

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA MECÂNICA

BRUNO OLIVEIRA CORNACINI

**SOLDAGEM DE REVESTIMENTO UTILIZANDO O PROCESSO
DE ELETRODO REVESTIDO COM AÇO INOXIDÁVEL 310**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2017

BRUNO OLIVEIRA CORNACINI

**SOLDAGEM DE REVESTIMENTO UTILIZANDO O PROCESSO
DE ELETRODO REVESTIDO COM AÇO INOXIDÁVEL 310**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Me. Celso Alves Corrêa

CORNÉLIO PROCÓPIO
2017



**Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Cornélio Procópio
Departamento Acadêmico de Mecânica
Curso de Engenharia Mecânica**



TERMO DE APROVAÇÃO

**SOLDAGEM DE REVESTIMENTO UTILIZANDO O PROCESSO DE ELETRODO
REVESTIDO COM AÇO INOXIDÁVEL 310**

POR

BRUNO OLIVEIRA CORNACINI

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado às 15:00 hs do dia 30 de Novembro de 2017, como requisito parcial para a obtenção do título de ENGENHEIRO MECÂNICO, linha de pesquisa – Processos de Fabricação/Materiais, no programa de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Avaliadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Avaliadora considerou o trabalho Aprovado.

Prof. Me. Celso Alves Corrêa - Presidente (UTFPR)

Prof. Dr^a. Emillyn Ferreira Trevisani Olivio (UTFPR)

Prof. Me. Conrado Di Raimo (UTFPR)

“A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

Dedico este trabalho a meus pais, meus amigos e familiares.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Me. Celso Alves Correa e à Prof. Emillyn Ferreira Trevisani Olivio pela sabedoria com que me guiaram nesta trajetória.

Aos meus colegas de sala.

A Secretaria do Curso, pela cooperação.

Agradeço aos meus pais, Selma e João, por me motivar durante a escolha do curso e me apoiar em minhas decisões.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

CORNACINI, Bruno Oliveira. Soldagem De Revestimento Utilizando O Processo De Eletrodo Revestido com Aço Inoxidável 310. 2017. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2017.

Corrosão é o desgaste gradual de um corpo qualquer que sofre transformação química e/ou física, proveniente de uma interação com o meio ambiente. Um quinto da produção mundial de aço é destinada a repor perdas causadas pela corrosão. Então, a deposição de aços inoxidáveis sobre aço carbono tem sido utilizado para permitir que superfícies com propriedades anti-corrosivas sejam depositadas em materiais de baixo custo. Nesse trabalho serão utilizadas chapas de aço carbono ABNT 1020 e eletrodos revestidos de Aço Inox E310. Foi analisado a morfologia do cordão e a microdureza do cordão de solda com alteração de corrente de soldagem e do ângulo da peça. A menor diluição e penetração foram obtidas utilizando a corrente de 130 amperes e a peça de soldagem sem inclinação.

Palavras-chave: Soldagem de Revestimento. ABNT E310. Eletrodo Revestido.

ABSTRACT

CORNACINI, Bruno Oliveira. Clad Beading with SMAW and E310 Stainless Steel. 2017. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2017.

Corrosion is the gradual wear of anything that undergoes chemical and/or physical transformation, resulting from an interaction with the environment. A fifth of the world's steel production is destined to restore losses caused by corrosion. Therefore, the deposition of stainless steels on carbon steel has been used to allow surfaces with anti-corrosive properties to be deposited in low cost materials. In this work will be used ABNT 1020 carbon steel plates and E310 stainless steel coated electrodes. The lowest dilution and penetration were obtained using the current of 130 amps and the welding part without inclination.

Keywords: Clad Beading. ABNT E310. SMAW.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Composição do ABNT/SAE 1020.....	20
Tabela 2 Composição do eletrodo UTP 68H 310.16	20
Tabela 3 Parâmetros Variados e seus níveis	22
Tabela 4 Distribuição dos experimentos.....	22
Tabela 5 Resultados do material depositado.....	26
Tabela 6 Resultados da morfologia do cordão de solda.....	26
Tabela 7 Resultado de microdurezas dos corpos de prova	30
Tabela 8 Microdurezas	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Métodos de prevenção e proteção da corrosão	11
Figura 2 Desenho da geometria do cordão: soldagem de penetração (a) e soldagem de revestimento (b).....	16
Figura 3 Soldagem por eletrodo revestido	17
Figura 4 Equipamento de soldagem utilizado.....	21
Figura 5 Ficha técnica do equipamento.....	21
Figura 6 Geometria típica de um cordão de solda simples e as principais medidas geométricas.....	23
Figura 7 Corpos de Prova Embutidos em Baquelite.....	24
Figura 8 Exemplo de medição da morfologia do corão de solda.....	25
Figura 9 Efeito das variáveis no Material Depositado	27
Figura 10 Efeito das variáveis no Reforço.....	27
Figura 11 Efeito das variáveis na Penetração	28
Figura 12 Efeito das variáveis na Diluição	28
Figura 13 Efeito das variáveis na Largura.....	29
Figura 14 Gráfico de durezas	31
Figura 15 Macroscopia ótica do corpo de prova B03	31
Figura 16 Macroscopia ótica do corpo de prova B04	32
Figura 17 Macroscopia ótica do corpo de prova B05	32
Figura 18 Macroscopia ótica do corpo de prova B06	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 Objetivo geral.....	12
1.2 Objetivos específicos	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 Soldagem de revestimento	14
2.1.1 Diluição.....	15
2.1.2 Habilidade do soldador	16
2.2 Soldagem com eletrodo revestido (SMAW).....	17
2.2.1 Características do SMAW	17
2.2.2 Vantagens e desvantagens.....	18
2.2.3 Aplicações	18
3 MÉTODO EXPERIMENTAL	20
3.1 Equipamento de soldagem	21
3.2 Parâmetros	22
3.3 Análises metalográfica	22
3.3.1 Ensaio de microdurezas.....	23
4 RESULTADOS	25
4.1 Resultados de perfil de durezas.....	29
4.2 Macroscopia Ótica	31
5 CONCLUSÃO	34
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	35
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

Corrosão é o desgaste gradual de um corpo qualquer que sofre transformação química e/ou física, proveniente de uma interação com o meio ambiente. (HOUAISS, 2001)

O ferro é encontrado na natureza sob a forma de minério de ferro, que após passar por processos de transformação, retirando impurezas e controlando o nível de Carbono, dá-se origem a várias formas do aço sendo este o metal mais utilizado no planeta devido ao seu baixo preço e alta dureza. A partir do momento em que se modifica a estrutura de minério de ferro este tende a retornar ao seu estado natural.

