

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

**ESTUDO DOS PROCEDIMENTOS E TÉCNICAS DE SOLDAGEM COM ELETRODO
REVESTIDO PARA A SOLDAGEM DO ALUMÍNIO**

FELIPE ABRAÃO LIMA DE OLIVEIRA

MANAUS

2022

FELIPE ABRAÃO LIMA DE OLIVEIRA

ESTUDO DOS PROCEDIMENTOS E TÉCNICAS DE SOLDAGEM COM ELETRODO
REVESTIDO PARA A SOLDAGEM DO ALUMÍNIO

Trabalho de curso apresentado como requisito
parcial à obtenção do título de bacharel em
Engenharia Mecânica da Universidade do
Estado do Amazonas (UEA)

Orientador: Prof. Dr. Aristides Rivera Torres

MANAUS

2022

O48ee Oliveira, Felipe Abraão de Lima.
Estudo dos procedimentos e técnicas de soldagem com eletrodo revestido para a soldagem em alumínio / Felipe Abraão Lima de Oliveira. Manaus : [s.n], 2022. 58 f.: color.; 29 cm.

TCC - Graduação em Engenharia Mecânica
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2022
Inclui bibliografia.
Orientador: Torres, Aristides Rivera

1. Soldagem. 2. Eletrodo revestido. 3. Alumínio. I. Torres, Aristides Rivera (Orient.). II. Universidade do Estado do Amazonas. III. Estudo dos procedimentos e técnicas de soldagem com eletrodo revestido para a soldagem do alumínio


FELIPE ABRAÃO LIMA DE OLIVEIRA

**ESTUDO DOS PROCEDIMENTOS E TÉCNICAS DE SOLDAGEM COM
ELETRODO REVESTIDO PARA A SOLDAGEM DO ALUMÍNIO**

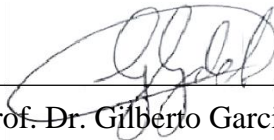
Este Trabalho de Curso foi considerado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas (UEA) e aprovado em sua forma final pela comissão examinadora.

Manaus, 27 de Outubro de 2022.

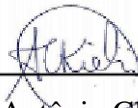
Banca examinadora:



Orientador: Prof. Dr. Aristides Rivera Torres



Prof. Dr. Gilberto Garcia Del pino



Prof. Dr. Antônio Claudio Kieling

*À minha mãe, Mara Lima de Oliveira que dedicou sua
vida para educar seu filho e dar-lhe oportunidades que
nunca o teve.*

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador e amigo, Professor Doutor Aristides Rivera Torres pelo conhecimento transmitido dentro e fora da sala de aula. Principalmente na reta final do curso.

A todo o corpo docente do departamento de Engenharia Mecânica da UEA por transmitir todo o conhecimento que possibilitou, de forma direta e indireta, realizar este projeto.

Aos meus amigos e colegas da equipe Baja UEA que por mais de 2 anos fizeram parte da minha história dentro da UEA. Compartilhando conhecimentos diariamente e através das dificuldades o quanto somos fortes. Aprendendo o valor do trabalho em equipe. Foram muitos momentos felizes, de descontração e muitos outros importantes que contrinuíram para formação do carater profissional.

Aos meus amigos Matheus Passos e Késsia Lira, que tive a honra de conhecer e partilhar diversos momentos importantes. Em preparação para avaliações e dificuldades que a vida acadêmica oferece.

A equipe de Solda e Estamparia da Yamaha Motor da Amazônia, por todo o ensinamento diário, paciência e consideração.

Aos meus familiares, que por diversos momentos ajudaram a chegar até aqui. Principalmente o apoio moral para que não desistisse apesar de todas as dificuldades. Pela dedicação e sacrificios em prol da minha formação pessoal e profissional.

E, por fim, a todos aqueles que me ajudaram de forma direta ou indireta na realização deste sonho e projeto.

*“A lógica pode levar do ponto A a um
ponto B. A imaginação pode levar a
qualquer lugar”
(Albert Einstein)*

RESUMO

Devido a grande maioria das bibliografias abordarem somente o processo de soldagem com eletrodos revestidos para aços. Processo no qual se apresentam como um dos mais repetitivos para a fabricação e reparação utilizando a soldagem como processo. No caso do alumínio, se utiliza mais os gases protetores ainda que pode ser realizado o processo com eletrodo revestido, as dificuldades no processo, estão relacionadas com os parâmetros e o conhecimento do processo e preparação do metal base. Na seleção dos parâmetros e materiais base, consumíveis que serão utilizados. Então, se faz necessário um procedimento para definir de maneira clara e objetiva técnicas e procedimentos que auxiliem na soldagem com eletrodos revestido de alumínio. Desde a preparação até a etapa de validação dos cordões de solda com ensaios de tração dos corpos de prova.

Palavras-chave: Soldagem. Eletrodo Revestido. Alumínio.

ABSTRACT

Due to the vast majority of bibliographies addressing only the welding process with coated electrodes for steels. Process in which they are presented as one of the most repetitive for manufacturing and repair using welding as a process. In the case of aluminum, protective gases are used more, although the process with a coated electrode can be carried out, the difficulties in the process are related to the parameters and knowledge of the process and preparation of the base metal. In the selection of parameters and base materials, consumables that will be used. Therefore, a procedure is necessary to clearly and objectively define techniques and procedures that assist in welding with aluminum coated electrodes. From the preparation to the validation step of the weld beads with tensile tests of the specimens.

Key-words: Welding. Coated electrode. Aluminum.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação esquemática de um eletrodo revestido tocando o metal de base	20
Figura 2. Desenho esquemático de uma soldagem com eletrodo revestido	22
Figura 3 - Equipamentos para soldagem SMAW	26
Figura 4 - Indicador de Tensão na máquina de solda	27
Figura 5 - Visão geral de um eletrodo revestido	28
Figura 6 - Influência da polaridade e do tipo de corrente na penetração: (a) Polaridade inversa (CC+), (b) polaridade direta (CC-) e (c) corrente alternada (CA).....	29
Figura 7 - Conexões e efeitos da corrente contínua.....	31
Figura 8 - Porosidade distribuída.....	35
Figura 9 - Inclusão de escória.....	35
Figura 10 - Falta de fusão	36
Figura 11 - Falta de penetração	36
Figura 12 - Cordão de solda com aspecto de trinca.....	37
Figura 13 - Diversas descontinuidades estruturais	37
Figura 14 – Mordeduras	38
Figura 15 - Chapa de alumínio naval 1100-H4	39
Figura 16 - Eletrodos de Alumínio Alsi 12	40
Figura 17 - Equipamentos de segurança para soldagem.....	41
Figura 18 - Escova Manual com Cerdas de Aço	42
Figura 19 - Comparação peça intacta vs peça lixada.....	42
Figura 20 – Chapa com chanfro 45° para realização do cordão de solda.....	43
Figura 21 - Representação do cordão de solda Solda Topo	43
Figura 22 – Norma para realizar chandro de solda topo em V	44
Figura 23 - Máquina de solda BR 325.....	44
Figura 24 - Ambiente de trabalho.....	45
Figura 25 - Vista frontal máquina de solda	46
Figura 26 - Liga/Desliga máquina de solda.....	46
Figura 27 - Garra de fixação cabo de aterramento	47
Figura 28 - Garra de fixação do eletrodo.....	47
Figura 29 - Estufa para secagem QUIMIS	48
Figura 30 - Eletrodos de alumínio na estufa.....	48
Figura 31 - Segurando o eletrodo na garra	49
Figura 32 - Técnicas para abertura do arco	50
Figura 33 - Ajuste de corrente da máquina de solda	51

Figura 34 - Posicionamento do eletrodo para a soldagem na posição plana.	51
Figura 35 - Ângulo do eletrodo	52
Figura 36 - Ajuste do arco de soldagem	53
Figura 37 - Ajuste da corrente e velocidade de soldagem.....	53
Figura 38 - Soldagem dos corpos de prova	54
Figura 39 - Ajuste dos parâmetros de soldagem.....	54
Figura 40 - Remoção da escória de solda	55
Figura 41 - Limpeza com escova de aço	56
Figura 42 - Resultado final dos cordões aplicados	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Informações técnicas OK AlMn1	33
Tabela 2 - Informações técnicas OK AlSi5	33
Tabela 3 - Informações técnicas OK AlSi12	34
Tabela 4 - Informações técnicas para trabalho OK AlSi12	40

LISTA DE ABREVIACOES

ASW

UEA

EST

SMAW

CC

AC

American Weld Society

Universidade do Estado do Amazonas

Escola Superior de Tecnologia

Shielded Metal Arc Welding

Corrente Contínua

Corrente Alternada

Sumário

1. INTRODUÇÃO	16
1.1. Problematização e Hipótese	17
1.2. Delimitação do estudo	17
1.3. Objetivos	17
1.3.1. Objetivo Geral	17
1.3.2. Objetivos Específicos	17
1.4. Justificativa	19
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1. Soldagem	20
2.1.1. Arco elétrico	20
2.2. Processo de união dos materiais	21
2.3. Soldagem com eletrodos revestidos	21
2.3.1. Fundamentos Gerais	21
2.3.2. Soldabilidade do alumínio e suas ligas	23
2.3.3. Influencia dos elementos de liga na soldabilidade	24
3. METODOLOGIA	38
3.1. Métodos e Técnicas	38
3.2. Procedimentos	38
4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS	39
4.1. Análise e definição de materiais	39
4.1.1. Metal de base	39
4.1.2. Consumível utilizado	39
4.1.3. Classificação e eletrodos utilizados	39
4.1.4. Equipamentos de soldagem	41

4.1.5. Equipamentos de Proteção Individual (EPI)	41
4.2. Preparação do Material	41
4.2.1. Equipamentos de soldagem.....	44
4.3. Procedimentos para Soldagem.....	45
4.3.1. Preparação ambiente de trabalho	45
4.3.2. Princípios para sustentação do arco de soldagem	45
4.3.3. Operação de soldagem	46
4.3.4. Armazenagem Eletrodo de Alumínio.....	47
4.3.5. Segurando o Eletrodo	49
4.3.6. Abrindo o arco elétrico.....	49
4.3.7. Ajuste de corrente da máquina.....	49
4.3.8. Ângulo do eletrodo.....	50
4.3.9. Comprimento do arco.....	50
4.3.10. Velocidade de Soldagem.....	51
4.3.11. Limpeza de solda.....	53
5. CONCLUSÃO	57
5.1. Sugestões para trabalhos futuros	57
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1. INTRODUÇÃO

A soldagem é um meio de fabricação eficiente, confiável, flexível e econômico. A soldagem é amplamente utilizada na indústria como principal meio de fabricação e reparo de produtos metálicos. A soldagem pode reduzir os custos de produção simplificando o projeto e eliminando padrões caros e operações de usinagem. A soldagem também pode ser usada em operações de reparo e adição de novo metal em peças desgastadas. Existem muitas oportunidades para soldadores treinados em técnicas de soldagem, materiais e projetos.

Soldagem é a coalescência ou união de metais, com ou sem metal de adição, usando calor e/ou pressão. A ligação de metais durante a soldagem ocorre através de fusão localizada ou mudanças microestruturais na interface entre os metais. A soldagem é usada em toda a indústria na construção civil, na fabricação de aeronaves e na produção de automóveis. A soldagem é amplamente utilizada para a fabricação e reparo de equipamentos agrícolas, equipamentos de mineração e refinarias, e gabaritos e acessórios; e na construção de caldeiras, fornos e vagões ferroviários. A soldagem também é comumente usada na fabricação de produtos para uso doméstico, como televisores, geladeiras, armários de armazenamento e lava-louças. A construção de pontes e navios também geralmente requer soldagem

Quase dois terços de todos os soldadores trabalham na construção, equipamentos de transporte, produtos metálicos fabricados, máquinas e veículos motorizados e indústrias de equipamentos. As demandas de uma economia industrial crescente durante o século XIX estimularam o desenvolvimento de processos de soldagem modernos. O processo de soldagem a ser usado para um determinado trabalho é determinado por a seguir: tipo de metais a serem unidos, custos envolvidos, natureza dos produtos a serem fabricados técnicas de produção utilizadas, local de trabalho, aparência material, disponibilidade de equipamentos, experiência de soldador

A soldagem por eletrodo revetido (SMAW), às vezes chamada de soldagem por bastão, é usada na fabricação de muitos produtos, incluindo navios, vasos de pressão, tanques, automóveis e eletrodomésticos. As máquinas de solda SMAW são usadas para soldar metais leves e pesados de todos os tipos.

