

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DA MECÂNICA
ENGENHARIA MECÂNICA

JULIANE CARLA LOPES PRADO

**REVESTIMENTO PELO PROCESSO ELETRODO REVESTIDO COM
AÇO INOXIDÁVEL 308L**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO
2017

JULIANE CARLA LOPES PRADO

**REVESTIMENTO PELO PROCESSO ELETRODO REVESTIDO COM
AÇO INOXIDÁVEL 308L**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná para obtenção do título de Engenheira Mecânica.

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**



FOLHA DE APROVAÇÃO

Juliane Carla Lopes Prado

REVESTIMENTO PELO PROCESSO ELETRODO REVESTIDO COM AÇO INOXIDÁVEL 308L

Trabalho de conclusão de curso apresentado às 05:50hs do dia 24 de Novembro de 2017, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico 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 Correa - (Orientador)

Prof. Dra. Émillyn Ferreira Trevisani Olivio - (Membro)

Prof. Me. Conrado Di Raimo - (Membro)

"A Folha de Aprovação assinada encontra-se na coordenação de curso"

AGRADECIMENTOS

A Deus, que me concedeu a vida, a saúde e a capacitação para realizar este trabalho.

Aos meus pais e familiares pelo suporte, incentivo e compreensão nos momentos de ausência.

Ao meu namorado, Fábio Henrique, por ser meu porto seguro.

Ao Prof. Me. Celso Alves Corrêa por todo o apoio e suporte para realização deste Trabalho de Conclusão de Curso.

À Professora Dr. Émillyn Ferreira Trevisani Olivio pelas valiosas contribuições para a realização deste trabalho e por todo o suporte prestado ao longo de minha formação acadêmica.

A todos os colegas que contribuíram direta ou indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

PRADO, Juliane C. L. REVESTIMENTO PELO PROCESSO ELETRODO REVESTIDO COM AÇO INOXIDÁVEL 308L. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2017.

Uma das formas mais eficientes de se melhorar propriedades superficiais de peças e componentes de equipamentos industriais tem sido, ao longo do tempo, a aplicação de revestimentos. A grande quantidade de materiais disponíveis que podem ser aplicadas em revestimentos tem sido estudados cada vez mais e ganhando diversas aplicações e técnicas de deposição, sendo que a soldagem é um dos processos mais utilizados. Neste trabalho foi variada a corrente de soldagem e o ângulo da peça, sendo feito um estudo de como estas interferem na morfologia do cordão de solda e na dureza dos revestimentos sendo utilizado como metal de base um aço 1020 e metal de adição um aço 308L através de Soldagem por Eletrodo Revestido.

Palavras-chaves: Soldagem, Revestimento, Eletrodo Revestido, E308L.

ABSTRACT

PRADO, Juliane C. L. Welding Coating Using E308L Coated Electrode and Stainless Steel Process. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Cornélio Procópio, 2017.

One of the most efficient ways of improving surface properties of parts and components of industrial equipment has been, over time, the application of coatings. The large amount of available materials that can be applied in coatings has been more studied and gaining diverse applications and techniques of deposition, being the welding is one of the most used processes. In this work the welding current and the angle of the workpiece were varied and a study was made of how they interfere in the morphology of the weld bead and the hardness of the coatings being used as base metal a 1020 steel and addition metal a 308L steel through of Covered Electrode Welding.

Key-words: Welding, Coating, Covered Electrode, E308L.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	– Soldagem com Eletrodo Revestido.	12
Figura 2	– Princípio de operação da soldagem de revestimento	13
Figura 3	– Exemplos de camadas de revestimento.....	14
Figura 4	– Geometria típica de uma solda simples	14
Figura 5	– Equipamento de soldagem por eletrodo revestido	17
Figura 6	– Amostras prontas para análises	20
Figura 7	– Avaliação do perfil metalográfico	21
Figura 8	– Efeitos da variáveis na largura.....	23
Figura 9	– Efeitos da variáveis na penetração.....	23
Figura 10	– Efeitos da variáveis no reforço	24
Figura 11	– Efeitos da variáveis na diluição	24
Figura 12	– Efeitos da variáveis no material depositado	25
Figura 13	– Gráfico de durezas	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Composição do ABNT/SAE 1020	16
Tabela 2	–	Composição Química do Eletrodo E308L-17	16
Tabela 3	–	Massa dos corpos de prova	18
Tabela 4	–	Massa dos Eletrodos	18
Tabela 5	–	Parâmetros variados e seus níveis	19
Tabela 6	–	Combinação dos parâmetros variados.....	19
Tabela 7	–	Massas obtidas	21
Tabela 8	–	Dimensões do cordão de solda	22
Tabela 9	–	Valores de Dureza Obtidos	25