Um quinto da produção mundial de aço é destinado a repor perdas causadas pela corrosão (GERHARDUS, 2001). Os custos anuais em decorrência da corrosão ultrapassam 3% do PIB dos países industrializados, com valões gastos em torno de 2.2 trilhões de dólares. Apesar disso, governantes e empresas prestam pouca atenção à corrosão, exceto em áreas de risco, como aviões e oleodutos (HAYS, 2010). Para evitar ou retardar a corrosão existem diversos métodos sendo alguns mostrados na Figura 1 abaixo.

Figura 1 Métodos de prevenção e proteção da corrosão



Fonte: SIMÕES, 2013

A cobertura da peça por meio de tinta é um método amplamente utilizado, sendo fácil de aplicar, ampla utilização e custo baixo, podendo resolver a maioria dos casos, visto que a tinta protege o material do contato com o oxigênio atmosférico ou até mesmo de ambientes corrosivos.

A soldagem de revestimento é empregada na recuperação de peças de equipamentos desgastados e também na confecção de novos produtos e processos industriais. O objetivo principal é obter um cordão com a menor diluição possível, com penetração pequena, a maior largura e reforço possível, para um melhor rendimento do processo.

Um dos materiais mais empregados no revestimento é o aço inoxidável sendo este resistente à corrosão e em temperaturas de serviço elevadas, possuindo boas propriedades mecânicas e com fácil soldabilidade. Em sua composição química tem cromo, níquel e molibdênio, sendo considerados aços de alta liga proporcionando uma excelente resistência à corrosão quando comparado aos aços carbono.

Neste trabalho será abordado o processo de proteção superficial através da soldagem por meio do revestimento metálico com um material resistente a corrosão, podendo ainda introduzir uma resistência mecânica maior à superfície. Foi utilizada a soldagem com eletrodo revestido e como metal de adição um aço inoxidável 310 para proporcionar características apropriadas para corrosão em altas temperaturas.

1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é verificar a morfologia do cordão de solda e dureza da soldagem com eletrodo revestido no processo de revestimento com um eletrodo 310 tendo como metal de base um aço 1020. Os parâmetros de soldagem utilizados estão de acordo com norma da Associação Americana de Soldagem (AWS – American Welding Society - 5.4) de Especificação de Aços Inoxidáveis para Soldagem por Eletrodo Revestido.

1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são determinar a morfologia do cordão de solda para a soldagem de revestimento (largura, reforço, penetração e diluição), Analisar a microdureza da zona fundida, da zona afetada termicamente e do metal de base.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A prevenção da corrosão é um grande problema na indústria. Ela não pode ser completamente eliminada, mas pode ser reduzida em alguma extensão. Uma camada de proteção resistente à corrosão é feita sobre o substrato menos resistente por um processo chamado revestimento. Esta técnica é usada para melhorar a vida útil dos componentes de engenharia e também reduzir o seu custo (SREERAJ, 2012).

Visto que os materiais base são menos específicos, resistentes e caros, então é utilizado um material de revestimento, que é mais nobre, resistente à corrosão e protegerá a peça. Este processo é usado principalmente em indústrias como a química, têxteis, nuclear, usinas de energia a vapor, processamento de alimentos e indústrias petroquímicas (SREERAJ, 2012).

Existem vários métodos utilizados para o revestimento de superfícies metálicas. Entre eles estão soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido (SMAW), soldagem a arco submerso, Soldagem com eletrodo de tungstênio (TIG), soldagem a plasma, Soldagem por arco elétrico com gás de proteção (GMAW) conhecido em português como MIG/MAG, arame tubular, soldagem por oxi-acetileno e soldagem por explosão controlada (KANNAN, 2010).

2.1 Soldagem de revestimento

Para a realização de um processo de revestimento devem-se levar em conta aspectos como características físicas das peças, características metalúrgicas do metal de base, diluição e habilidade do soldador. (INFOSOLDA, 2017).

O tamanho, a forma e o peso das peças exercem forte influência na seleção do processo. Peças grandes e pesadas, que geralmente estão fixas ao local de trabalho são convenientemente revestidas utilizando-se equipamento de soldagem manual ou semiautomático que deve ser transportado até a peça. Já peças pequenas e de fácil manuseio são geralmente revestidas em laboratórios ou centros de solda, onde é possível se obter uma atmosfera controlada, independência dos meios externos como vibrações, chuvas, ventos. (MACHADO, 1996).

Os aços são geralmente metais de base apropriados para revestimento por soldagem. Aços de baixa-liga e aços carbono contendo até 0,4% de carbono podem ser sensíveis à fissuração, tornando-se necessário um pré- aquecimento para minimizar ou suprimir a ocorrência de martensita na zona afetada pelo calor. Aços inoxidáveis austeníticos, com exceção dos estabilizados com titânio, e da maioria das ligas a base de níquel podem ser facilmente revestidos pela maioria dos processos de soldagem com resultado excelente. Aços inoxidáveis martensíticos, aços-ferramenta e aços para matrizes são também passíveis de revestimento, mas deve ser dada uma grande atenção aos requerimentos de pré- aquecimento, temperatura de interpasse e pós-aquecimento. Metais de base de aços endurecíveis por precipitação apresentam problemas especiais quando do revestimento e geralmente requerem tratamentos térmicos de dissolução ou envelhecimento antes do revestimento, assim como cuidados especiais no pré e pós-aquecimento e na temperatura de interpasse (WAINER, 1992).

A preparação da superfície do metal de base é de grande importância em processo de metalização. De qualquer maneira, a composição do metal de base, a faixa de temperatura de fusão e as características de contração e expansão térmica têm um efeito significativo na seleção do processo de soldagem (ALMENDRA, 1997)..