A energia para produzir uma solda pode ser estática, como é fornecida por um transformador, transformador-retificador ou inversor; ou motorizado. O design da fonte de energia é selecionado com base nos requisitos da tarefa de soldagem

O equipamento de proteção individual adequado deve ser usado durante a soldagem para proteger o soldador de ferimentos e evitar danos aos materiais ou estruturas que estão sendo soldadas.

1.1. Problematização e Hipótese

Tendo em vista as dificuldades encontradas na parametrização e procedimento para o método de soldagem com eletrodos de alumínio. Nos mais diversos setores industriais ou de serviço generalizado. Um estudo que busca estabelecer técnicas e parâmetros de soldagem, garantindo que os cordões atendam o projeto e sejam realizados com qualidade é boa opção?

H0: Procedimentos de soldagem com eletrodos de alumínio podem ser um ótimo guia em reparos e união de peças de alumínio;

H1: A soldagem com eletrodo revestido de alumínio pode ser uma alternativa viável para a soldagem e recuperação de peça de alumínio com baixo custo.

1.2. Delimitação do estudo

Estudo de técnicas e procedimentos de soldagem com eletrodos de alumínio, que otimizem o tempo de aprendizado, execução e qualidade dos cordões de solda. Utilizando corpos de prova para validação por meio de análise visual do aspecto e análise macrográfica da profundidade de penetração da solda.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

O trabalho tem como objetivo realizar um estudo com a determinação dos parâmetros e procedimentos para a soldagem com eletrodos revestidos e demonstrar as possibilidades do processo como alternativa sem comprometer a soldabilidade dos materiais.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar estudos das características do processo de soldagem com eletrodo de alumínio e do comportamento do processo;
- Elaborar corpos de prova analisando as características dos parâmetros de soldagem;
- Estabelecer as variáveis tecnológicas e os parâmetros para realizar o processo de soldagem com a melhor qualidade e o mínimo de defeitos;

- Realizar análise dos corpos de prova soldados, verificando o aspecto visual e profundidade de penetração dos cordões de solda;

1.4. Justificativa

O estudo terá como principal objetivo o desenvolvimento de uma metodologia e procedimento para a soldagem com eletrodos de alumínio. Sendo um processo que exige muita prática e experiência de quem a executa. Diferente do processo com eletrodo para materiais ferrosos.

Metodologia é o estudo de métodos, ou seja, a análise de vários caminhos para a obtenção de determinado objetivo. A utilização de uma boa metodologia de pesquisa e desenvolvimento de projetos é um dos principais fatores para o sucesso do mesmo, sendo responsável por padronizar a sequência de passos a serem dados em uma determinada atividade.

Apesar dos cuidados especiais no armazenamento referidos pelas especificações da norma AWS (Sociedade Americana de Soldagem) o eletrodo revestido é considerado como um dos processos de soldagem mais simples, com ampla versatilidade (quanto à ligas de materiais), fácil manipulação em locais de difícil acesso. É considerado como um dos processos de melhor qualidade e pela diversidade de soldagem em ligas especiais sendo visto como o “bom e barato que não sai da moda”.

Portanto podemos considerar que o eletrodo revestido não perdeu e por um longo tempo não perderá a sua utilidade, por causa de diversas situações de soldagem em que ele ainda se enquadra como o melhor processo. E a sua evolução para arame tubular não inviabiliza a sua utilização, pois esta evolução foi no sentido de um maior poder de produção e não para substituí-lo.

Ainda que o método de soldagem com eletrodos revestidos seja um dos mais antigos conhecidos. O mais comumente utilizado é o para materiais ferrosos como por exemplo os aços de baixa liga. Tendo diversas aplicações e procedimentos. Já o processo de soldagem com eletrodos de alumínio não é tão popularmente utilizado e de fácil aplicação. Tendo limitações de equipamentos e uma maior preparação do local a ser soldado para não comprometer o mesmo. Pensando nisso, surgiu a ideia de estabelecer técnicas e procedimentos para aplicação dos cordões de solda com eletrodos de alumínio.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Soldagem

A soldagem a arco elétrico é um método de união de um ou mais materiais com auxílio de calor e está condicionada a muitos fatores relativos ao meio no qual será empregada, pois apesar de ser um processo de união extremamente confiável e versátil, se o ambiente de trabalho estiver contaminado por sujeiras ou desorganização por parte dos trabalhadores, as inúmeras vantagens da soldagem podem ser eliminadas sobrando apenas desvantagens, gerando prejuízos. Uma soldagem empregada de modo correto contribui para a construção de pontes, petroleiros, balsas, veículos diversos que são essenciais à vida moderna.

Os processos de soldagem são utilizados nas mais diversas situações que vão desde um simples reparo, como o conserto de uma perna de cadeira metálica, até a construção de pontes e de super-petroleiros, ou seja, as aplicações práticas dependem do que se quer e são relacionadas diretamente ao que se precisa.

2.1.1. Arco elétrico

É a coluna formada entre o eletrodo e a peça (Figura 1). É considerado o quarto estado da matéria (plasma), com temperatura elevada (em torno de 6000o C). É característica de um condutor elétrico: (MACHADO, 1996).

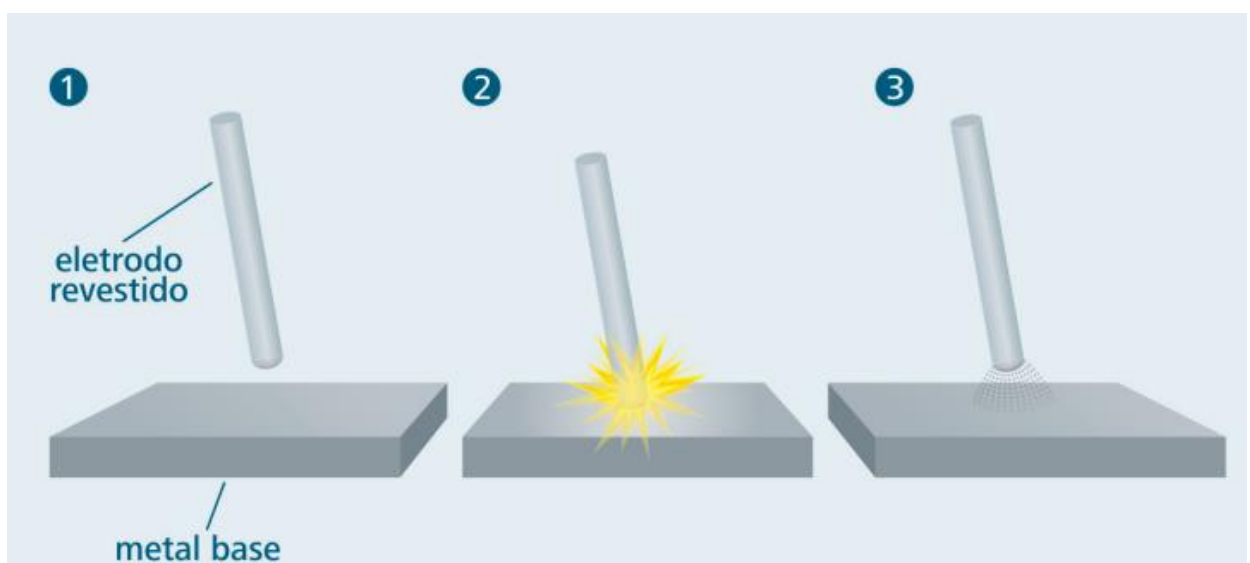


Figura 1 - Representação esquemática de um eletrodo revestido tocando o metal de base

Fonte: <https://portalidea.com.br/cursos/bsico-em-soldagem-apostila02.pdf>

2.2. Processo de união dos materiais

Processo de união de materiais A técnica de soldagem com eletrodo revestido é método em que a fusão do metal é determinada pelo aquecimento de um arco elétrico, localizado entre a ponta de um eletrodo revestido e a superfície do metal de base que será soldado (FILHO, 2005).

Jenney; O'Brien, (2001) apud Loureiro (2017) em suas citações bibliográficas diz que (SMAW) é o processo de união de materiais aplicado para obter a limitada coalescência em metais ou não metais.

Ainda segundo Neris (2012) apud Loureiro (2017) o calor necessário para a realização da soldagem é decorrente da energia do arco elétrico formado entre a peça a ser soldada e o eletrodo, não havendo nesse processo a ocorrência de pressão, geração de gases protetores ocorre como consequência a decomposição do revestimento do eletrodo havendo adição de elementos de liga ao metal de base na poça de solda.

A American Welding Society (AWS) elucida soldabilidade como “a eficiência de um material ser soldado nas exigências de fabricação determinada por uma estrutura específica planejada de forma apropriada e de se proceder adequadamente em serviço” (MODENESI, 2011).

De acordo com Wainer (2004) apud Rolemberg (2014) “o procedimento de soldagem, por eletrodos é caracterizado como um método de soldagem com arco, onde a combinação é produzida pelo calor do arco criado entre um eletrodo revestido e a junta a soldar”.

Segundo Filho (2005) o material básico para soldagem com eletrodo revestido compõe-se de uma fonte de energia de aspecto estática de corrente constante, de um alicate para a fixação dos eletrodos, de cabos de interligação, de materiais de segurança, de equipamento para limpeza da solda e do eletrodo revestido propriamente dito.

O processo de soldagem por eletrodo revestido possui uma das configurações mais simples em comparação a outros métodos de soldagem elétrica mais tecnológicos (ROLEMBERG, 2014).

2.3. Soldagem com eletrodos revestidos

2.3.1. Fundamentos Gerais

A soldagem a arco com eletrodos revestidos (Shielded Metal Arc Welding – SMAW) é um processo que produz a coalescência entre metais pelo aquecimento destes com um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico revestido e a peça que está sendo soldada. O processo é mostrado esquematicamente na Figura 1.

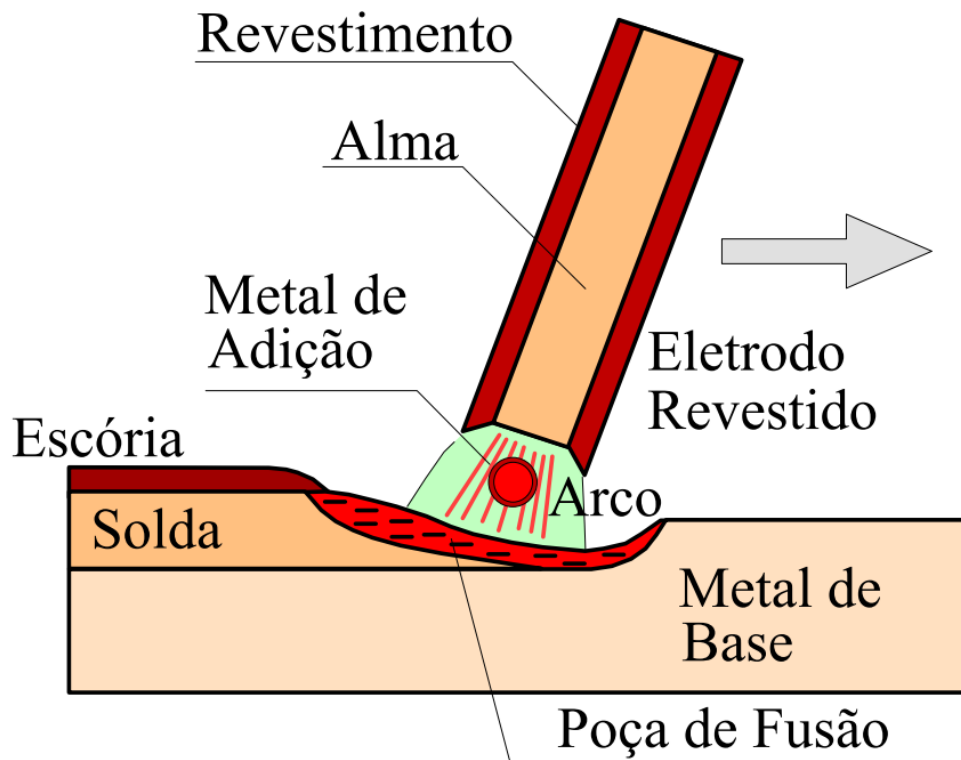


Figura 2. Desenho esquemático de uma soldagem com eletrodo revestido

Fonte: https://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/pratica_smaw.pdf

O eletrodo revestido consiste de uma vareta metálica chamada de “alma”. Trefilada ou fundida que conduz uma corrente elétrica e fornece metal de adição para enchimento da junta. A alma é recoberta por uma mistura de diferentes materiais numa camada que forma o “revestimento” do eletrodo. Este revestimento tem diversas funções na soldagem, principalmente:

- Estabilizar o arco elétrico;
- Ajustar a composição química do cordão, pela adição de elementos de liga e eliminação de impurezas;
- Proteger a poça de fusão e o metal de solda contra contaminação pela atmosfera, através da geração de gases e de uma camada chamada de escória;
- Conferir características operacionais, mecânicas e metalúrgicas ao eletrodo e à solda, como será visto mais adiante.