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	OBJETIVOS	10
2.1	OBJETIVO GERAL.....	10
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
3.1	SOLDAGEM COM ELETRODO REVESTIDO	11
3.2	REVESTIMENTO COM SOLDAGEM.....	12
3.3	ENSAIOS MECÂNICOS	15
3.3.1	Dureza.....	15
4	PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	16
4.1	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	16
4.2	METODOLOGIA	17
4.2.1	Etapa 1	18
4.2.2	Etapa 2	18
4.2.2.1	Parâmetros	18
4.2.3	Etapa 3	19
4.2.4	Etapa 4	19
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
5.1	ANÁLISE MACROGRÁFICA	20
5.2	ANÁLISE DA DEPOSIÇÃO	20
5.3	ANÁLISE DE DUREZA.....	22
6	CONCLUSÃO	27
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28

1 INTRODUÇÃO

O processo de soldagem permite a união de materiais e através dele é possível obter diversas peças, que vão desde peças de uso pessoal, como mesas e cadeiras, até peças grandes para uso industrial, como turbinas de usinas hidrelétricas e plataformas petrolíferas. Sendo usada também para revestir materiais mais baratos e menos resistentes de forma a enfrentar melhor vários tipos de desgastes. (MACHADO, 1996)

Mesmo sendo considerada como um processo de junção, percebe-se que nos últimos anos, diversas técnicas de soldagem vêm sendo usadas para se depositar materiais sobre superfícies com finalidades específicas, como a recuperação de peças desgastadas ou para criar revestimentos com características diferenciadas. Tal técnica denomina-se soldagem de revestimento.

Este procedimento está sendo usado cada vez mais e em inúmeros tipos de indústrias. Esta crescente é justificada pela razão de que os revestimentos podem ser feitos de maneira mais econômica e rápida com as características necessária a cada solicitação.

O revestimento de soldagem pode ser realizado por qualquer processo de soldagem, como soldagem com eletrodo revestido, por arco submerso, TIG, MIG/MAG, plasma, arame tubular, entre outras. Neste trabalho abordaremos a soldagem com eletrodo revestido.

Haja vista os variados tipos de consumíveis para tal finalidade os aços inoxidáveis se destacam, pois são frequentemente depositados em aços de baixa liga para aumentar a resistência destes, bem como para oferecer proteção a corrosão, de uma forma muito mais econômica, comparada a componentes unicamente de aços inoxidáveis.(GOMES, 2010)

De acordo com (BRANDIM, 1999) na soldagem de revestimento do aço inoxidável em aço carbono existem grandes diferenças de composições químicas entre os metais de solda e de base, sendo assim, a diluição em excesso torna-se indesejável já que pode prejudicar as propriedades de dureza e resistência ao desgaste e corrosão, implicando em microestruturas e, portanto, propriedades diferentes. (D'OLIVEIRA, 2000) ressalta ainda a importância de se obter baixos níveis de diluição nos processos de deposição de revestimentos metálicos.

Os eletrodos de aço inoxidável baixo carbono, são indicados para soldagem ou revestimento principalmente de Aços Inoxidáveis Classificação AISI 304, 308. Pois possui excelente desempenho na soldagem apresentando um arco suave de fácil aplicação. A escória é de fácil remoção ou auto-destacável. A aparência do cordão de solda tem ótimo acabamento.