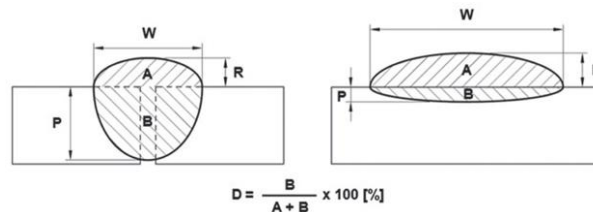
2.1.1 Diluição

A diluição expressa à porcentagem do metal de base no depósito, ou seja, a porcentagem do metal de base que participa da zona fundida. Uma diluição de 10% indica que na zona fundida há 10% do metal de base e 90% da liga de revestimento. A resistência ao desgaste e outras propriedades desejáveis da liga de revestimento geralmente se degradam quando a diluição aumenta (ALMENDRA, 1997).

Do ponto de vista metalúrgico, a composição e as propriedades do revestimento são fortemente influenciadas pela diluição, que pode ser obtida com cada processo de soldagem e deve ser considerada para selecionar devidamente a combinação entre metal de solda e processo de soldagem para cada aplicação

particular. Um bom exemplo é o revestimento em aço de baixa liga com eletrodos de aço inoxidável pelo processo com eletrodo revestido (INFOSOLDA, 2017).

Figura 2 Desenho da geometria do cordão: soldagem de penetração (a) e soldagem de revestimento (b).



Onde: A: área de reforço; B: Área de penetração; W: Largura; R: Reforço; P: Penetração

Fonte: Adaptado de GOMES et al, 2012.

A partir do cordão de solda mostrado na Figura 2, é possível determinar a porcentagem de diluição, que é igual ao volume do metal de base fundido (B) dividido pelo volume depositado mais o volume do metal de base fundido (A + B), multiplicado por 100.

A microestrutura e as propriedades mecânicas dos depósitos de revestimento variam, dependendo da cinética de solidificação e da diluição. A solidificação geralmente é rápida nos processos de metalização; a cinética de solidificação tende a ser um pouco mais baixa nos processos de soldagem convencionais (MACHADO, 1996).

2.1.2 Habilidade do soldador

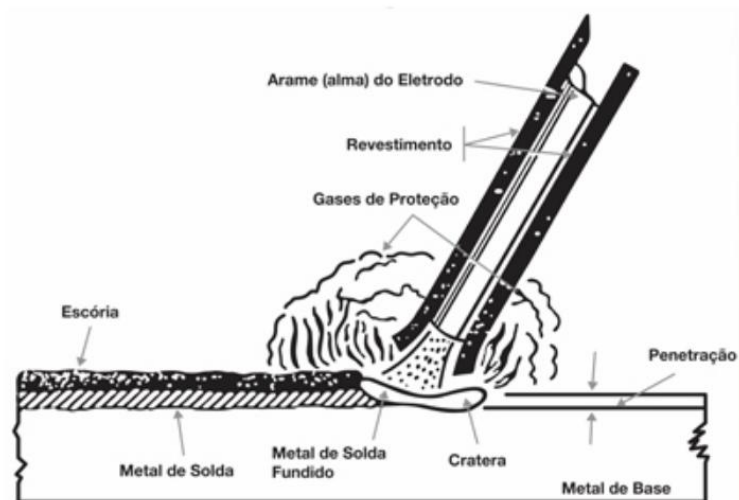
A qualidade do revestimento está ligada diretamente à habilidade do soldador. Em processos de soldagem manual, como oxiacetilado, eletrodo revestido e TIG, requerem alta qualificação profissional. Já em processos de soldagem automáticos, como arco submerso, onde os controles da máquina de solda são estabelecidos previamente, requerem uma habilidade mínima do

soldador/operador. Processos de metalização geralmente requerem habilidade intermediária.

2.2 Soldagem com eletrodo revestido (SMAW)

A soldagem com eletrodo revestido é realizada com o calor de um arco elétrico mantido entre duas partes metálicas, a extremidade de um eletrodo metálico revestido e a peça de trabalho/metal base. O calor produzido pelo arco elétrico é suficiente para fundir o metal de base, a alma do eletrodo e o revestimento. Quando as gotas de metal fundido são transferidas através do arco para a poça de fusão, são protegidas da atmosfera pelos gases produzidos durante a decomposição do revestimento. A escória líquida flutua em direção à superfície da poça de fusão, onde protege o metal de solda da atmosfera durante a solidificação (MACHADO, 1996). A Figura 3 mostra o esquema de soldagem por eletrodo revestido:

Figura 3 Soldagem por eletrodo revestido



Fonte: ESAB

2.2.1 Características do SMAW

O processo de soldagem com eletrodo revestido é o mais amplamente utilizado. Possui a maior flexibilidade entre todos os processos de soldagem uma

vez que a maioria dos metais pode ser unida ou revestida pela soldagem (ESAB, 2017).

Existe uma grande variedade de eletrodos revestidos, facilmente encontrados no mercado, cada eletrodo contendo no seu revestimento a capacidade de produzir os próprios gases de proteção dispensando o suprimento adicional de gases, necessário em outros processos de soldagem (WAINER, 1992).

Os eletrodos revestidos podem ser soldados em todas as posições (plana, vertical, horizontal, sobre cabeça), como praticamente utilizados em todas as espessuras de metal de base e em áreas de acesso limitado. Os eletrodos revestidos podem ser aplicados para revestimentos duros, corte e goivagem e os equipamentos tem custo de investimento relativamente baixo (MACHADO, 1996).

2.2.2 Vantagens e desvantagens

Como vantagens do processo de solda por eletrodo revestido é possível citar que é um processo de soldagem de baixo investimento, não há necessidade de suprimento de gases, visto que o revestimento do eletrodo será formador de gases, possui uma flexibilidade de aplicação, existe uma grande variedade de consumíveis e os equipamentos podem ser usados também para outros processos. (ESAB, 2017).

Nas desvantagens é possível citar a baixa produtividade, a necessidade de cuidados especiais com os eletrodos e o volume de gases e fumos gerados no processo é grande.

2.2.3 Aplicações

A soldagem com eletrodo revestido é usada na fabricação e montagem de diferentes equipamentos e estruturas, tanto em oficinas como no campo, sendo particularmente interessante neste último caso. Pode ser usado em grande número de materiais, como aços baixo carbono de baixa, média e alta liga, aço inoxidável, ferro fundido, alumínio, cobre, níquel e ligas destes (ESAB, 2017).