A possibilidade de inúmeras formulações para o revestimento explica a principal característica deste processo que é sua grande versatilidade em termos de ligas soldáveis, características operacionais e características mecânicas e metalúrgicas do material depositado. O custo relativamente baixo e a simplicidade do equipamento necessário, comparados com outros processos, e a possibilidade de uso em locais de difícil acesso ou abertos, sujeitos à ação de ventos, são outras características importantes.

2.3.2. Soldabilidade do alumínio e suas ligas

O termo soldabilidade está associado à facilidade com que uma liga pode ser soldada, produzindo uma junta com adequada resistência mecânica, resistência à corrosão e outras propriedades quando necessárias (PÓVOA, 1988). No início de seu emprego nas aplicações industriais, o alumínio foi considerado um material de difícil soldabilidade devido ao fato de se empregar técnicas de soldagem semelhantes às empregadas para materiais ferrosos, obtendo soldas de baixa qualidade (REIS, 1996, SAUNDERS, 1989 e BILONI et al, 1981).

Um grande problema na soldagem do alumínio está relacionado com a facilidade do mesmo em reagir com o oxigênio, formando a alumina (Al_2O_3). Este óxido tem a dureza próxima à do diamante e alto ponto de fusão ($2038^\circ C$). A alumina também é porosa, podendo reter umidade e sujeira que podem contaminar o cordão de solda.

Desta forma, antes do processo de soldagem, é importante a remoção da alumina para que o material possa ser soldado satisfatoriamente. A remoção da camada de alumina pode ser feita de 3 formas distintas (ALCAN, 1993): por ação mecânica, limpeza química ou ataque catódico. A remoção por ação mecânica é a mais simples, porém pouco eficiente. É feita por meio de esmerilhamento ou escovamento, momentos antes da soldagem.

A limpeza química é feita pela aplicação de bases e ácidos alternadamente, a temperaturas variadas, intercaladas por lavagem com água. O ataque catódico consiste em alternar o sentido da corrente elétrica de soldagem, sendo muito utilizado no processo TIG.

Outro fator que exerce uma grande influência na soldabilidade é a condutividade térmica. No alumínio ela é quase cinco vezes maior do que no aço, significando assim que para elevar localmente a temperatura de uma mesma massa é requerido cinco vezes mais calor para o alumínio do que para o aço (AWS, 1996 e ALCAN, 1993).

Como o ponto de fusão do alumínio é menor que o do aço, tem-se a impressão inicial que o calor requerido para soldar alumínio é menor do que para o aço. Entretanto, a alta condutividade térmica do alumínio compensa a diferença entre as temperaturas de fusão e, por isso, o alumínio necessita tanto quanto ou provavelmente mais calor do que o aço para ser soldado (ALCAN, 1993).

Conforme mencionado na literatura (ALCAN, 1993), a alta condutividade térmica, o alto coeficiente de expansão linear e a necessidade de maior aporte de calor podem causar consideráveis distorções durante a soldagem se não forem utilizadas as velocidades de trabalho mais altas possíveis, quando da soldagem do alumínio com fontes de calor mais intensas. Esta alta condutividade térmica torna a soldagem do alumínio mais rápida que do aço, pois ela proporciona uma rápida solidificação da poça de solda

2.3.3. Influencia dos elementos de liga na soldabilidade

A adição de cobre fornece alta resistência. O silício diminui o ponto de fusão e dá fluidez à liga. O manganês atua no sentido de oferecer um aumento moderado na resistência mecânica aliado a uma excelente ductilidade. Já o magnésio oferece as maiores resistências mecânicas e mantém boa resistência à corrosão (ALCAN, 1993, PÓVOA, 1988 e BILONI et. al., 1981).

Busca-se uma combinação dos elementos de liga no alumínio visando uma melhora e/ou combinação das propriedades que os mesmos oferecem individualmente. Quando se combina o magnésio com o silício têm-se ligas com boa resistência mecânica, plasticidade e extrudabilidade. O zinco com o magnésio e o cobre oferecem resistências muito elevadas. Já as ligas combinando zinco e magnésio são capazes de recuperar parte da resistência mecânica perdida através da soldagem por meio de envelhecimento em temperatura ambiente (ALCAN, 1993, PÓVOA, 1988 e BILONI et. al., 1981).

O alumínio puro para uso industrial tem uma soldabilidade bastante satisfatória pelos processos de fusão a arco, embora as faixas de fusão estreitas possam causar falta de fusão e outros tipos de defeitos (ALCAN, 1993). Quando se acrescentam elementos de liga no alumínio, estes podem alterar sua soldabilidade, melhorando-a ou piorando-a. Conforme Alcan (1993) e Okumura e Taniguchi (1982), a soldabilidade varia da seguinte forma para as diversas ligas de alumínio:

Liga Al-Cu – a soldabilidade desta liga pelos processos a arco deixa muito a desejar em virtude de serem muito suscetíveis à fissuração a quente. Portanto, a sua união pelo processo MIG é difícil.

Liga Al-Mn – esta liga tem uma boa soldabilidade e não é suscetível à ocorrência de trincas de solidificação;

Liga Al-Si – esta liga possui excelente fluidez e dificilmente ocorrem problemas de trincas na solda. Normalmente é utilizada como material de enchimento;

Liga Al-Mg – as ligas desta família, em geral, são facilmente soldáveis. Quando tem teor de Mg abaixo de 2,5% e são soldadas com os processos de fusão a arco, ficam sujeitas à fissuração a quente durante a fase de solidificação, caso o metal de adição tenha a mesma composição química do metal de base;

Liga Al-Mg-Si – esta família de ligas tem soldabilidade satisfatória, mas pode sofrer uma perda de dureza na zona de solda.

Para recuperar a resistência na zona termicamente afetada é necessário executar um tratamento térmico completo pós soldagem.

Para chapas finas, é possível obter maior resistência mecânica após a solda com um aumento na velocidade de soldagem. Já no caso de chapas grossas, este aumento de resistência não é significativo. Embora sejam propensas à fissuração a quente, isto pode ser superado pela escolha correta do metal de enchimento e do perfil da junta;

Liga Al-Zn – assim como a liga Al-Cu, a soldabilidade por processo de fusão a arco desta liga deixa muito a desejar, mas também possui ligas soldáveis;

Liga Al-Zn-Mg – esta liga tem uma soldabilidade satisfatória e a diminuição da dureza na zona da solda pode ser recuperada através de envelhecimento natural. O alumínio puro (série 1xxx) e a liga Al-Mn (série 3xxx), apesar de terem boa soldabilidade, não possuem a resistência necessária exigida para uso estrutural.

2.3.4. Equipamentos

Os equipamentos de um posto de soldagem manual com eletrodos revestidos compreendem, em geral, fonte de energia, cabos, porta eletrodos, ferramentas (picareta, escova de aço e etc.) e materiais de segurança (máscara, óculos, avental e etc.). O equipamento de proteção individual adequado deve ser usado durante a soldagem para proteger o soldador de ferimentos e evitar danos aos materiais ou estruturas que estão sendo soldadas. O equipamento consiste de uma fonte de energia, cabos de ligação, um porta eletrodo (tenaz), conector de terra e o eletrodo, conforme podemos observar abaixo em detalhes:

- Fontes de energia: A energia fornecida pode ser tanto corrente alternada, que são os transformadores, como corrente contínua que são os geradores e retificadores; sua utilização pode ser na polaridade direta ou na polaridade inversa dependendo do serviço a ser executado. Na corrente contínua com polaridade direta (CC-), o eletrodo fica ligado ao polo negativo e a peça no positivo, dessa forma produzirá uma menor taxa de fusão do eletrodo, porém uma maior profundidade de penetração. Na corrente contínua com polaridade inversa (CC+), o eletrodo fica ligado ao polo positivo e a peça no negativo dessa forma produzirá maiores taxa de fusão do eletrodo, porém uma menor profundidade de penetração. Na corrente alternada (CA) a polaridade alterna-se a cada inversão da corrente, dessa forma a geometria do cordão de solda ficará entre a obtida em CC+ e CC-.
- Cabos de soldagem: São usados para conectar o alicate de solda e o grampo a fonte de energia. Eles devem ser maleáveis para facilitar o manuseio.

Eles fazem parte do sistema de soldagem e consistem de vários fios de cobre enrolados protegido por um isolante flexível não inflamável. Os cabos devem ser mantidos sempre desenrolados para se evitar a queda de tensão e o aumento de resistência por efeito Joule.

- Porta eletrodo: O alicate de solda é um dispositivo que permite ao operador segurar e controlar o eletrodo, permitindo assim um melhor controle e segurança para o operador.
- Tenaz (Conector de terra): Um dispositivo que conecta o cabo terra à peça que está sendo soldada.



Figura 3 - Equipamentos para soldagem SMAW

Fonte: <https://portalidea.com.br/cursos/bsico-em-soldagem-apostila02.pdf>

A soldagem manual com eletrodos revestidos, é usada na fabricação de muitos produtos, incluindo navios, vasos de pressão, tanques, automóveis e eletrodomésticos. As máquinas de solda SMAW são usadas para soldar metais leves e pesados de todos os tipos.

Uma máquina de solda de corrente constante (CC) é usada para SMAW. A energia para produzir um arco de soldagem pode ser estática, como é fornecida por um transformador, transformador-retificador ou inversor; ou motorizado. O projeto da fonte de energia é selecionado com base nos requisitos da tarefa de soldagem.

2.4. Princípios Elétricos

Ao soldar usando SMAW, um circuito elétrico é criado. Um circuito elétrico é um caminho percorrido pela corrente elétrica que flui de um terminal da máquina de solda, através de um condutor, e para o outro terminal. A corrente é a quantidade de fluxo de elétrons através de um circuito elétrico.

Um condutor é qualquer material através do qual a eletricidade flui facilmente. Os condutores podem ser encontrados na forma de fios, cabos ou barramentos. Uma pessoa também pode atuar como um condutor de eletricidade. Ao soldar usando o processo SMAW, os cabos de soldagem servem como condutores no circuito. A resistência é a oposição do material em um condutor à passagem da corrente elétrica, fazendo com que a energia elétrica seja transformada em calor.

2.4.1. Corrente de Soldagem

Quando a corrente elétrica se move através de um fio, o calor é gerado pela resistência do fio ao fluxo de eletricidade. Quanto maior o fluxo de corrente, maior o calor gerado. O calor gerado durante o processo SMAW vem de um arco que se desenvolve quando a eletricidade salta através de uma lacuna de ar/gás entre a extremidade de um eletrodo e o metal base. A folga ar/gás produz uma alta resistência ao fluxo de corrente. Essa resistência gera calor intenso que pode variar de 3.300°C (6.000°F) a 5.500°C (10.000°F).