O eletrodo revestido 308L é um eletrodo de aço inoxidável de revestimento rutilico - básico, que pode ser soldado tanto em AC como CC com excelente soldabilidade e fácil controle de arco. Tem uma baixa suscetibilidade a trincas a quente e resistente a corrosão intergranular. As aplicações típicas na sua utilização são em processos químicos, indústria de alimentícia e farmacêutica, na área de papel e celulose e geração de energia. O depósito é um aço austenítico com cromo e níquel, de especial baixo teor de carbono, para temperaturas de trabalho até 350°C.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O projeto tem como objetivo principal o estudo de como a corrente de soldagem e a inclinação da peças no processo de soldagem com eletrodo revestido interferem nos resultados do revestimento (morfologia do cordão e dureza).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar as melhores condições de soldagem visando os melhores resultados da morfologia do cordão;
- Analisar as variações de dureza, de acordo com as variáveis de influência.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo Quites (2002) "Soldagem é a operação que visa a união de duas ou mais peças, assegurando na junta a continuidade das propriedades químicas e físicas."

Apesar de aparentar ser uma técnica moderna, existem indícios de que a união de materiais já era aplicada há quatro mil anos. Contudo a soldagem como hoje é conhecida progrediu no final do século XIX e realmente ganhou força nos últimos anos.(MACHADO, 1996)

Os métodos de soldagem por resistência, soldagem a gás e soldagem a arco, foram inventados antes da Primeira Guerra Mundial. Entretanto, durante o início do século XX, a soldagem a gás foi dominante. Apenas alguns anos depois, a soldagem elétrica obteve semelhante aceitação.(WEMAN, 2005)

Em 1801, Humphrey Davy criou um arco elétrico estável entre dois terminais, o que foi chamado de chama voltaica, e é o fundamento para realizar a soldagem a arco. Também conhecida como soldagem manual a arco elétrico (*Manual Metal Arc - MMA*). Desde então o processo da soldagem vem sendo desenvolvido cada vez mais e atualmente contamos com diversas técnicas de soldagem como, soldagem com eletrodo revestido, soldagem TIG, soldagem MIG/MAG, soldagem por resistência elétrica, soldagem com arame tubular, soldagem por arco submerso, soldagem plasma, soldagem por pressão, entre outras.(WEMAN, 2005)

3.1 SOLDAGEM COM ELETRODO REVESTIDO

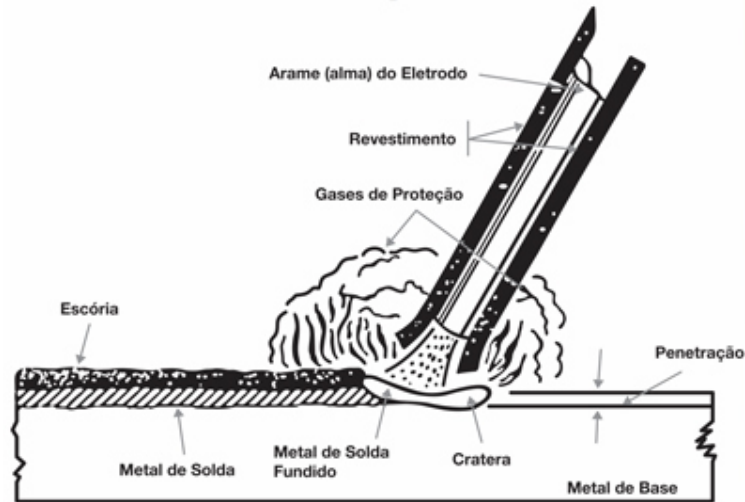
Por volta de 1907 a soldagem ainda era feita com o arame nu, o que gerava instabilidade no arco e interação da atmosfera com o metal fundido, o que acarretava a baixa qualidade da solda. Foi quando o sueco Oscar Kjellberg desenvolveu um eletrodo onde a alma era revestida por um material argiloso. Foi graças a extrema flexibilidade da técnica de eletrodo revestido que a soldagem se elevou a um dos mais importantes processos de fabricação. (MACHADO, 1996)

Na soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido (*Shielded Metal Arc Welding - SMAW*), o arco elétrico ocorre entre a extremidade do eletrodo revestido e a peça de trabalho. O calor gerado pelo arco elétrico faz com que o metal de base e a alma do eletrodo se fundam. Esta fusão ocorre quando gotas de metal fundido são transferidas através do arco para a poça de fusão, tal processo é protegido da atmosfera pelos gases produzidos durante a decomposição do revestimento, a parte líquida que se forma nessa decomposição é chamada escória, a qual escorre em direção à poça de fusão, para proteger o cordão de solda, durante sua solidificação. (ESAB, 2014). Na Figura 1 está esquematizado a soldagem por eletrodo revestido.