Diferentes combinações de metais dissimilares também podem ser soldadas com eletrodo revestido como chumbo, estanho e zinco e metais muito refratários ou muito reativos, como o titânio, zircônio, molibdênio e nióbio não são soldáveis por este processo (, 1996).

3 MÉTODO EXPERIMENTAL

Em todos os experimentos foram depositados apenas um cordão de solda, variando a corrente de soldagem e a inclinação da peça, e ainda as peças utilizadas foram limpas pelo processo de jateamento com granelha e vidro.

Os corpos de prova utilizados são de aço ABNT 1020 com dimensões aproximadas de 150 x 50 x 6,35 mm (comprimento x largura x espessura) e a sua composição química está apresentada na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 Composição do ABNT/SAE 1020

Componente	Porcentagem
C	0,20
Mn	0,45
P	<0,030
S	<0,05
Si	<0,030

Fonte: ACELORMITTAL (2013)

O metal de adição utilizado foi o eletrodo revestido AWS E 310-16 (AWS 5.4), com 3,5 mm de diâmetro e 350 mm de comprimento, e sua composição química é apresentada na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 Composição do eletrodo UTP 68H 310.16

Componente	Porcentagem
C	0,10
Si	0,6
Mn	1,5
Cr	25
Ni	20

Fonte: UTP Maintenance (2014)

3.1 Equipamento de soldagem

Para a realização dos cordões de solda foi utilizado o equipamento de soldagem por eletrodo revestido Bambozzi Piccola 400T, mostrado na Figura 4 e na Figura 5 esta apresentada a ficha técnica do equipamento utilizado.

Figura 4 Equipamento de soldagem utilizado



Fonte: Autoria Própria

Figura 5 Ficha técnica do equipamento

 BAMBOZZI S.A. MÁQ. HIDR. E ELÉTRICAS RUA BAMBOZZI, 460/512 MATÃO - S.P. C.G.C. 52.311.255/0001-79 - INSC. 441.002.251.112 INDÚSTRIA BRASILEIRA			
TRANSF. RETIF. DE SOLDAGEM - CORRENTE CONSTANTE			
MODELO: PICCOLA 400 T			
ENTRADA		SAIDA	
V -	220/380/440	AMPERES -	400 A
A -	80 / 46 / 40	CICLO TRAB.-	30 %
KVA -	15 a 100 %	V. LIBRE -	80 V
FASES -	3	REG.-	40-400 A
		HZ.-	60

Fonte: Autoria Própria

3.2 Parâmetros

As variáveis de influência deste trabalho são duas sendo a corrente de soldagem e a inclinação da peça no sentido longitudinal. Foi depositado apenas um cordão de solda e os níveis das variáveis estão apresentados na Tabela 3 e na Tabela 4 estão identificadas as peças utilizadas.

Tabela 3 Parâmetros Variados e seus níveis

Parâmetro	Unidade	Notação	Níveis	
			-1	+1
Corrente	Amperes (A)	A	110	130
Ângulo da peça	Graus (°)	G	0	20

Fonte: Autoria Própria

Tabela 4 Distribuição dos experimentos

Peça	Corrente	Ângulo da peça
B03	110	20
B04	110	0
B05	130	20
B06	130	0

Fonte: Autoria Própria.

3.3 Análises metalográficas

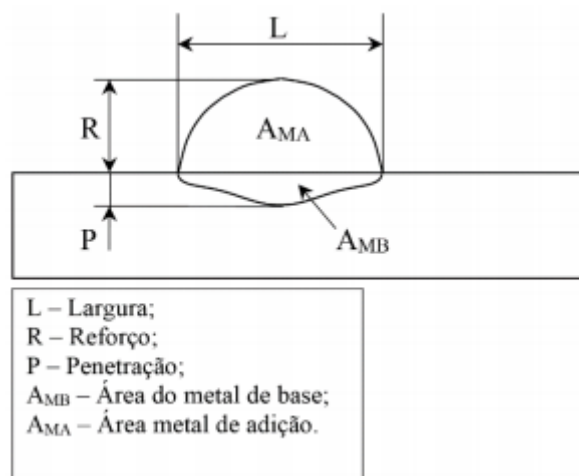
Os ensaios metalográficos são procedimentos utilizados para revelar macro ou microestruturas, e servem de complemento de informações às variáveis de influência utilizadas durante a soldagem. Este tipo de ensaio consiste primeiramente no corte das secções previamente demarcadas dos corpos de prova, para estudarmos os aspectos de uma determinada superfície. Através deste tipo de ensaio é possível determinar as várias fases presentes dentro de todas as regiões do cordão do revestimento (zona fundida, zona afetada termicamente e metal de base).

Os corpos já seccionados tiveram seus tamanhos reduzidos para facilitar o polimento das amostras. Os mesmos foram levados a uma serra tipo “cut-off”, da marca Presi Mecatome, modelo OS 250 e posteriormente embutidos com baquelite.

Após o corte cada corpo de prova foi polido metalograficamente numa politriz modelo DP-10 da PANAMBRA, sendo utilizada a técnica de lixamento manual com granulometria cada vez menor, mudando-se a direção em 90º no sentido horário em cada lixa subsequente até o desaparecimento dos riscos da lixa anterior. A sequência das lixas utilizadas no lixamento metalográfico foram 100, 200, 400, 600, 1200, 1500 e 2000 mesh.

O ataque após o polimento foi realizado com reagente Nital a 4% durante 15 segundos, sendo em seguida as amostras lavadas em água corrente, depois lavadas com acetona e secas utilizando ar quente. A Figura 6 abaixo apresenta a geometria de um cordão de solda.

Figura 6 Geometria típica de um cordão de solda simples e as principais medidas geométricas



Fonte: Miranda (2015)

3.3.1 Ensaio de microdureza

O ensaio de microdureza foi realizado na seção transversal do cordão de solda das amostras na região da zona fundida. O método utilizado para a medição da microdureza foi Vickers. Utilizou-se o equipamento de microdureza, marca Reichert Brivisor, com carga de aplicação de 300gf por 15 segundos. As medidas de microdureza foram realizadas na seção transversal do cordão de solda, com

distância de 5mm abaixo da linha superficial do corpo de prova, alinhadas no sentido horizontal, espaçadas entre si por 0,3mm e compreendidas entre o metal base, zona afetada termicamente e zona fundida. A Figura 7 mostra os corpos de prova já embutidos em baquelite para os ensaios de microdureza e análise macroscópica.