2.4.2. Tensão

A força (força eletromotriz, ou fem ou pressão que faz com que a corrente flua em um circuito é chamada de tensão. A tensão é a quantidade de pressão elétrica em um circuito. A tensão não flui, apenas a corrente flui. A tensão é medida usando um voltímetro. Os valores de tensão e corrente são comumente mostrados com um display digital na frente de uma máquina de solda. Conforme figura abaixo:

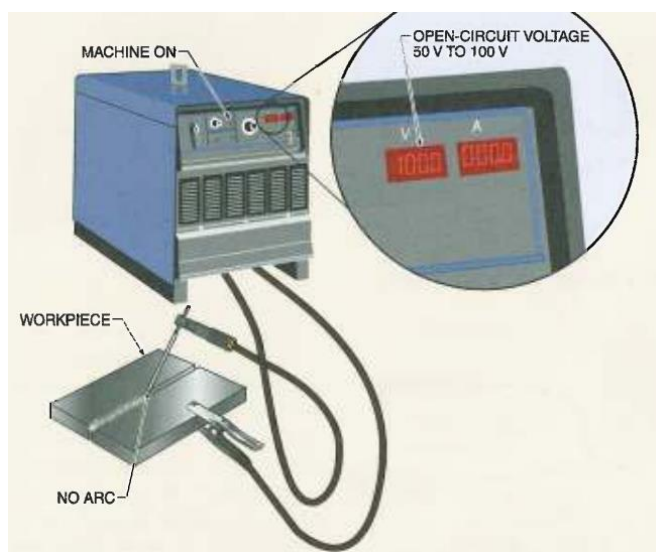


Figura 4 - Indicador de Tensão na máquina de solda

Fonte: *Welding Skills*, B. J. Muniz, 3ª edição

A tensão (força) é semelhante à pressão usada para fazer a água fluir nas tubulações. Em um sistema de água, uma bomba fornece a pressão para fazer a água fluir, enquanto em um circuito elétrico uma fonte de alimentação produz a força (tensão) que empurra a corrente através dos fios. A tensão tem o maior efeito na altura e largura do depósito de solda. A queda de tensão é a diminuição da tensão através de um componente devido à resistência ao fluxo de corrente. Assim como a pressão em um sistema de água cai à medida que a distância da bomba de água aumenta, a tensão diminui à medida que a distância do gerador aumenta. Quando há uma queda muito grande, a máquina de solda não pode fornecer corrente suficiente para a soldagem. Um problema de queda de tensão geralmente está associado ao uso de cabos de solda muito longos ou danificados. A tensão real usada para fornecer a corrente de soldagem é baixa (18 V a 36 V), enquanto a alta corrente é necessária para produzir o calor necessário para a soldagem. A baixa tensão e a alta corrente usadas para soldagem não são particularmente perigosas se forem usados aterramento e isolamento adequados.

2.4.3. Consumíveis

Um eletrodo é um componente do circuito de soldagem que conduz corrente elétrica para a área de soldagem. Quando a corrente de uma máquina de solda flui através do circuito para o eletrodo, um arco é formado entre a extremidade do eletrodo e a peça. O arco derrete o revestimento do eletrodo, o metal do eletrodo e o metal base. O metal fundido do eletrodo flui para a cratera e forma uma ligação solidificada entre as duas peças de metal que estão sendo unidas. À medida que a solda solidifica, forma uma escória que diminui a taxa de resfriamento do metal depositado. De forma geral, a estrutura de um eletrodo revestido, Figura 4:

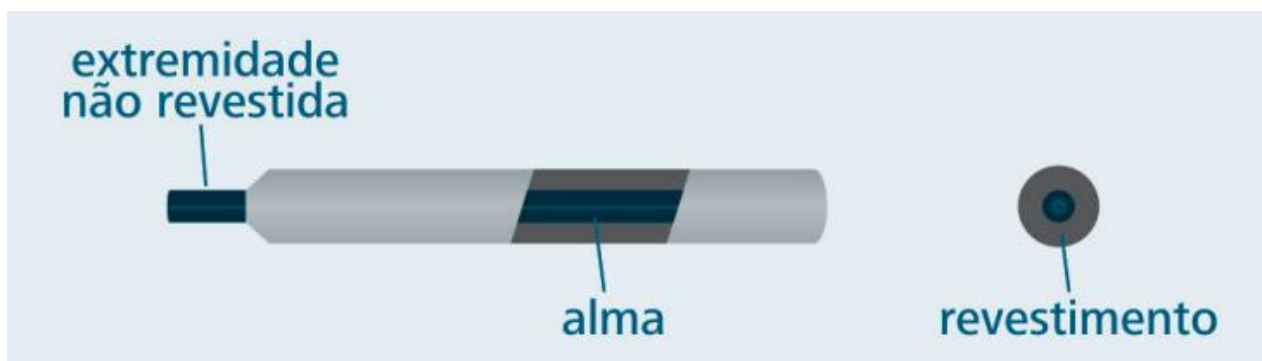


Figura 5 - Visão geral de um eletrodo revestido

Fonte: <https://portalidea.com.br/cursos/bsico-em-soldagem-apostila02.pdf>

Um eletrodo revestido é constituído por uma vareta metálica, a alma, com diâmetro entre 1,5 e 8 mm e comprimento entre 23 e 45 cm, recoberta por uma camada de fluxo, o revestimento. A composição do revestimento determina as características operacionais dos eletrodos e pode influenciar a composição química e as propriedades mecânicas da solda efetuada. (Villani)

Os eletrodos são fabricados para soldar diferentes metais e também são projetados especificamente para máquinas de solda DC ou AC. Alguns eletrodos funcionam igualmente bem em DC ou AC. O uso do eletrodo também depende da posição de soldagem. Alguns eletrodos são mais adequados para soldagem em posição plana e soldagem de filete horizontal, enquanto outros tipos podem ser usados em qualquer posição.

Os eletrodos de aço macio são de dois tipos: blindados ou nus. Os eletrodos blindados possuem revestimentos pesados de várias substâncias como celulose sódica, celulose potássica, titânia sódica, titânia potássica, óxido de ferro e pó de ferro, além de vários outros ingredientes. Cada uma das substâncias do revestimento tem uma função específica no processo de soldagem.

A corrente de soldagem é o principal parâmetro que controla o volume da poça de fusão e a penetração da solda no metal base, que tendem a aumentar com o aumento da corrente, assim como a largura do cordão. Correntes muito elevadas produzem poças de fusão de grandes dimensões e difícil controle, além de poderem causar a degradação do revestimento, respingos excessivos e perda de resistência mecânica e tenacidade da solda.

O tipo de corrente e sua polaridade afetam a forma e as dimensões da poça de fusão, a estabilidade do arco e a transferência de metal de adição. De uma maneira geral, a polaridade inversa (CC+) produz maior penetração, e a polaridade direta (CC-) produz maior taxa de fusão do eletrodo. Com corrente alternada, estes valores são intermediários, e a ocorrência de sopro magnético é minimizada. Entretanto, deve-se lembrar que a escolha do tipo e valor de corrente não é totalmente livre e depende do tipo e diâmetro do eletrodo a ser usado na operação. (Villani)

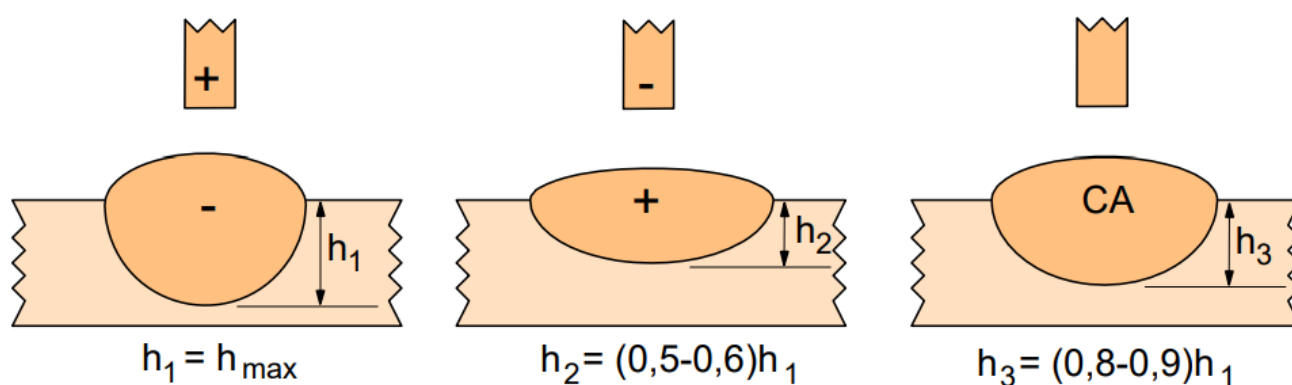


Figura 6 - Influência da polaridade e do tipo de corrente na penetração: (a) Polaridade inversa (CC+), (b) polaridade direta (CC-) e (c) corrente alternada (CA).

2.4.4. Corrente Alternada (CA)

A saída de corrente CA fornece uma corrente alternada constante que pode ser usada para soldagem com SMAW. A corrente CA permite que um soldador mantenha facilmente um arco durante a soldagem. Outras características da corrente CA incluem baixos custos operacionais e de manutenção e alta eficiência elétrica geral. As máquinas de solda CA normalmente operam com alimentação primária monofásica

2.4.5. Corrente Contínua (CC)

A saída de corrente CC para SMAW pode usar energia elétrica primária monofásica (10) ou trifásica (30). A soldagem CC mais estável é fornecida por máquinas de soldagem que fornecem 30 transformadores e retificadores de onda completa. A saída DC geralmente tem chaves de polaridade com terminais positivos e negativos.

2.4.6. Corrente Direta

A saída de corrente CA/CC está disponível em máquinas de solda de corrente constante que operam usando uma fonte de alimentação primária de 10 ou 30. A principal diferença entre a saída AC e AC/DC para SMAW é que AC/DC contém um retificador. A potência de soldagem retificada de 10 CC não é tão estável quanto a potência de soldagem retificada de 30 CC.

2.4.7. Seleção de fontes de energia

O emprego de uma fonte CA, CC ou CC/CA depende do tipo de soldagem a ser realizada e dos eletrodos utilizados. Os seguintes fatores devem ser considerados:

- Seleção do eletrodo - o uso de uma fonte CC permite o emprego de uma faixa maior de tipos de eletrodos. Enquanto a maioria dos eletrodos é designada para ser utilizada com CC ou CA, alguns só funcionarão apropriadamente com CC.
- Espessura do metal de base - fontes CC podem ser utilizadas para a soldagem tanto de seções espessas quanto de peças finas. Chapas finas são soldadas mais facilmente com CC porque é mais fácil abrir e manter o arco a níveis baixos de corrente.
- Distância à peça - se a distância da peça à fonte for grande, CA é a melhor escolha, visto que a queda de tensão pelos cabos é menor que CC. Mesmo que os cabos sejam fabricados de cobre ou de alumínio (ambos bons condutores), a resistência neles torna-se maior quando seu comprimento aumenta. Em outras palavras, uma leitura de tensão tomada entre o eletrodo e a peça será bem menor do que a leitura tomada nos terminais de saída da fonte. Esse fenômeno é conhecido como queda de tensão.

- Posição de soldagem - como CC pode ser operada a correntes de soldagem mais baixas, é mais adequado para a soldagem nas posições sobrecabeça e vertical que a soldagem com CA. Esse tipo de corrente pode ser empregado para a soldagem fora de posição se forem selecionados eletrodos adequados.
- Sopros magnéticos - quando se solda com CC, campos magnéticos são originados através da solda. Em soldas que apresentam variações na espessura e formas irregulares esses campos magnéticos podem afetar o arco tornando-o fora de controle em termos de direção. Essa condição é especialmente incômoda quando se soldam cantos. CA raramente causa esse problema por causa do campo magnético com rápida reversão produzido.

Combinações de fontes que produzam ambas CA e CC estão disponíveis e proporcionam a versatilidade necessária para selecionar a corrente de soldagem adequada para a aplicação. Quando se emprega uma fonte CC aparece a questão do uso da polaridade negativa ou positiva. Alguns eletrodos funcionam com CC+ e com CC-, e outros somente com CC+ ou somente com CC-. A corrente contínua flui numa direção no circuito elétrico, e esse fluxo unidirecional e a composição do revestimento do eletrodo terão um efeito preciso no arco e no cordão de solda. A Figura 12 mostra as conexões e os efeitos das polaridades direta (CC-) e reversa (CC+).