Este processo pode ser aplicado com a maioria das ligas metálicas, como aços baixo carbono, baixa liga, média liga e alta liga, aço inoxidável, ferro fundido, alumínio, cobre e níquel. Porém metais de baixo ponto de fusão como chumbo, estanho e zinco não são recomendados para essa técnica, pois a energia gerada pelo arco é muito intensa, bem como para metais muito

refratários ou muito reativos, como o titânio, zircônio, molibdênio e nióbio, por não oferecer proteção suficiente à reação aos gases da atmosfera.(MACHADO, 1996)

Figura 1 – Soldagem com Eletrodo Revestido.



Fonte – ESAB (2014)

Como todos os processos, a soldagem com eletrodo revestido possui suas vantagens e desvantagens. Entre as vantagens, pode-se citar o fato dela ser um processo de baixo investimento, a dispensa do suprimento de gases, as inúmeras aplicações e a grande diversidade de consumíveis. Já nas desvantagens estão sua baixa produtividade, a necessidade de cuidados específicos com os eletrodos e o grande volume de fumos gerados durante o processo. (ESAB, 2014)

3.2 REVESTIMENTO COM SOLDAGEM

O desgaste é definido pela norma ASTM G40-82 como: "dano a uma superfície sólida envolvendo uma perda progressiva de material devido à movimentação relativa entre a superfície e um ou vários materiais", tal norma também declara os tipos de desgaste sendo, abrasão, adesão, corrosão, erosão e cavitação.(WAINER; BRANDI; MELLO, 1992)

Os revestimentos surgiram então com a necessidade de se prevenir e recuperar desgastes em peças já prontas e também aquelas que seriam muito custosa para se fazer completamente do material com as propriedades necessárias à suas solicitações. Os revestimentos são camadas superficiais de um material com propriedades diferentes do metal de base.

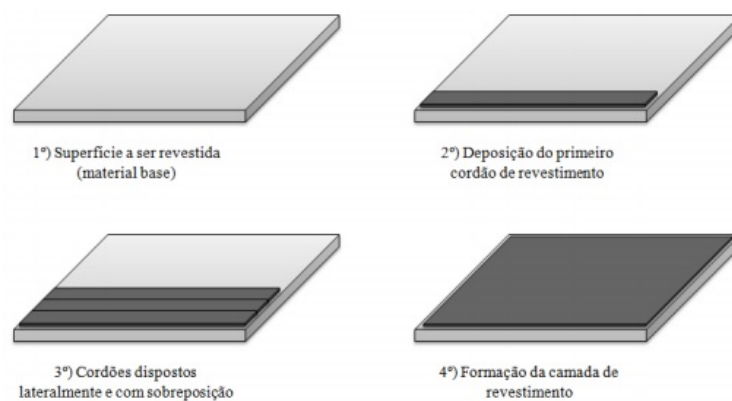
O escolha do processo a ser utilizado, depende de diversos fatores entre os mais importantes estão, versatilidade, custo, fator operacional, habilidade de operador, energia de soldagem, diluição, taxa de deposição, tamanho de peça, posição de soldagem, frequência de revestimento e tipo de liga. A composição química dos metais de adição associadas à microestrutura do de-

posito é o que determinará se as propriedades mecânicas estarão de acordo com o desejado. (WAINER; BRANDI; MELLO, 1992)

Deve-se tomar alguns cuidados no uso da soldagem de revestimento em relação à geometria da peça, desenvolvimento de trincas ou distorções a partir das tensões térmicas e a qualidade desejada do revestimento. A qualidade do material a ser depositado pode variar largamente, dependendo da aplicação, do material utilizado e da habilidade do soldador.

Sendo assim, o revestimento por soldagem é formado através da sobreposição lateral, em um dado nível, dos cordões cobrindo toda a região de interesse com ilustrado na Figura 2. O nível da sobreposição é escolhido considerando a aplicação do revestimento e do processo de soldagem empregado.