Figura 7 Corpos de Prova Embutidos em Baquelite



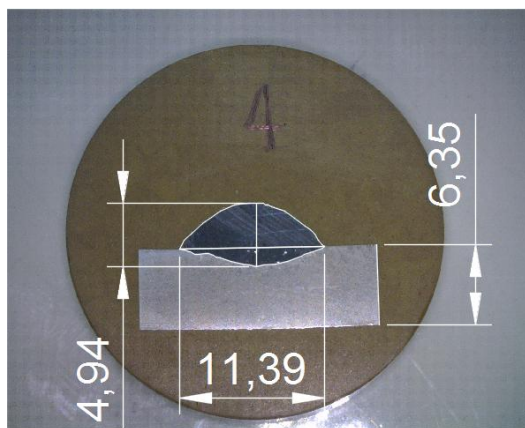
Fonte: Aatoria Própria.

4 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos nos ensaios, e as variáveis de resposta são a massa depositada e a morfologia do cordão (largura, reforço, penetração, área do reforço, área da penetração e a diluição).

Para realizar a análise do perfil metalográfico foi utilizada a ferramenta de desenho AutoCad, em que as áreas e dimensões são encontradas automaticamente, através de fotos e utilizando como referência a espessura da placa que é de 6,35mm. A Figura 8 abaixo apresenta um exemplo das medições executadas.

Figura 8 Exemplo de medição da morfologia do corão de solda



Fonte: Autoria Própria

A Tabela 5 abaixo apresenta os resultados da massa depositada em cada ensaio, observou-se que a corrente aumentou, mantendo o ângulo fixo a massa depositada diminuiu. Também quando fixou a corrente e aumentou o ângulo da peça a quantidade de massa depositada teve o mesmo comportamento. Este comportamento possivelmente ocorreu devido à instabilidade do arco elétrico ocorrida com o aumento da corrente e ângulo, fazendo com que uma maior quantidade de respingo se formasse e uma menor quantidade de material fosse depositada. (ALMENDRA, 1997; MACHADO, 2006)

Tabela 5 Resultados do material depositado.

Peça	3	4	5	6
Ângulo (°)	20	0	20	0
Corrente (A)	110	110	130	130
Peso da peça antes de soldar [g]	366,64	366,84	364,69	366,80
Peso da peça soldada [g]	384,51	385,66	378,06	382,55
Peso do material depositado [g]	17,87	18,82	13,37	15,75

Fonte: Autoria Própria

A Tabela 6 apresenta os resultados da morfologia do cordão de solda (largura, reforço, penetração, área da penetração, área do reforço e diluição). Observou-se que com o aumento da corrente houve um crescimento da largura, penetração, área da penetração, área total e diluição; isto se deve ao fato de que com a maior corrente há um aumento do calor na ponta do eletrodo por efeito Joule, fazendo com estes resultados também se elevem, corroborando com diversos autores (ALMENDRA, 1997; MACHADO, 2006; entre outros). Comportamento inverso pode ser observado pelo reforço e área do reforço, sendo comprovado pelo aumento da penetração e área da penetração, fazendo com que o volume do metal diminuísse do reforço e se deslocasse para a penetração.

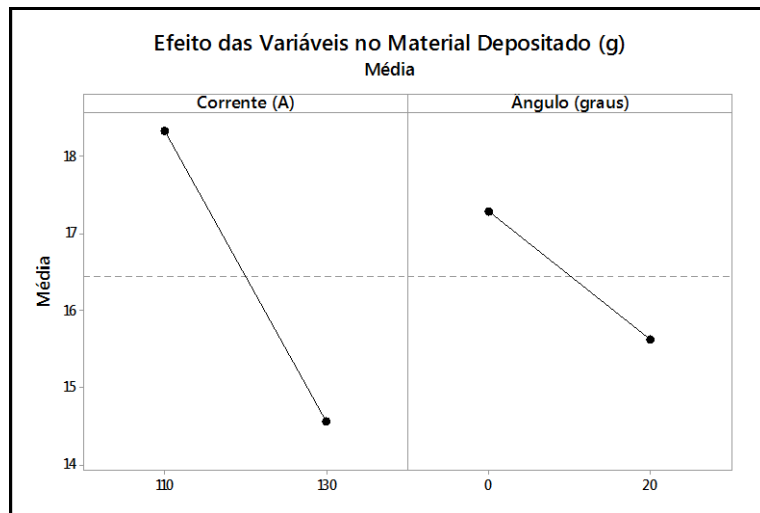
Tabela 6 Resultados da morfologia do cordão de solda.

Peça	3	4	5	6
Ângulo (°)	20	0	20	0
Corrente (A)	110	110	130	130
Largura (mm)	11,16	11,39	11,63	9,71
Penetração (mm)	2,15	1,45	2,96	1,99
Reforço (mm)	3,16	3,49	2,10	2,77
Área do Reforço (mm ²)	20,94	27,15	14,61	14,09
Área da Penetração (mm ²)	13,32	9,40	19,48	12,53
Área Total (mm ²)	34,26	36,55	34,09	26,62
Diluição (%)	39	26	57	47