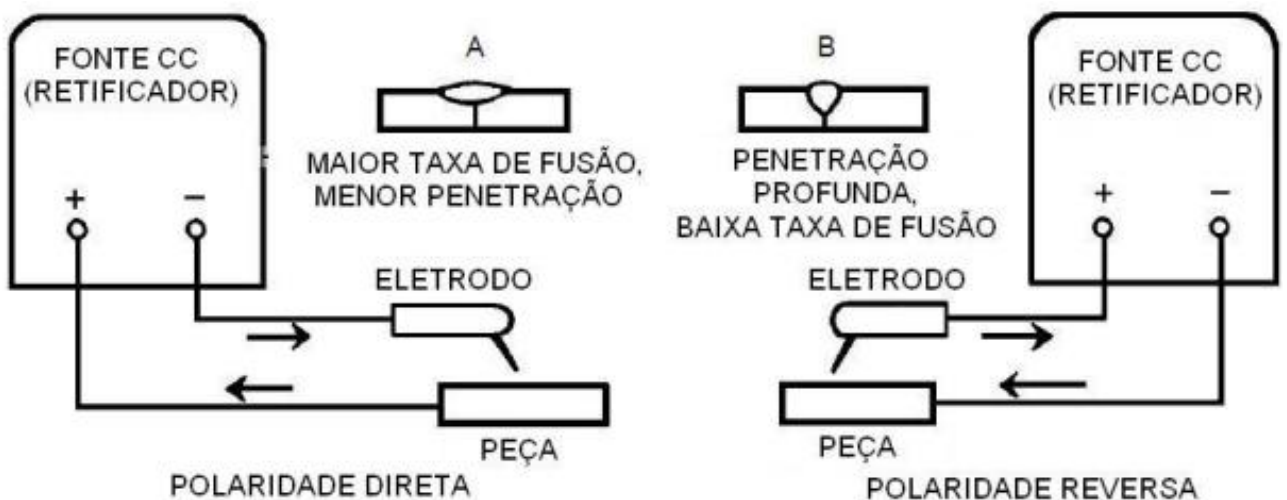


Figura 7 - Conexões e efeitos da corrente contínua

Fonte: OLIVEIRA, Rogério, 2020

O eletrodo no pólo negativo (CC-) produz soldas com menor penetração; no entanto, a taxa de fusão do eletrodo é alta. O cordão de solda é largo e raso como mostrado em A na Figura acima. Por sua vez, o eletrodo no pólo positivo produz soldas com maior penetração e um cordão de solda mais estreito como mostrado em B na Figura acima. Enquanto a polaridade afeta a penetração e a taxa de queima, o revestimento do eletrodo também apresenta forte influência nas características do arco.

The ESAB Filler Metal Technology Course – ESAB Welding and Cutting Products, 2000. •
Tecnologia da Soldagem, Paulo Villani Marques

2.5. Tipos de revestimentos

O processo de soldagem que gera arco elétrico com ajuda de um eletrodo revestido. O arco elétrico decompõe esse revestimento do eletrodo gerando, assim, uma coluna de gases entre a ponta do eletrodo e a peça. O metal fundido do eletrodo é transferido para a peça, formando uma poça de metal fundido que é protegida da atmosfera pelos gases de combustão do eletrodo.

- Revestimento oxidante – revestimento normalmente espesso, composto principalmente de óxido de ferro e manganês. Produz escória espessa, compacta e facilmente destacável. Possibilita a inclusão de óxido, mas produz cordão de belo aspecto. Só é usado para soldas sem responsabilidade. Recomenda-se utilizar CC+ ou CA. Obtém-se pequena penetração.
- Revestimento ácido – revestimento médio ou espesso; produz uma escória abundante e de muito fácil remoção à base de óxido de ferro, óxido de manganês e sílica. Só é indicado para a posição plana. Recomenda-se utilizar CC- ou CA. Obtém-se média penetração.
- Revestimento rutilico – revestimento com grande quantidade de rutilo (TiO₂). Pode-se soldar em todas as posições. Pela sua versatilidade é chamado de eletrodo universal. Produz escória espessa, compacta, facilmente destacável e cordões de bom aspecto. Pode-se usar qualquer tipo de corrente e polaridade. Obtém-se média ou pequena penetração.
- Revestimento básico – revestimento espesso, contendo grande quantidade de carbonato de cálcio. Produz pouca escória e com aspecto vítreo. O metal depositado possui muito boas características mecânicas. É aplicado em soldagem de grande responsabilidade, de grandes espessuras e em estruturas rígidas, por possuir mínimo risco de fissuração a frio e a quente. É um revestimento de baixo teor de hidrogênio e por isso altamente higroscópico (facilidade de absorver umidade). Trabalha-se com CC+ ou CA. Obtém-se média penetração.
- Revestimento celulósico – revestimento que contém grandes quantidades de substâncias orgânicas combustíveis; produz grande quantidade de gases protetores e pouca escória. Produzem-se muitos salpico e a solda apresenta mau aspecto. Recomenda-se trabalhar com CC+, sendo, que em alguns tipos pode-se usar CA. Obtém-se alta penetração e bastante utilizada para passe de raiz, na soldagem fora de posição e na soldagem de tubulações.

2.5.1. Eletrodo revestido para alumínio e suas ligas

Há uma grande quantidade de eletrodos disponíveis para uso no mercado. Abaixo serão descritos os eletrodos revestidos para alumínio e suas ligas. Do fornecedor ESAB, um dos maiores fabricantes de máquinas e equipamentos de soldagem. Importante citar que há várias tabelas de acordo com o fornecedor, para escolha dos eletrodos revestidos. Cada um com sua devida aplicação, conforme exemplos abaixo:

- OK AlMn1: Eletrodo revestido para a soldagem de chapas e peças tais como recipientes em cervejarias e leiterias feitos de Al, ligas de AlMn e AlMg com teores de Mg maiores que 3%, como por exemplo EN AW 3103, 3207, 3003, 5005.

Tabela 1- Informações técnicas OK AlMn1

Classificações Metal de Solda:	AWS/ASME A5.3 E3003 EN ISO 18273: AlMn1		
Tipo de Liga:	Alumínio e suas ligas		
Tipo de Corrente:	CC+		
Composição Química (%)			
Al	Si	Mn	Fe
98.20	0.13	1.38	0.22
Informação Técnica Adicional			
Diâmetro	Corrente	Tensão	
2.4	50 - 90 A	25 V	
3.2	70 - 120 A	21	

Fonte: ESAB, 2016

- OK AlSi5: Eletrodo revestido para a soldagem de ligas de AlMgSi tais como EN AW 6060/6063, 6005 e 6201. Indicado também para a soldagem de ligas de alumínio fundidas tais como AlSi5Cu e AlSi7.

Tabela 2 - Informações técnicas OK AlSi5

Classificações Metal de Solda:	ASME SFA-5.3: E4043 EN ISO 18273: AlSi5		
Tipo de Liga:	Alumínio e suas ligas		
Tipo de Corrente:	CC+		
Composição Química (%)			
Al	Si	Fe	
94.8	4,91	0.17	
Informação Técnica Adicional			
Diâmetro	Corrente	Tensão	
2.4	50 - 90 A	25 V	
3.2	70 - 120 A	23 V	

Fonte: ESAB, 2016

- OK AlSi12: Eletrodo revestido de alumínio ligado ao silício para a soldagem de ligas fundidas do tipo alumínio com 12% de silício, AlMgSi e AlSiCu. Indicado em aplicações como, por exemplo, reparo de blocos de motor, cilindros, ventiladores, encaixes, perfis laminados, chapas de base e telas. O metal de solda muda de cor pelo processo de anodização.

Tabela 3 - Informações técnicas OK AlSi12

Classificações Metal de Solda:			ASME SFA-5.3: E4047 EN ISO 18273: AlSi12
Tipo de Liga:			Alumínio e suas ligas
Tipo de Corrente:			CC+
Composição Química (%)			
Al	Si	Fe	
87.30	12.49	0.16	
Informação Técnica Adicional			
Diâmetro	Corrente	Tensão	
2.4	50 - 90 A	23 V	
3.2	70 - 120 A	23 V	

Fonte: ESAB, 2016

Este material deve ser armazenado em latas e caixas fechadas, para manter a integridade dos componentes do revestimento. Há algumas especificações do ambiente onde são armazenados:

Eletrodos Celulósicos: umidade relativa máxima: 70% e temperatura: +18°C a +50°C. Para os demais tipos: Umidade relativa máxima: 50% e temperatura ambiente mínima: +18°C.

O processo de ressecagem dos eletrodos revestidos é necessário para minimizar o hidrogênio que acaba ficando em excesso naqueles eletrodos, que devem ter baixas quantidades deste elemento. As recomendações dos fabricantes devem ser seguidas, a fim de manter o máximo de integridade possível do eletrodo e seus elementos.

A ressecagem utilizando fornos adequados a este processo é aplicável nos seguintes eletrodos: Básicos, Alto rendimento, Rutílicos, Ferro fundido, Inoxidáveis e Alumínio

2.6. Características e aplicações

Uma das vantagens de se soldar com arame tubular é a alta taxa de deposição de material com uma qualidade significativa. Sua aplicação na indústria tem crescido cada vez mais devido aos elementos de liga que são acrescentados a este processo. Desta forma, há a necessidade por parte do operador tomar o devido cuidado na remoção de escória nos cordões para evitar uma futura descontinuidade na junta soldada.

2.7. Descontinuidades induzidas pelo processo

Durante o processo de soldagem por eletrodo revestido, e entre outros processos, inclusive r bros. Não estão isentos de falhas durante a execução da solda. Abaixo estão citados os mais diversos tipos de descontinuidades encontradas:

- Porosidade –   causado devido ao uso de técnicas incorretas, ou até mesmo pela falta de preparação recomendado no metal de base. Também pode ocorrer a porosidade agrupada na abertura e fechamento do arco. A técnica de soldagem com pequeno passe a ré, logo após iniciar o arco, permite corrigir essa falha. Também ocorre a porosidade vermiforme devido ao uso do eletrodo úmido.

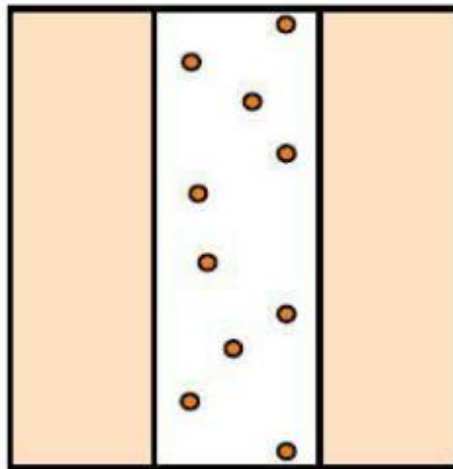


Figura 8 - Porosidade distribuída

Fonte: <https://infosolda.com.br/wpcontent/uploads/Downloads/Artigos/metall/Descontinuidadesnasoldagem.pdf>

- Inclusões – Elas ocorrem pelo uso inadequado do eletrodo e por uma limpeza mal executada entre os cordões.   uma situação que se pode prevenir quando o acesso a junta a ser soldada encontra dificuldade no que diz respeito ao projeto elaborado mudando o ângulo da junta.



Figura 9 - Inclusão de escória

Fonte: <https://infosolda.com.br/wpcontent/uploads/Downloads/Artigos/metall/Descontinuidadesnasoldagem.pdf>

- Falta de Fusão – Ocorre devido a um mal emprego da técnica, como por exemplo: soldagem acelerada, falta de uma boa preparação no bisel e amperagem muito baixa.

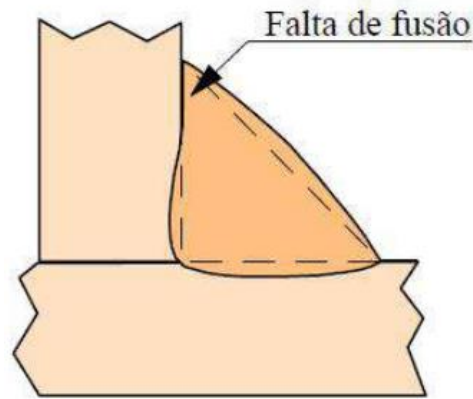


Figura 10 - Falta de fusão

Fonte: <https://infosolda.com.br/wpcontent/uploads/Downloads/Artigos/metal/Descontinuidadesnasoldagem.pdf>

- Falta de penetração – É resultado da falta da preparação adequada e amperagem não compatível com a bitola do eletrodo.