Figura 2 – Princípio de operação da soldagem de revestimento



Fonte – (GOMES, 2010)

A Figura 3 reúne exemplos reais de como ficam o revestimentos feitos através dos processos de soldagem.

Na Figura 4 está representado um cordão de solda de revestimento, onde W é a largura, R o reforço, P a penetração, A a área do reforço e B a área da penetração.

Os aços inoxidáveis austeníticos são considerados um dos que possuem maior resistência à corrosão em meios ambientes industriais ou meios ácidos, mantendo a superfície brilhante e quase isenta de produtos de corrosão generalizada.

Em temperaturas mais elevadas ou ácidos mais fortes, os elementos de liga devem ser acionados em maiores teores. Por exemplo, a adição de molibdênio acima de 2% eleva a resistência à corrosão localizada. Aumentando os teores de níquel e molibdênio pode-se utilizar em meios mais agressivos, que possuem um teor de cloretos mais elevado. É fundamental a manutenção, durante a fase de fabricação, nos aços de baixos teores de inclusões.

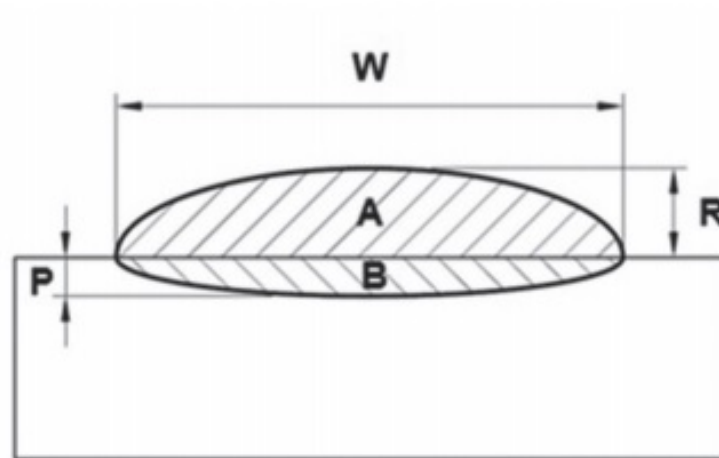
Quando se trata da corrosão intergranular é essencial considerar e evitar a denominada temperatura de sensibilização (600 a 870 °C). A liga quando recozida para solubilização deve ser resfriada rapidamente para evitar a sensibilização e assim torna-se mais resistente a esse tipo de corrosão.

Figura 3 – Exemplos de camadas de revestimento



Fonte – (GOMES, 2010)

Figura 4 – Geometria típica de uma solda simples



Fonte – (GOMES *et al.*, 2011)

O efeito a sensibilização pode ser reduzido através a redução do teor de carbono. Outra forma de aumentar a resistência à corrosão intergranular é com a adição de nióbio ou titânio, produzindo um aço "estável".

Grande parte dos aços são suscetíveis a corrosão sob tensão, em especial as soluções contendo cloretos com pH 2 a 10, e sujeitos a temperaturas acima de 300°C, os aços que possuem níquel acima de 30%, são praticamente imunes a este tipo de corrosão.

Os aços que são resistentes a corrosão localizada, também são a corrosão por frestas, em sua maioria.

A corrosão galvânica depende da natureza do outro metal que se está em contato, e

também da condição em que se encontra o meio líquido, que pode ser passivada, ou ativada. (TEBECHERANI, 2016)

3.3 ENSAIOS MECÂNICOS

Cada material possui várias propriedades mecânicas distintas, tais propriedades são extremamente necessárias ao projeto de peças e componentes, a fim de evitar falhas em serviço e também baratear sua produção. Para se obter essas propriedades é necessário efetuar ensaios meticulosamente programados, com o intuito de ser fiel às condições em serviço.

As normas para a realização dos ensaios normalmente são estabelecidas por sociedades profissionais, como a Sociedade Americana para Ensaios e Materiais (*ASTM – American Society for Testing and Materials*).