Fonte: Autoria Própria

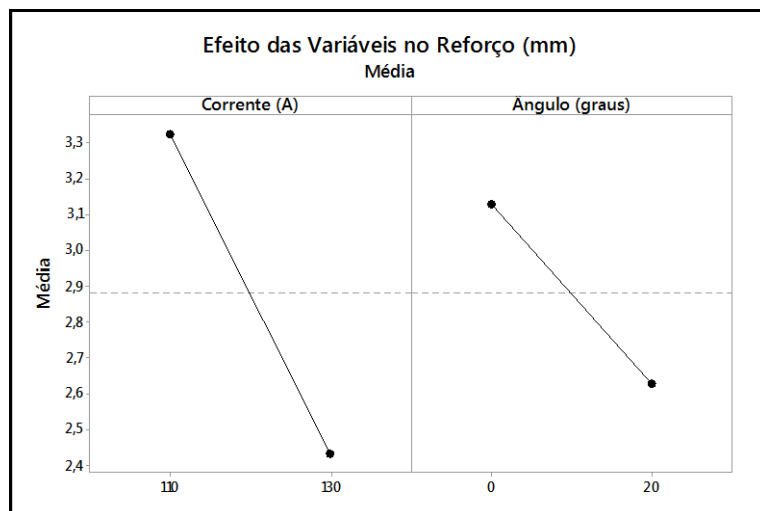
Para uma melhor compreensão das Tabelas 5 e 6 os resultados foram transformados nas Figuras 9 a 13. Na Figura 9 do material depositado e na Figura 10 do reforço o comportamento da corrente de soldagem e do ângulo de inclinação da peça são os mesmos, ou seja, com o aumento da corrente de 110 para 130 e do ângulo de inclinação de 0 para 20 graus os resultados foram menores. Possivelmente com o crescimento das variáveis houve um aumento da instabilidade do arco elétrico, fazendo com a quantidade de material depositado fosse menor, reproduzindo este fato também para o reforço.

Figura 9 Efeito das variáveis no Material Depositado



Fonte: Autoria Própria.

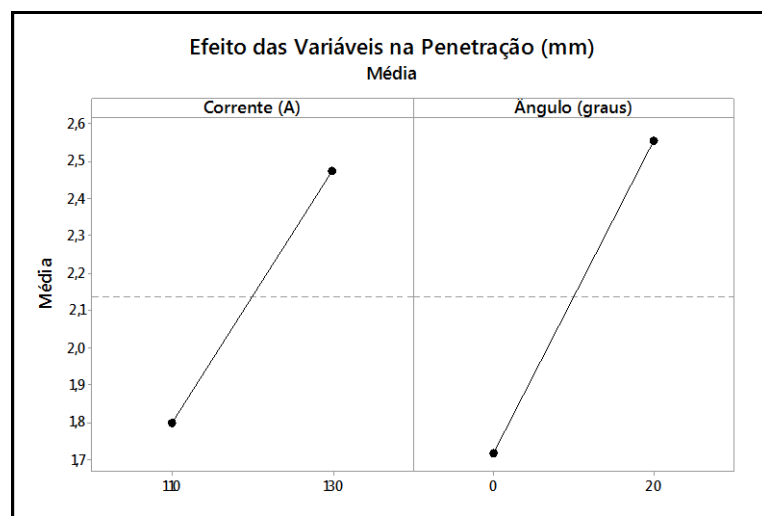
Figura 10 Efeito das variáveis no Reforço



Fonte – Autoria Própria.

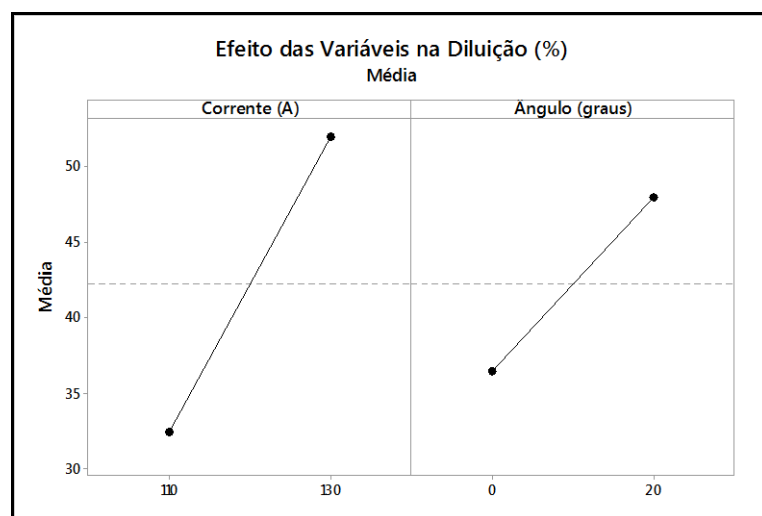
A Figura 11 mostra o efeito das variáveis na penetração, onde com o aumento da corrente e da inclinação da peça houve um crescimento da penetração, sendo que o mesmo comportamento também é verificado na Figura 12 da diluição. Com o aumento da corrente era previsto um aumento na penetração e na diluição, devido ao aumento do efeito Joule na ponta do eletrodo, fazendo com que uma maior quantidade de material fosse depositada (ALMENDRA, 1997; MACHADO, 2006; entre outros).

Figura 11 Efeito das variáveis na Penetração



Fonte: Autoria Própria.

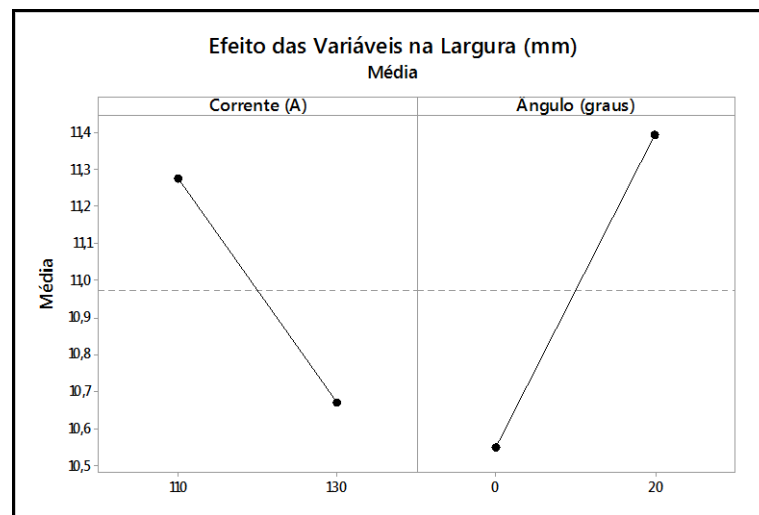
Figura 12 Efeito das variáveis na Diluição



Fonte: Autoria Própria.

