido através do ensaio de ultrassom que foi o aparecimento de porosidades e trincas internas, tendo em vista que eles estavam no interior da solda e poderiam passar despercebido caso fosse realizados apenas o ensaio visual, liquido penetrante e partículas magnéticas. E esse tipo de defeito é considerado de alto risco pois se forma de dentro para fora do cordão de solda, comprometendo completamente a resistência mecânica do material, podendo em casos mais graves levar a total ruptura do cordão.

Dessa forma depois de analisar os diversos tipos de defeitos na solda por causa da umidade, torna-se necessário a correta manutenção dos eletrodos antes da execução da soldagem, seguindo as orientações do fabricante corretamente para a ressecagem e armazenamento, visando eliminar a umidade que causa os defeitos que geram retrabalho na solda, tornando maior os custos do processo de soldagem, reduzindo o lucro da empresa e tornando-a menos competitiva no mercado de trabalho.

SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Estudos com a realização de corpos de prova soldado utilizando eletrodos que passaram diversas vezes por processo de ressecagem e foram armazenados a alta temperatura acima da indicação da norma e fabricante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN WELDING SOCIETY - **norma AWS 5.1, 5.4, e 5.5.** Miami,1919.

ÁQUILA, V. SOARES, L. H.C. JUNIOR, O. O. P. **Processo de soldagem por eletrodo revestido.** Apostila L&A soldagem. ESCOLA DE SOLDAGEM L&A. Salvador, 2012.

BUZZINE, H A. **Eletrodos.** In:_____. Manual de solda elétrica. São Paulo: Tecnoprint S.A. cap. 4, p.33-40. 1987.

ELBRAS ELETRODOS DO BRASIL LTDA. **Eletrodos revestidos características e fundamentos.** Manual. Contagem-MG. 2005.

FICHEL, I. *et al.* **Desenvolvimento de eletrodos revestidos impermeáveis.** Artigo Consolda. São Paulo, 2009.

FORTES, C. VAZ, C. T. **Apostila de eletrodos revestidos.** ESAB BR. Contagem-MG. 2005.

GADELHA, F. A. B. **Soldagem a arco elétrico, processos eletrodo revestido, TIG e MIG-MAG.** Apostila de solda – SENAI. Campina Grande, 2010.

GERDAU. **Guia de soluções para soldagem com eletrodos revestidos.** Catalogo. Campinas. 2013.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem com eletrodos revestidos.** In:_____. Soldagem: fundamentos e tecnologia. 3. ed. Belo Horizonte: Ufmg, p.181-202. 2009.

MODENESI, P. J; MARQUES, P. V.; SANTOS, D. B. **Introdução à metalurgia da soldagem.** Apostila metalurgia, Belo Horizonte. 2012.

PAREDES, R. S.. **Defeitos em soldagem.** Apostila. Paraná: Ufpr, 2009.

REIS, R. P.; SCOTTI, A. Consumíveis. In:_____. **Fundamentos e pratica da soldagem a plasma.** 1. ed. São Paulo: Artliber Ltda, p.53-61. 2007.

SANCHES, R. A. **Defeitos em solda detectáveis através de inspeção visual.** Monografia. Graduação. Centro universitário luterano de Manaus – CEULM. Manaus. 2010.

SOUZA, A. C. **Consumíveis de soldagem.** Apostilas soldagem geral. LINCOLN ELECTRIC DO BRASIL. São Paulo, [s.d].

TECCO, D. G. **Processo de soldagem com eletrodo revestido.** In:_____. WAINER, E. BRANDI, S. D. MELLO, F. D. H. Soldagem: processos e metalurgia. 2. ed. Sao Paulo: Edgard Blucher Ltda, p.31-59. 2010.

ANEXOS

RELATÓRIO DE ENSAIO POR ULTRASSOM C.P- 1

PROCEDIMENTO- Nº VER PR-011 REV. 11				CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO			RELATÓRIO Nº _1, CP-1				
MATERIAL AÇO CARBONO		Condição da superfície ESCOVADA			NORMA DE REFERÊNCIA ASME V AD.2002						
APARELHO		FABRICANTE MITECH		MODELO MFD 350		Nº SÉRIE FDXXXXXXXXXXX					
CABEÇOTE							DADOS DE CALIBRAÇÃO				
TIPO	FABRICANTE	MODELO	Nº SÉRIE	DIMENSÕES (MM)	ANG. REAL	FREQ. (MHz)	ESPESSURA DA PEÇA (MM)	ESPESSURA DO BLOCO (MM)	GP	PT	GV
Duplo- cristal	MITECH	F 10	XXX	Ø 10	0º	4	9	-	40,3	-	40,3
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Angular	MITECH	MBW60-4	XXX	8X9	60º	4	9	20	38	0	44
Angular	MITECH	MBW70-4	XXX	8X9	70º	4	9	20	43,5	0	49,5