Uma forma de dividir os ensaios é em ensaios destrutivos e ensaios não destrutivos. Assim como o nome sugere os ensaios destrutivos são aqueles que destroem o corpo a ser ensaiado e por isso deve ser feito em corpos de prova, alguns exemplos desse tipo são ensaio de tração, de compressão, de impacto, de dureza. Os ensaios não destrutivos podem ser realizados em peças acabadas, pois eles não resultam em danos, são eles, ensaio de líquido penetrante, de raio-x, ultrassom entre outros. (SOUZA, 1982)

3.3.1 Dureza

A concepção da dureza é dada por vários significados, como a resistência do material à penetração, à deformação plástica permanente e ao desgaste. Pode-se verificar a dureza de um material por três métodos distintos, dureza de risco, dureza por rebote e dureza de penetração.

O ensaio de dureza por penetração é o mais usado no ramo mecânico. O ensaio consiste basicamente em comprimir um penetrador superfície do material ensaiado, gerando uma impressão no formato do penetrador. Existem alguns tipos de ensaio de dureza, Brinell, Rockwell e Vickers são exemplos, o que diferencia um dos outros é o material e a geometria de seu penetrador e também a forma como é calculada a dureza. Na dureza Brinell é utilizada uma esfera de aço temperado ou de carboneto de tungstênio e seu valor é dado pela relação entre a carga aplicada e a área da calota esférica. Na dureza Vickers o penetrador é uma pirâmide de diamante de base quadrada e com um ângulo de 136° entre faces opostas e para determinar seu valor relaciona-se a carga aplicada com a área superficial da impressão. Na dureza Rockwell o penetrador pode ser uma ponta de diamante cônico com ângulo de 120° e ligeiramente arredondada ou uma esfera de aço endurecido, com diâmetros que variam de 1,59 mm até 12,70 mm, a medida de dureza é baseada na profundidade de impressão causada por um penetrador sob a ação de uma carga. O penetrador é escolhido de acordo com o material a ser ensaiado. (SOUZA, 1982)

4 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Em todos os experimentos foram depositados, através do processo de soldagem por eletrodo revestido, 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 granalha, antes da soldagem.

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 308L (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 Química do Eletrodo E308L-17

Componente	Porcentagem
C	0,10
Si	0,60
Mn	1,5
Cr	25
Ni	20

Fonte – (ESAB, 2016).

4.1 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Para a realização dos passes de solda foi utilizada o Equipamento de soldagem por eletrodo revestido Bambozzi Piccola 400T, mostrado na Figura 5 que tem as seguintes características: fonte trifásica, com amperagem máxima de 400 A, ciclo de trabalho de 30%, e regulagem de 40 a 400A.

Além da fonte de soldagem também foram utilizados alicates para a fixação dos eletrodos, suporte para deixar a peça com angulação de 20°, equipamentos de proteção individual e para remoção de escórias.

Figura 5 – Equipamento de soldagem por eletrodo revestido



Fonte – Autorial Própria

Foi também utilizada na pesagem dos corpos de prova uma balança semi-analítica marca Shimadzu, modelo BL3200H, com medição entre 0,5 e 3200g e precisão de 0,01g.

Para a metalografia das amostras foram empregados uma serra de fita horizontal (modelo - Franho FM-335), uma poliacorte (modelo - Arotec COR-40), uma embutidora metalográfica (modelo - TERMOPRESS 2), uma lixadeira rotativa (modelo - Arotec APL-4D), uma politriz Struers (modelo DP-10) e um durômetro Rockwell Pantec (modelo RBS-M).

4.2 METODOLOGIA

A metodologia foi dividida em quatro etapas.

- A primeira consistiu em pesar os corpos de prova e os eletrodos que seriam utilizados.
- Na segunda foi realizada a solda, variando corrente e angulação de acordo com a Tabela 6.

- A terceira compreendeu na preparação das peças para metalografia e microdureza.
- Na quarta etapa foram realizadas fotos das amostras e o ensaio de Dureza Rockwell.

4.2.1 Etapa 1

Após o jateamento e identificação dos corpos de prova de Aço SAE 1020 ocorreu a pesagem, utilizando balança de precisão, dos mesmos, os valores em gramas se encontram na Tabela 3.