A Figura 13 mostra os efeitos das variáveis na Largura, observamos que com o aumento da corrente a largura diminuiu e com o crescimento do ângulo de inclinação da peça o comportamento foi inverso. A diminuição da largura com o aumento da corrente se deva ao fato de que parte do metal fundido foi para a penetração fazendo com que a largura fosse menor. O aumento da largura com o crescimento do ângulo da peça possivelmente se deva ao fato de que houve um deslocamento lateral da poça de fusão devido a força da gravidade, fazendo com a largura aumentasse.

Figura 13 Efeito das variáveis na Largura



Fonte: Autoria Própria.

4.1 Resultados de perfil de durezas

O ensaio de Microdureza Vickers, foi realizado com a aplicação de uma pré carga de 300 gF por 15 segundos. Foram realizados 9 endentações de microdureza de cada corpo de prova, com 3 valores da Zona Fundida (ZF), 3 valores da Zona Afetada Termicamente (ZAT) e 3 valores do Metal de Base (MB).

A Tabela 7 apresenta os resultados de microdureza dos corpos de prova, e os resultados são apresentados graficamente na Figura 14. Nesta figura é possível identificar as microdurezas: as medidas realizadas

Tabela 7 Resultado de microdurezas dos corpos de prova

		AC (°)	20	0	20	0
		IM (A)	110	110	130	130
Medida	Região	B03	B04	B05	B06	
1	ZF	175,8	187,3	178,3	209,8	
2	ZF	170,7	196,2	182,2	202,8	
3	ZF	189,9	204,8	179,4	222,5	
4	ZAT	169,7	189,9	182,2	175,8	
5	ZAT	177,4	189	158,5	175,8	
6	ZAT	168,3	179	171,2	172,7	
7	MB	144,1	145,3	161,9	166,1	
8	MB	141,8	165,4	141,8	158,5	
9	MB	143	155,2	150,1	155,8	

Onde: IM (Corrente Média), AC (Ângulo do Corpo de Prova)

Fonte: Autoria Própria

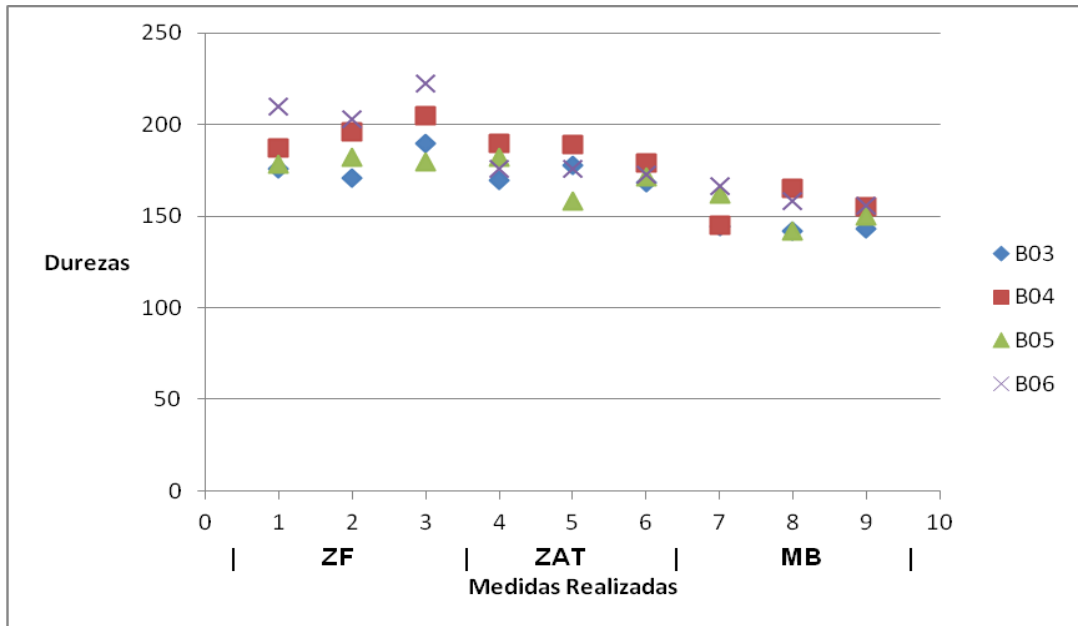
Os valores médios encontrados foram os mostrados na tabela 8 a seguir.

Tabela 8 Microdurezas

Ensaio	B03	B04	B05	B06
Metal de Base	142,97	155,30	151,27	160,13
ZAT	171,80	185,97	170,63	174,77
Zona Fundida	178,8	196,10	179,97	211,70

Fonte: Autoria Própria

Figura 14 Gráfico de durezas



Fonte: Aatoria Própria

4.2 Macroscopia Ótica

Os perfis das amostras são mostrados das Figuras 15 a 18.