Croqui - superfícies de varredura

	ANG.	SE	N	45º	60º	70º
	POS.					
	1	X	-	-	X	X
	2	X	-	-	X	X

DESCONTINUIDADES

Nº	CABEÇOTE	AMP	LOCAL (mm)	COMPRIMENTO (mm)	PROF. (mm)	PERCURSO SOM.(mm)	DISTÂNCIA. REFERÊNCIA (mm)	SUPERF. DETECÇÃO	IDENTIF. DESCONT.	LAUDO
01	70º	-11	0	38	2	46	52	2	-	-
02	60º	-11	30	26	1,5	37	38	1	-	-
03	70º	-16	63	11	2,5	46	46	2	-	-
04	70º	-16	92	20	2	48	54	1	-	-
05	70º	-8	123	24	6	35	35	2	-	-

06									
07									
08									
09									
10									
LAUDO: A: Aprovado R: Reprovado						LEGENDA: GP- Ganho primário PT- Perda por transferência GV- Ganho de varredura NEC: Necessário Exame Complementar		OBSERVAÇÕES:	

___ APROVADO

___ REPROVADO

___ NEC

NOME DO CANDIDATO:		NÚMERO: 21671
MODALIDADE DO EXAME: US-N2-S2	ASSINATURA DO CANDIDATO:	
EMPRESA: -----	DATA: 04/10/2016	VISTO DO EXAMINADOR: -----

RELATÓRIO DE ENSAIO POR ULTRASSOM C.P- 2

PROCEDIMENTO- Nº VER PR-011 REV. 11			CRITÉRIO DE ACEITAÇÃO Não apicado			RELATÓRIO Nº _2-, CP-2					
MATERIAL AÇO CARBONO					Condição da superfície ESCOVADA		NORMA DE REFERÊNCIA ASME V AD.2002				
APARELHO		FABRICANTE MITECH			MODELO MFD 350		Nº SÉRIE FDXXXXXXXXXXXX				
CABEÇOTE							DADOS DE CALIBRAÇÃO				
TIPO	FABRICANTE	MODELO	Nº SÉRIE	DIMENSÕES (MM)	ANG. REAL	FREQ. (MHz)	ESPESSURA DA PEÇA (MM)	ESPESSURA DO BLOCO (MM)	GP	PT	GV
Duplo- cristal	MITECH	F 10	XXX	Ø 10	0º	4	9	-	40,3	-	40,3
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Angular	MITECH	MBW60-4	XXX	8X9	60º	4	9	20	38	0	44
Angular	MITECH	MBW70-4	XXX	8X9	70º	4	9	20	43,5	0	49,5

Croqui - superfícies de varredura

	ANG.	SE	N	45º	60º	70º
	POS.					
	1	X	-	-	X	X
	2	X	-	-	X	X

DESCONTINUIDADES

Nº	CABEÇOTE	AMP	LOCAL (mm)	COMPRIMENTO (mm)	PROF. (mm)	PERCURSO SOM (mm)	DISTÂNCIA. REFERÊNCIA (mm)	SUPERF. DETECÇÃO	IDENTIF. DESCONT.	LAUDO
01	60º	-2,5	0	15	1,5	37	36	2	-	-
02	60º	-4	16	14	7	54	49	2	-	-
03	70º	+2,5	118	12	6	36	37	2	-	-
04	70º	-15	137	10	4	41	43	2	-	-
05										
06										
07										
08										

09										
10										
LAUDO: A: Aprovado R: Reprovado LEGENDA: GP- Ganho primário PT- Perda por transferência GV- Ganho de varredura NEC: Necessário Exame Complementar						OBSERVAÇÕES:				

___ APROVADO

___ REPROVADO

___ NEC

NOME DO CANDIDATO:		NUMERO: 21671
MODALIDADE DO EXAME: US-N2-S2	ASSINATURA DO CANDIDATO:	
EMPRESA: -----	DATA: 04/10/2016	VISTO DO EXAMINADOR: -----