Tabela 3 – Massa dos corpos de prova

Corpos de prova	Massas (g)
CP J01	369,29
CP J02	363,57
CP J03	368,63
CP J04	365,95

Fonte – Autoria Própria

Ocorreu também a pesagem dos Eletrodos, os valores se encontram na Tabela 4.

Tabela 4 – Massa dos Eletrodos

Eletrodos	Massas (g)
E J01	19,20
E J02	19,28
E J03	19,25
E J04	19,20

Fonte – Autoria Própria

4.2.2 Etapa 2

Através do processo de soldagem por eletrodo revestido foi depositado apenas um cordão de solda no corpo de prova.

4.2.2.1 Parâmetros

O cordão de solda foi depositado na peça e o ângulo foi alterado no sentido longitudinal. As variáveis e seus níveis são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros variados e seus níveis

Parâmetro	Unidade	Notação	Níveis	
			-1	+1
Corrente	Amperes (A)	C	45	65
Angulação	Graus(°)	G	0	20

Fonte – Aatoria Própria

A combinação de tais parâmetros será feita de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6 – Combinação dos parâmetros variados

Corpo de Prova	Corrente (A)	Angulação (°)
CP J01	45	20
CP J02	45	0
CP J03	65	20
CP J04	65	0

Fonte – Aatoria Própria

Após os revestimentos prontos e resfriados naturalmente foi feita a limpeza e pesagem dos Corpos de Prova.

4.2.3 Etapa 3

Com o auxílio da serra de fita e do cortador policorte os corpos de prova foram fracionados, de modo que coubessem na embutidora. Tais frações foram então embutidas em Baquelite para facilitar seu manuseio e cada amostra foi então lixada com lixas que iam de 80 até 1500 mesh de granulação. Após o lixamento as peças foram polidas com Alumina . Em seguida realizou-se o ataque químico, Nital (4% de ácido nítrico e 96% álcool etílico) por cinco segundos, para revelar suas fases.

4.2.4 Etapa 4

Tirou-se fotos das amostras individualmente, utilizando o microscópio modelo Dino-Lite, para análise do perfil metalográfico das soldas mostrado na Figura 6. Nesta etapa também foram realizadas as medidas de durezas Rockwell B, com penetrador de esfera em aço endurecido, com diâmetro de $1,5875 \text{ mm}$ ou $\frac{1}{16}$ ". A pré carga utilizada foi de 10 kgf e a carga 100 kgf. As durezas foram realizadas no material de base, na ZTA (Zona Termicamente Afetada) e no cordão de solda.

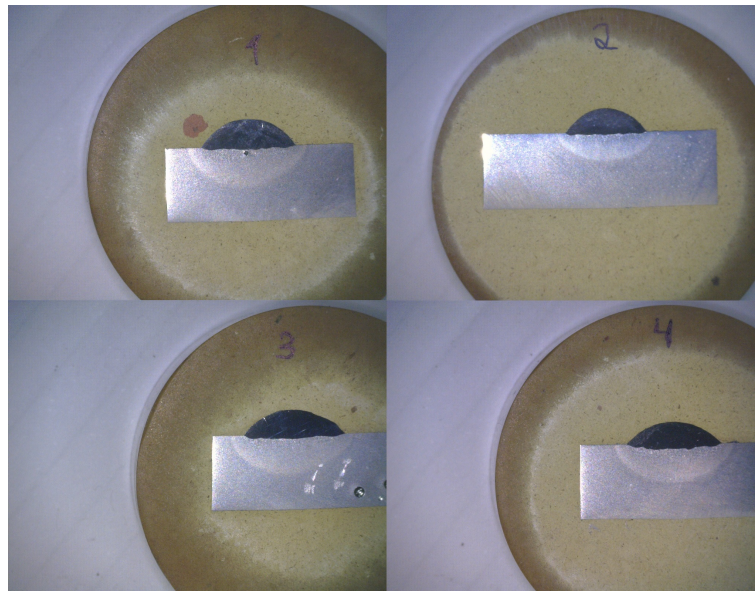
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste item 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).

5.1 ANÁLISE MACROGRÁFICA

Na Figura 6 observa-se as amostras prontas para a análise macrográfica.