Figura 11 - Falta de penetração

Fonte: <https://infosolda.com.br/wpcontent/uploads/Downloads/Artigos/metal/Descontinuidadesnasoldagem.pdf>

- Concavidade e sobreposição – Esta descontinuidade ocorre devido ao erro do soldador que deposita material em menor quantidade ou sobreposição quando em excesso.
- Trinca interlamelar – Este tipo de descontinuidade, ocorre quando o metal de base não suporta as contrações geradas pela solda, no sentido da espessura ocorrem trincas e lamelas sobrepostas no sentido da laminação. Esta descontinuidade não ocorre devido a habilidade ou falha do operador.
- Trincas na Garganta e Raiz – Esta descontinuidade ocorrerá se o consumível que está sendo usado não é adequado ao material ou até mesmo a técnica que está sendo empregada, como aquecimento pré e pós no cordão de solda.

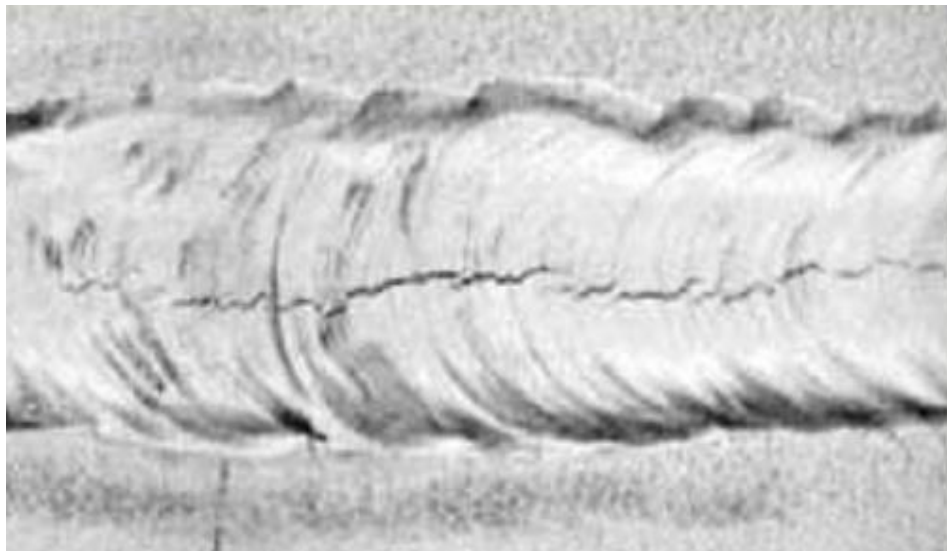


Figura 12 - Cordão de solda com aspecto de trinca

Fonte: <https://infosolda.com.br/wpcontent/uploads/Downloads/Artigos/metall/Descontinuidadesnasoldagem.pdf>

- Trincas na margem e trincas sob o cordão – É consequência da fissuração por indução de hidrogênio, estas descontinuidades podem ocorrer algum tempo após a execução da solda no período que varia dentro de 48 horas. São descontinuidades que ocorrem em materiais de microestrutura frágil (martensita). Para se ter sucesso durante a soldagem com estes materiais é indispensável o pré e pós-aquecimento de no mínimo 250°C e proteger o cordão com manta ou lã de vidro.

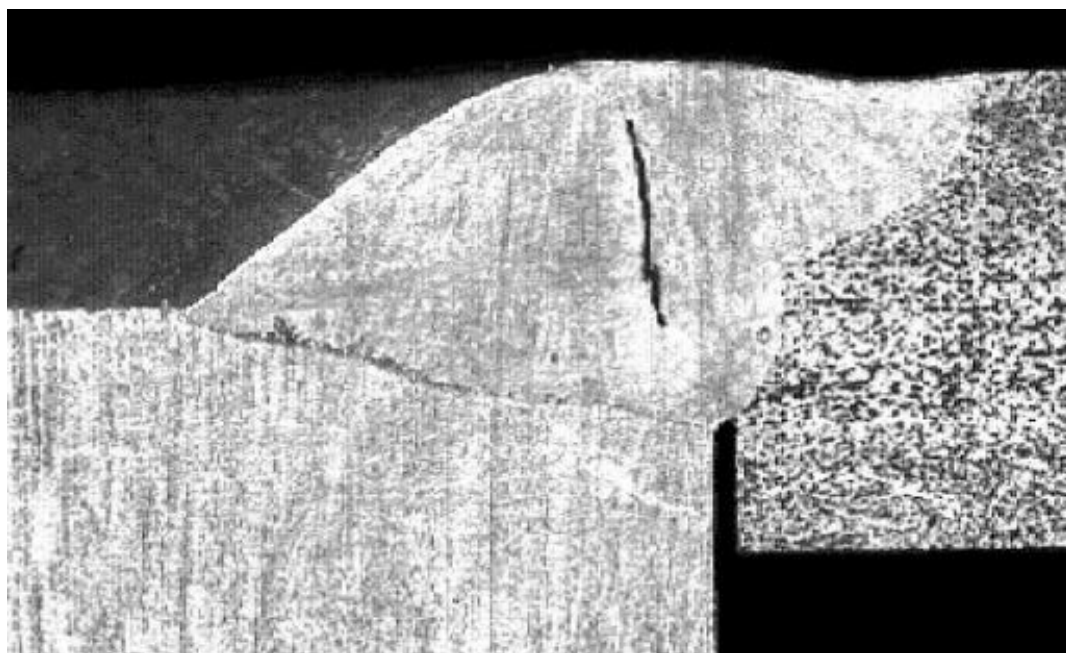


Figura 13 - Diversas descontinuidades estruturais

Fonte: <https://infosolda.com.br/wpcontent/uploads/Downloads/Artigos/metall/Descontinuidadesnasoldagem.pdf>

- Mordedura – Esta descontinuidade ocorre devido a amperagem muito alta ou quando a peça está com a temperatura muito elevada.

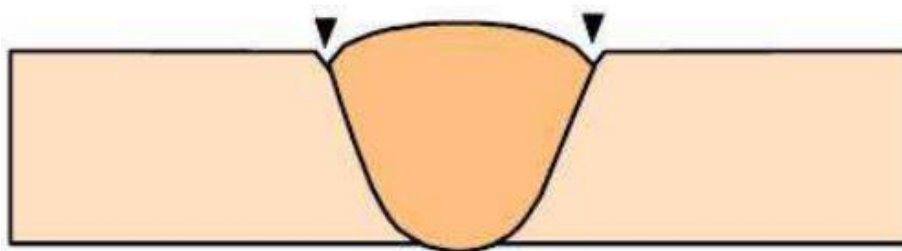


Figura 14 – Mordeduras

Fonte: <https://infosolda.com.br/wpcontent/uploads/Downloads/Artigos/metall/Descontinuidadesnasoldagem.pdf>

2.8. Vantagens e desvantagens do Eletrodo Revestido

Um das principais desvantagens do processo de soldagem por eletrodo revestido é a baixa taxa de deposição variando pela sua composição que são divididas em três grupos quanto a sua produtividade:

- Baixa Deposição: Eletrodos com revestimento celulósico
- Média deposição: Eletrodos com revestimento rutílico
- Alta deposição: Eletrodos com revestimento básico e alguns eletrodos com revestimento rutílico. Contém elevada quantidade de pó de ferro (até 50%) aumentando assim a sua taxa.

Em função do tipo do eletrodo e corrente de soldagem observa-se que na maioria dos casos este processo trabalha com taxa e deposição entre 1 e 4 kg/h. Apesar da sua baixa taxa de deposição, o eletrodo revestido possui uma grande versatilidade em relação aos tipos de liga soldáveis, tais como: Aço Carbono, Aços inoxidáveis, Ferros fundidos, Alumínio, Níquel, Cobre. Dentro do processo de soldagem por eletrodo revestido tem-se a vantagem de: Grande versatilidade, baixo custo de operação, equipamento necessário é simples, possibilidade de uso em locais de difícil acesso ou sujeitos a ventos.

3. METODOLOGIA

3.1. Métodos e Técnicas

Conforme Lakatos e Marconi, (2007) “Método é o caminho pelo qual se chega a determinado resultado ainda que esse caminho não tenha sido fixado de antemão de modo refletido e deliberado”.

Para este projeto, será utilizado uma metodologia do tipo dedutivo, pois parte-se de fatores já conhecidos e gerais sobre o projeto para chegar em uma solução particular para o problema determinado.

3.2. Procedimentos

Este trabalho será executado conforme o procedimento visto no fluxograma visto na Figura 15 onde pretende-se analisar e definir técnicas e procedimentos para a execução correta e segura da Soldagem com Eletrodos Revestidos de Alumínio. Ajuste de parâmetros e verificação dos cordões de solda aplicados. Tanto aspecto visual, quanto vista macrográfica dos corpos de prova.

4. ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS

4.1. Análise e definição de materiais

Para a definição de vários parâmetros de solda é necessário conhecer ou pré estabelecer alguns materiais que serão utilizados.

4.1.1. Metal de base

O metal base para este trabalho foram chapas de Alumínio Naval Liga 1100-H14. Onde serão trabalhadas suas dimensões de forma que atendam as normas de soldagem e posteriormente de ensaios de tração em juntas soldadas.



Figura 15 - Chapa de alumínio naval 1100-H4

Fonte: Autoria própria

4.1.2. Consumível utilizado

Há uma gama de materiais consumíveis quando se trata de solda. Com eletrodos revestidos não é diferente, tendo cada um com sua correta aplicação de acordo com o material e tipo de serviço que será aplicado.

4.1.3. Classificação e eletrodos utilizados

O eletrodo revestido de alumínio utilizado foi o AlSi12 com diâmetro de 3 mm 12% de

silício Tabela 4. Eletrodo no qual atende os mais diversos serviços. Como por exemplo, reparo de blocos de motor, cilindros, ventiladores, encaixes, perfis laminados, chapas de base e telas. E para este trabalho, usado nos corpos de prova.



Figura 16 - Eletrodos de Alumínio AlSi 12

Fonte: Autoria própria

Tabela 4 - Informações técnicas para trabalho OK AlSi12

Classificações Metal de Solda:	ASME SFA-5.3: E4047 EN ISO 18273: AlSi12	
Tipo de Liga:	Alumínio e suas ligas	
Tipo de Corrente:	CC+	
Composição Química (%)		
Al	Si	Fe
87.30	12.49	0.16
Informação Técnica Adicional		
Diâmetro	Corrente	Tensão
2.4	50 - 90 A	23 V
3.2	70 - 120 A	23 V

Fonte: ESAB, 2016

4.1.4. Equipamentos de soldagem

Para uma correta e segura operação de soldagem são necessários alguns equipamentos. Tanto para preparação do material a ser soldado, para o próprio soldador com EPIs e também com o maquinário disponível.

4.1.5. Equipamentos de Proteção Individual (EPI)

Para uso geral, os equipamento de proteção individual durante a operação de soldagem são: Luvas de raspa (Couro), Avental de raspa, Mangote, Perneira, Calçado de segurança, Óculos de segurança, respirador facial e máscara de solda. Todos garantindo a integridade de quem executa e acompanha a operação de soldagem.



Figura 17 - Equipamentos de segurança para soldagem

Fonte: <http://portaltrabalhoseguro.blogspot.com/2013/08/vestimentas-para-soldagem.html>

4.2. Preparação do Material

A atividade de soldagem envolve muitas vezes a preparação do material a ser soldado. No caso do alumínio esta etapa é de suma importância.

Pois, para o alumínio é exigido que a superfície esteja bem acabada e isenta de impurezas. Assim, não comprometendo o resultado final.



Figura 18 - Escova Manual com Cerdas de Aço

Fonte: <https://www.lojadomecanico.com.br/produto/18807/37/433/Escova-Manual-de-Aco>

A grande maioria das chapas de alumínio são vendidas com uma película de proteção de filme protetor e outra proteção dos banhos químicos ao qual as peças estão sujeitas. É necessário remover este filme protetor e a camada do banho químico com a Escova manual de aço, Figura 18. Escovando até a peça ficar com o aspecto de “Fosco”. Neste ponto a peça está pronta para iniciar seu processo de soldagem. Observando a figura 19, nota-se o lado esquerdo com brilho. Para este caso ainda está com a camada de proteção. No lado direito a peça foi fixada com escovas de aço para o melhor acabamento.