Figura 15 Macroscopia ótica do corpo de prova B03



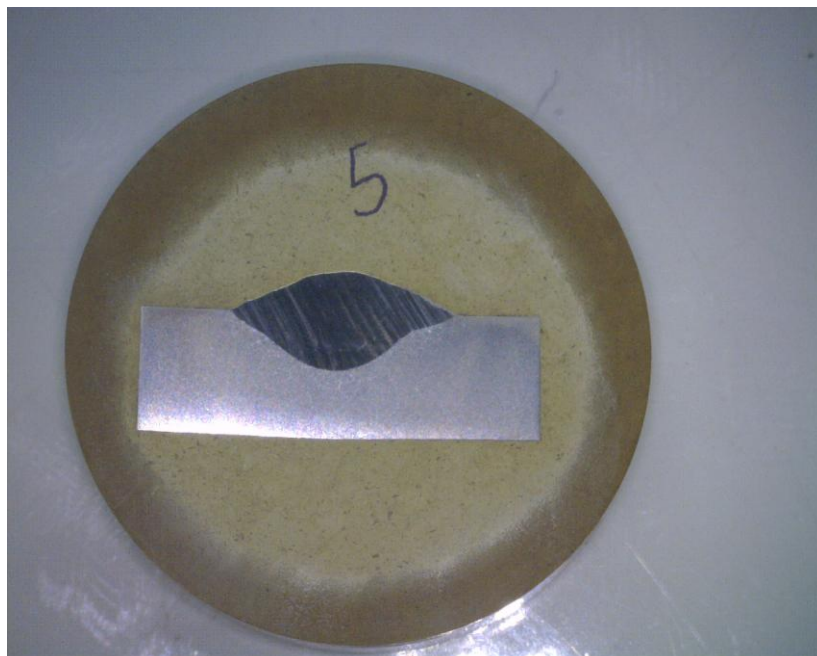
Fonte: Aatoria Própria

Figura 16 Macroscopia ótica do corpo de prova B04



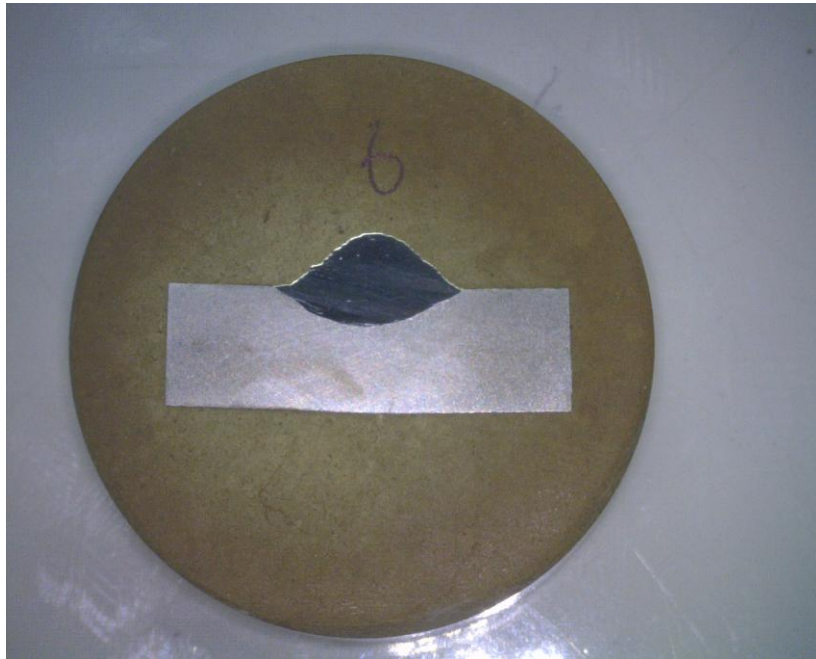
Fonte: Autoria Própria

Figura 17 Macroscopia ótica do corpo de prova B05



Fonte: Autoria Própria

Figura 18 Macroscopia ótica do corpo de prova B06



Fonte: Autoria Própria

5 CONCLUSÃO

Sendo os objetivos neste trabalho determinar a morfologia do cordão de solda na soldagem de revestimento de um aço 310, variando a corrente e a inclinação dos corpos de prova na soldagem, e com os resultados obtidos com os ensaios realizados é possível concluir que:

- Com o aumento da corrente e da inclinação da peça, houve um crescimento da penetração e da diluição;
- A quantidade de metal depositado e o reforço diminuíram com o aumento da corrente e da inclinação da peça;
- A largura diminuiu com o aumento da corrente de soldagem e cresceu com o aumento do ângulo de inclinação da peça.
- Os resultados da microdureza corroboram com a literatura.
- A menor diluição e penetração foram obtidas na condição de corrente de 130 amperes e sem ângulo de inclinação da peça.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Realizar outros ensaios em outros ângulos de inclinação da peça para comparar resultados obtidos;
- Aplicar estatística nos resultados obtidos como, por exemplo, a Análise de Variância.

REFERÊNCIAS

ACELORMITTAL – **Guia do aço: Aços longos** (2013).

ALMENDRA, A.C. et al. **Soldagem**. São Paulo: Senai, 1997. 553 p.

ESAB - Apostila de soldagem MIG/MAG

ESAB. **Processo de Soldagem: Eletrodo Revestido (MMA/SMAW)** Disponível em <http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_eletrodo_revestido_mma_smaw.cfm> (2014) Acesso em 27 de outubro de 2017

GERHARDUS, H. K.; MICHIEL, P.H.B.; THOMPSON, N.G. **Corrosion Costs and Preventive Strategies in the United States**. NACE Internacional (2001).

GOMES, J.H.F.; COSTA S.C.; PAIVA, A.P.; BALESTRASSI, P.P. Mathematical Modeling of Weld Bead Geometry, Quality, and Productivity for Stainless Steel Claddings Deposited by FCAW. *Journal of Materials Engineering and Performance*, v.21, n.9, p.1862-1872, 2012.

HAYS, G. F. **Now is the Time**. World Corrosion Organization. NACE International, Houston, 2010

HOUAISS, A. **Dicionário eletrônico Houaiss da língua portuguesa** . Instituto Antônio Houaiss: Objetiva. 2001

INFOSOLDA. **Revestimento por soldagem - processos de soldagem para revestimento**. Disponível em <<http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/livros-senai/processos/180-revestimento-por-soldagem-processos-de-soldagem-para-revestimento.html>> Acesso em 27 de outubro de 2017

KANNAN, T; YOGANANDH, J. **Effect of process parameters on clad bead geometry and its shape relationships of stainless steel claddings deposited by GMAW** (2010).

MACHADO, I.G. **Soldagem e Técnicas conexas**. 1996.

MIRANDA, Edvan.C; SILVA, Cleiron C.; MOTTA, Marcelo F.; MIRANDA, Hélio C.: **Avaliação do Uso do Tecimento sobre o Nível de Diluição e Geometria do Cordão de Solda na Soldagem TIG com Alimentação Automática de Arame Frio**. Soldagem & Inspeção. Artigos técnicos. Laboratório de Engenharia de Soldagem, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil. (2015).

SIMÕES, A. **Corrosão: um problema transversal**. Instituto de ciência e engenharia de materiais e superfícies. Instituto Superior Técnico de Lisboa (2013).

SREERAJ, P.; KANNAN, T.: **Modeling and prediction of stainless steel clad bead geometry deposited by GMAW using regression and artificial neural network models** (2012).

SREERAJ, P.; KANNAN, T.; and MAJI, S.: **Optimization of GMAW Process Parameters Using Particle Swarm Optimization** (2013).

UTP MAINTENANCE. **UTP 68H : Fully austenitic CrNi Stick Eletrode.** (2014).

WAINER, E. **Soldagem: Processos e Metalurgia.** São Paulo: Blucher, 1992.