Figura 19 - Comparação peça intacta vs peça lixada

Fonte: Autoria própria

Foi feita à escolha do metal de base o Alumínio Naval Liga 1100-H14 para a realização do estudo de soldagem, conforme ilustra a figura 20. Foram feitos chanfros em V simples com ângulo de 45° e abertura de raiz de 0,8 mm. Conforme recomendações de soldagem, Figura 22.

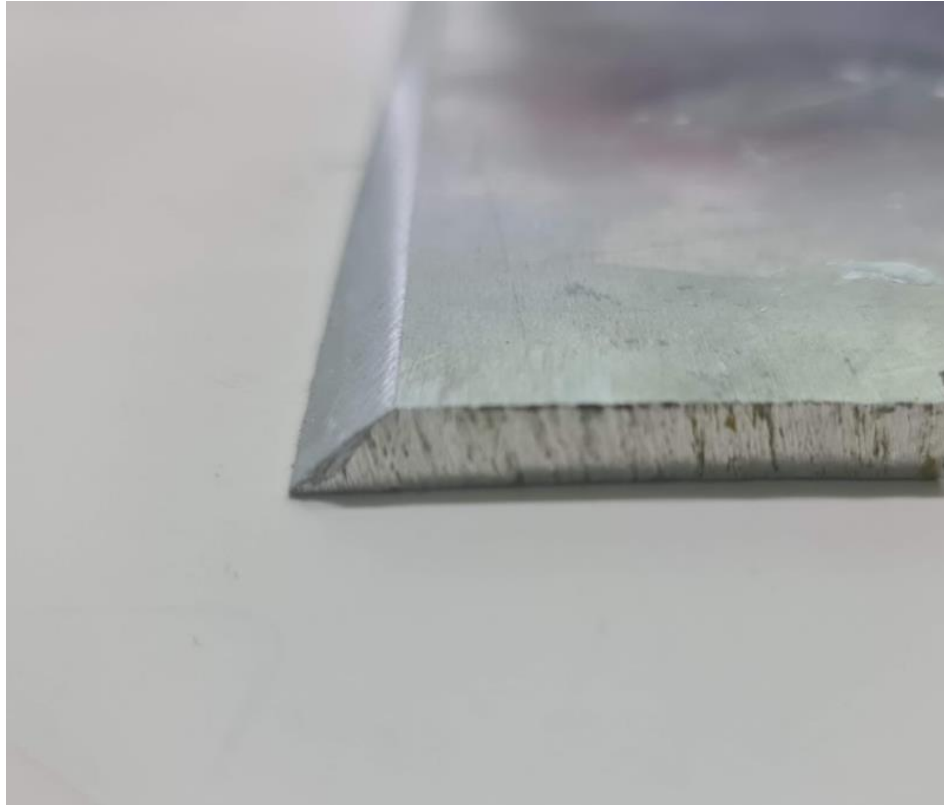


Figura 20 – Chapa com chanfro 45° para realização do cordão de solda

Fonte: Autoria Própria.



Figura 21 - Representação do cordão de solda Solda Topo

Fonte: MARQUES, 2007

Chanfro da peça realizado conforme norma ASW – Solda de chanfro em V simples. Especificado em detalhes na figura 22. Definido o tipo de processo de soldagem, denominação da junta, abertura de raiz e ângulo da abertura de chanfro.

Processo de soldagem		Denominação da junta		Espessura do Metal Base (U = ilimitado)		Preparação em Chanfro		Tolerâncias	
								Como detalhado (ver 3.13.1)	Como ajustado (ver 3.13.1)
								$R = +1/16, -0$	$+1/4, -1/16$
								$\alpha = +10^\circ, -0^\circ$	$+10^\circ, -5^\circ$
Processo de soldagem	Denominação da junta	T ₁	T ₂	Preparação em Chanfro		Posições de soldagem permitidas	Gás de proteção para FCAW	Notas	
				Abertura de raiz	Ângulo de abertura do chanfro				
SMAW	B-U2a	U	—	R = 1/4	$\alpha = 45^\circ$	Todas	—	e, j	
				R = 3/8	$\alpha = 30^\circ$	P, V, SC	—	e, j	
				R = 1/2	$\alpha = 20^\circ$	P, V, SC	—	e, j	
GMAW FCAW	B-U2a-GF	U	—	R = 3/16	$\alpha = 30^\circ$	P, V, SC	Exigido	a, j	
				R = 3/8	$\alpha = 30^\circ$	P, V, SC	Não exigido	a, j	
				R = 1/4	$\alpha = 45^\circ$	P, V, SC	Não exigido	a, j	
SAW	B-L2a-S	2 máx.	—	R = 1/4	$\alpha = 30^\circ$	P	—	j	
SAW	B-U2-S	—	—	R = 5/8	$\alpha = 20^\circ$	P	—	j	

Figura 22 – Norma para realizar chandro de solda topo em V.

Fonte: Norma A.W.S. (2010, p. 96)

4.2.1. Equipamentos de soldagem

Máquina de soldagem MERKLE BALMER BR 325, Arco Elétrico para (SMAW). Localizada no laboratório de soldagem da EST, conforme mostra a figura 23.



Figura 23 - Máquina de solda BR 325

Fonte: Autoria própria

4.3. Procedimentos para Soldagem

4.3.1. Preparação ambiente de trabalho

4.3.2. Princípios para sustentação do arco de soldagem

Um ambiente limpo e organizado garante uma boa operação de soldagem. Pois, os objetos e ferramentas no local certo facilitam e muito. A bancada utilizada foi a do Laborário de Soldagem da UEA, Figura 24.



Figura 24 - Ambiente de trabalho

Fonte: Autoria própria

Ao realizar qualquer operação de soldagem depende principalmente do quanto o arco está estável. E para sustentar o arco são necessários alguns elementos:

- Configuração da máquina: A máquina de solda deve ser ajustada para a configuração de corrente necessária. A corrente utilizada depende do tamanho e tipo de eletrodo utilizado, da posição da solda e do metal base. A configuração da máquina também depende do design da máquina de solda, Figura 25.



Figura 25 - Vista frontal máquina de solda

Fonte: Autoria própria

Conforme especificado pelo fornecedor ESAB, Tabela 4. Para o eletrodo de alumínio com diâmetro de 3.0 mm a corrente varia de 70 a 120 A.

4.3.3. Operação de soldagem

O primeiro passo está em ligar o equipamento na chave geral na checagem e ajuste da máquina de solda. Conforme normas de segurança. De conhecimento, a simbologia com significado de: Chave seletora em “0” está desligado e em “1” está ligado o equipamentos, Figura 26.



Figura 26 - Liga/Desliga máquina de solda

Fonte: Autoria própria

Para garantir a sustentação do arco de solda. Siga a sequência abaixo:

- Inspeccione as conexões dos fios para certificar-se de que estão apertadas;



Figura 27 - Garra de fixação cabo de aterramento

Fonte: Autoria própria



Figura 28 - Garra de fixação do eletrodo

Fonte: Autoria própria

- Certifique-se de que a bancada e o metal base a serem soldados estejam secos e livres de sujeira, ferrugem e graxa.
- Selecione a polaridade adequada.
- Ajuste a unidade de controle da máquina de solda para a corrente necessária para o eletrodo selecionado.

4.3.4. Armazenagem Eletrodo de Alumínio

Os eletrodos, varetas, fluxos e arames em sua embalagem original devem ser armazenados

em estufas. Que atendam as especificações de umidade relativa de no máximo 50% e temperatura ambiente de no mínimo 20° C. Logo, nas condições locais da cidade e variação do clima. Os eletrodo devem permanecer em estufa.



Figura 29 - Estufa para secagem QUIMIS

Fonte: Autorial própria



Figura 30 - Eletrodos de alumínio na estufa

Fonte: Autorial própria

4.3.5. Segurando o Eletrodo

Coloque a extremidade nua do eletrodo no porta eletrodo. Conforme a Figura 31 . Ao segurar o eletrodo próximo à extremidade, a maior parte da porção revestida pode ser usada. Mantenha as garras do porta eletrodos limpas para garantir um bom contato elétrico com o eletrodo.



Figura 31 - Segurando o eletrodo na garra

Fonte: Autoria própria

4.3.6. Abrindo o arco elétrico

Não toque na peça com um eletrodo, pois isso causa um flash. Quando não estiver, pendure o porta-eletrodo no local previsto para ele. Segure levemente o porta-eletrodos com a mão. Se o suporte for segurado com muita força, a mão e o braço se cansarão rapidamente. Abaixo dois exemplos de movimento para abertura do arco.

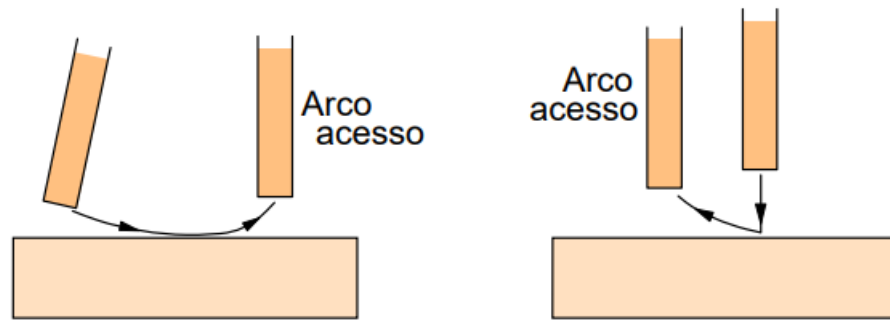
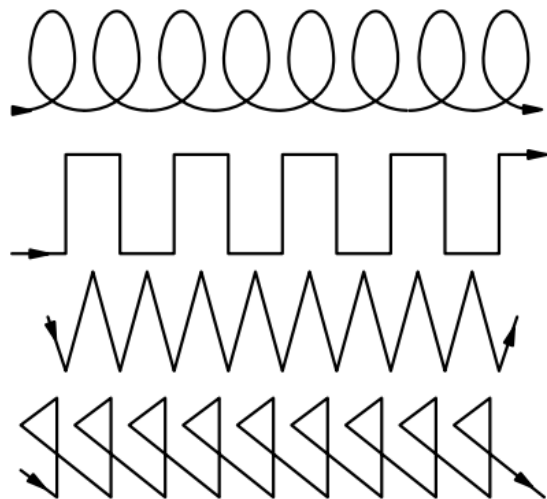


Figura 32 - Técnicas para abertura do arco

Fonte: MARQUES, 2007

Iniciando o movimento de mergulho do eletrodo em direção à poça de fusão para ter um arco elétrico constante. Após isso, a velocidade de mergulho deve ser equilibrada juntamente com a velocidade de fusão do eletrodo, dependendo do ajuste inicial da corrente. Com o movimento deslocando para a lateral em relação ao eixo do cordão (tecimento). Este movimento é utilizado para se depositar um cordão mais largo, garantindo a fusão das paredes laterais da junta.

Exemplos de tecimento abaixo:



Para o tecimento dos cordões é necessário uma maior habilidade e experiência por parte do soldador. Além disso, é importante um posicionamento correto do eletrodo em relação à peça. Este posicionamento varia com o tipo e espessura do revestimento, com as características da junta e a posição de soldagem.

4.3.7. Ajuste de corrente da máquina

Como há uma faixa de operação da corrente de cada eletrodo. É necessário realizar o ajuste conforme a necessidade. Analisando os parâmetros de espessura de chapa/peça, espessura do eletrodo, polaridade da máquina. Para este trabalho, pela tabela do fornecedor a corrente está na faixa de 70 a 120 A. E o ajuste inicialmente inicia na corrente de 70 A. Aumentando gradualmente conforme necessidade e ajustes de ângulo e velocidade do eletrodo.

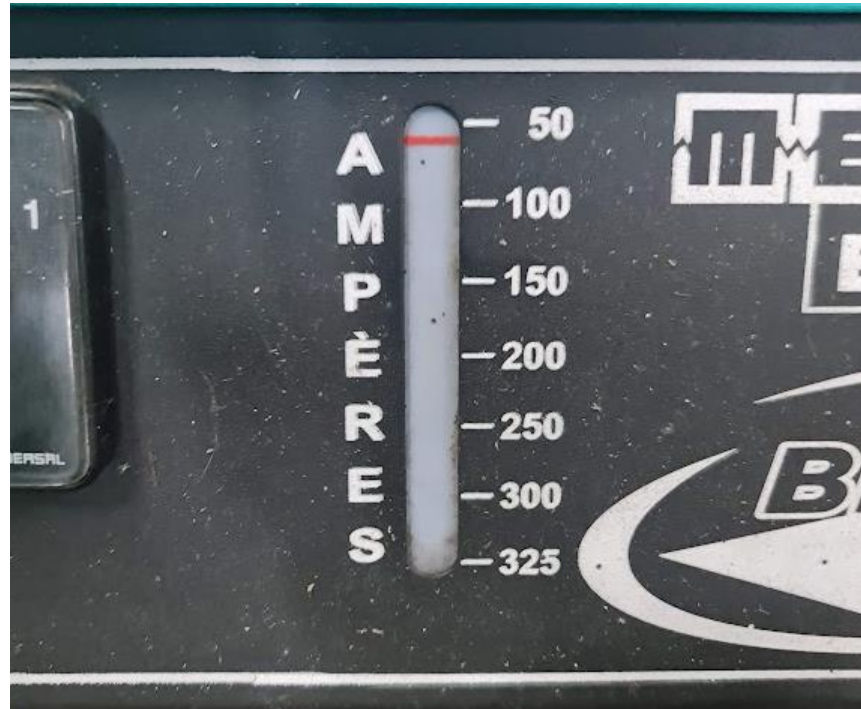


Figura 33 - Ajuste de corrente da máquina de solda

Fonte: Autoria própria.

4.3.8. Ângulo do eletrodo

O uso do ângulo correto do eletrodo garante a penetração adequada e a formação do cordão. À medida que diferentes posições e juntas de solda se tornam necessárias, o ângulo do eletrodo se torna cada vez mais importante na obtenção de uma solda satisfatória. Para este trabalho a posição de soldagem é para juntas do tipo topo, na posição plana, **Figura**

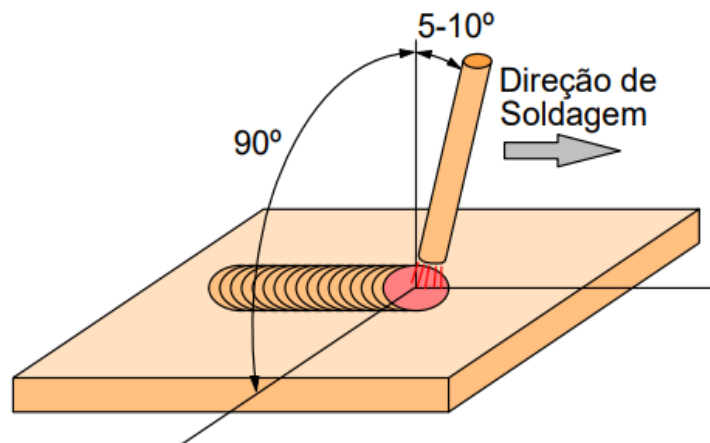


Figura 34 - Posicionamento do eletrodo para a soldagem na posição plana.

Fonte: MARQUES, 2007



Figura 35 - Ângulo do eletrodo

Fonte: Autoria própria

Há diversas posições de soldagem, dependendo do tipo de junta há uma posição e ângulo de soldagem que garantem controlar a repartição de calor na peça, evitando que a solda flua a frente da poça de fusão. Assim, tendo a garantia de uma solda bem feita.

4.3.9. Comprimento do Arco

Um comprimento de arco adequado, é essencial para gerar o calor necessário para a soldagem. A instabilidade do arco de soldagem, reduz a penetração, aumenta os respingos, causa cordões achatados e largos e evita que a proteção do gás proteja a poça de fusão contra a contaminação atmosférica. Se um arco muito curto for usado, o arco não criará calor suficiente para derreter o metal base, o eletrodo terá uma tendência a grudar, a penetração será pobre e resultarão em grânulos irregulares com ondulações irregulares.

O comprimento do arco necessário depende do tamanho do eletrodo usado e da tarefa de soldagem. Os eletrodos de pequeno diâmetro requerem um comprimento de arco menor do que os eletrodos de grande diâmetro. Para um melhor controle da poça de fusão, o comprimento do arco deve ser aproximadamente o diâmetro do eletrodo. Neste caso, com o diâmetro tendo 2.4 mm, o comprimento do arco deve estar em 2,4 mm

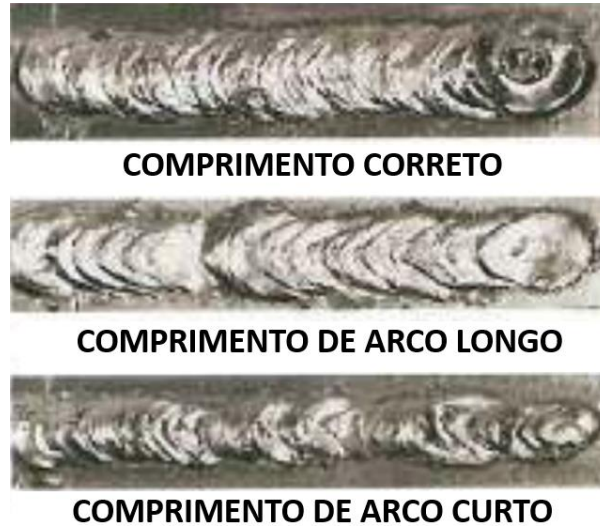


Figura 36 - Ajuste do arco de soldagem

Fonte: *Welding Skills*, B. J. Muniz, 3ª edição

4.3.10. Velocidade de soldagem:

Fatores como tamanho e tipo de eletrodo, corrente, posição da solda e metal base afetam a velocidade de deslocamento necessária para completar uma solda sólida. Se a velocidade de soldagem for rápida, a poça de fusão não dura o suficiente e as impurezas ficam na solda. Se a velocidade de deslocamento for muito lenta, o metal se acumula excessivamente no metal base e o cordão é alto e largo, com ondulações retas. A velocidade de deslocamento correta produz um cordão de solda suave com ondulações uniformemente espaçadas



Figura 37 - Ajuste da corrente e velocidade de soldagem

Fonte: *Welding Skills*, B. J. Muniz, 3ª edição

Sempre realizar os ajustes de corrente em chapa adsjascente ao processo, Figura 38. Para não falhar durante a execução dos cordões de solda. Somente iniciar soldagem na peça de fato, quando todos os parâmetros estiverem ajustados: CORRENTE, ÂNGULO, VELOCIDADE DE SOLDAGEM.



Figura 38 - Soldagem dos corpos de prova

Fonte: Aatoria própria



Figura 39 - Ajuste dos parâmetros de soldagem

Fonte: Aatoria própria

Para se interromper a soldagem, o eletrodo é simplesmente afastado da peça, apagando-se o arco.

Entretanto, para se evitar a formação de uma cratera muito pronunciada, o eletrodo deve ser mantido parado sobre a poça de fusão por algum tempo permitindo o seu enchimento antes da interrupção do arco.

4.3.11. **Limpeza da solda**

A camada de escória que cobre um cordão depositado deve ser removida após a soldagem. Se for necessária uma solda de múltiplos passes, a escória deve ser removida entre cada passe. A escória que entrar no metal de solda enfraquecerá a solda. Além disso, procedimentos de acabamento, como pintura, não devem ser realizados até que toda a escória seja removida.

1. Martele a conta para que a lasca de escória seja direcionada para longe dos olhos, do rosto e do corpo. Sem muita força, pois a solda pode ser danificada.



Figura 40 - Remoção da escória de solda

Fonte: Autoria própria

2. Após o martelo lascador, use uma escova de aço dura para remover as partículas residuais de escória.



Figura 41 - Limpeza com escova de aço

Fonte: Autoria própria



Figura 42 - Resultado final dos cordões aplicados

Fonte: Autoria própria

5. CONCLUSÃO

Dentre os objetivos desta monografia, estavam o estabelecimento de um procedimento para o processo de soldagem com eletrodo de alumínio. Pois há dificuldades na soldagem manual neste tipo de material. E a fim de comprovar a eficiência, foi elaborado um corpo de prova com a solda atendendo todos os requisitos.

Estes objetivos foram alcançados com a hipótese de ajuste dos parâmetros dos equipamentos de máquinas de solda. Preparação dos materiais a serem utilizados, consumíveis e ambiente utilizado para o trabalho.

De tal forma, a metodologia desenvolvida mostrou-se eficiente e eficaz para o concepção de cordões de solda com qualidade.

Dificuldades de ajuste dos parâmetros foram encontradas. Pois, trata-se de um material sensível durante seu uso. Desde seu armazenamento à sua aplicação.

Portanto, concluiu-se que a metologia definida para esta monografia cumpre com seu propósito em detalhes da execução de cordões de solda com eletrodos de alumínio.

5.1. Sugestões para trabalhos futuros

O processo de soldagem, apesar de existir há décadas. Há diversos temas para explorar e desenvolvimentos de tecnologias para aperfeiçoamento de técnicas de soldagem. Equipamentos e acessórios que auxiliem os profissionais e indústrias do ramo.

Na região norte há um polo industrial com enormes possibilidades de pesquisas para o desenvolvimento. Podendo haver investimentos na área de realidade aumentada. Como simuladores de solda que ensinam desde o nível básico ao avançado. Somente utilizado o óculos de realidade aumentada. Tecnologia esta, que, estamos no caminho certo para se tornar mais acessível, através de trabalhos de pesquisa e de conclusão de curso.

Analisando o procedimento de soldagem para eletrodos de alumínio. Ainda há temas para discutir e reforçar o trabalho, como por exemplo:

- Ensaios de tração em laboratórios. Garantindo os cordões de solda aplicados
- Simuladores de realidade aumentada para aprendizado;
- Ensaios da microestrutura do material soldado;

Desta forma, espera-se incentivar projetos no ramo de pesquisas e projetos de soldagem no estado do Amazonas e nos demais estados da região nor

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alcan, 1993, Manual de Soldagem, Alcan Alumínio do Brasil S/A, 1a Edição.
2. Alcântara N.G. de. Tecnologia de Soldagem. Universidade Federal de São Carlos, DEMA, São Carlos – SP, 1991, 192 p.
3. ASM, 1990, Aluminum: Properties and Physical Metallurgy, J.E.Hatch, ASM, Metals Park, USA.
4. ASTM B209M: Standard Specification for Aluminum and Aluminum-Alloy Sheet and Plate. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING and MATERIALS. 2001. 29 p.
5. AWS, 1991, Welding Handbook, volume 2, Welding Processes, American Welding Society.
6. MODENESI, P. J. Soldabilidade dos Aços Transformáveis. Apostila da Universidade Federal de Minas Gerais, departamento de engenharia metalúrgica e de materiais. Belo Horizonte, julho de 2012.
7. Soldagem I Descontinuidades e Inspeção em Juntas Soldadas. Apostila da Universidade Federal de Minas Gerais, departamento de engenharia metalúrgica e de materiais. Belo Horizonte, julho de 2001.
8. MARQUES, P.V., MODENESI, P.J., BRACARENSE, A.Q., Soldagem Fundamentos e Tecnologia. Belo Horizonte, Editora UFMG, 2007.
9. QUITES, A.M., DUTRA, J.C., Tecnologia da Soldagem a Arco Voltáico, Florianópolis, EDEME, 1979, pp. 129-171.
10. Basic Welding Filler Metal Technology – ESAB Welding and Cutting Products • Welding and Cutting – Peter Houldcroft and Robert John
11. Tecnologia da Soldagem – Paulo Villani Marques • Welding Handbook – 8th edition – American Welding Society
12. Welding Metallurgy – George E. Linnert
13. SILVA FILHO, Carlos Benedito Abreu da. Metalurgia da soldagem - Notas de Aula da Disciplina Metalurgia da Soldagem. Centro Ensino Federal e Tecnológico do Pará – CEFETPA, Área da Indústria – Coordenação de Mecânica. Belém, PA. Fevereiro, 2009.
14. ESAB. Apostila de Eletrodos revestidos, 2005. Disponível em: . Acessado em: 23 ago. 2015.
15. AWS Welding Handbook: welding processes. 8. ed. Miami: AWS – American Welding Society, january, 2012. v. 2.
16. WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H. Soldagem: Processos e Metalurgia. São Paulo, Editora Bluncher, 2008