Figura 6 – Amostras prontas para análises

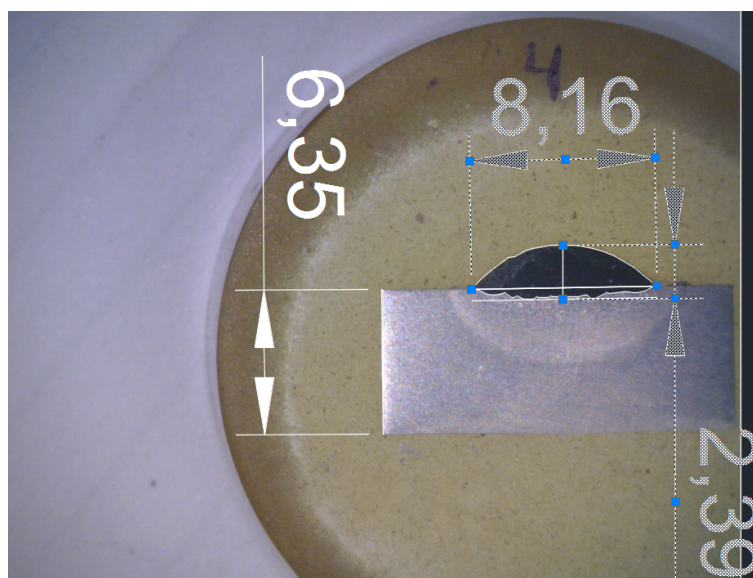


Fonte – Autoria própria

Para realizar a análise do perfil metalográfico foi utilizada o software AUTOCAD foi possível definir os valores de geometria dos cordões em que as áreas e dimensões são ajustadas através de fotos e utilizando como referência a espessura da placa que é de 6,35mm. A Figura 7 abaixo apresenta um exemplo das medições executadas.

5.2 ANÁLISE DA DEPOSIÇÃO

A Tabela 7 abaixo apresenta os resultados da massa depositada em cada ensaio, observamos que tanto quando 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

Figura 7 – Avaliação do perfil metalográfico

Fonte – Autoria própria

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)

Tabela 7 – Massas obtidas

Peças	J01	J02	J03	J04
Ângulo (graus)	20	0	20	0
Corrente (A)	45	45	65	65
Peso da peça antes de soldar	369,29	363,57	368,63	365,95
Peso da peça soldada	378,21	373,20	377,89	375,62
Material Depositado	8,92	9,63	9,26	9,67

Fonte – Autoria Própria

A Tabela 8 apresenta os resultados da morfologia do cordão de solda (largura, reforço, penetração, diluição e material depositado). Observamos que com o aumento da corrente houve um crescimento da largura, penetração 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). O reforço diminuiu com o aumento da corrente, devido a parte do metal fundido ter se deslocado para a largura e penetração. Quando o ângulo da peça foi variado de 0 para 20 graus a largura e o reforço aumentaram, e a penetração e diluição diminuíram. Este fato possivelmente se deva devido à ação da gravidade na poça de fusão, fazendo com que gota tivesse um comportamento não esperado, diminuindo a penetração e diluição.

Para uma melhor compreensão das Tabelas 7 e 4 os resultados foram transformados nas Figuras 8 a 12. Na Figura 8 da largura a mesma cresceu com o aumento da corrente, efeito este

Tabela 8 – Dimensões do cordão de solda

Amostras	CP J01	CP J02	CP J03	CP J04
Ângulo (graus)	20	0	20	0
Corrente (A)	45	45	65	65
Altura (mm)	2,62	2,25	2,46	2,39
Largura(mm)	8,08	6,94	8,61	8,16
Penetração(mm)	0,28	0,22	0,36	0,51
Reforço(mm)	2,43	2,03	2,10	1,88
Área do Metal de adição(mm^2)	1,52	1,02	2,11	2,55
Área do Metal de base(mm^2)	13,43	9,59	12,67	10,48
Soma das áreas (mm^2)	14,95	10,61	14,78	13,03
Diluição (%)	10	10	14	20

Fonte – Autoria Própria

esperado devido ao crescimento da energia de soldagem, com o aumento do ângulo da peça a largura também cresceu, sendo que este fato se deva possivelmente pela ação da gravidade na poça de fusão.

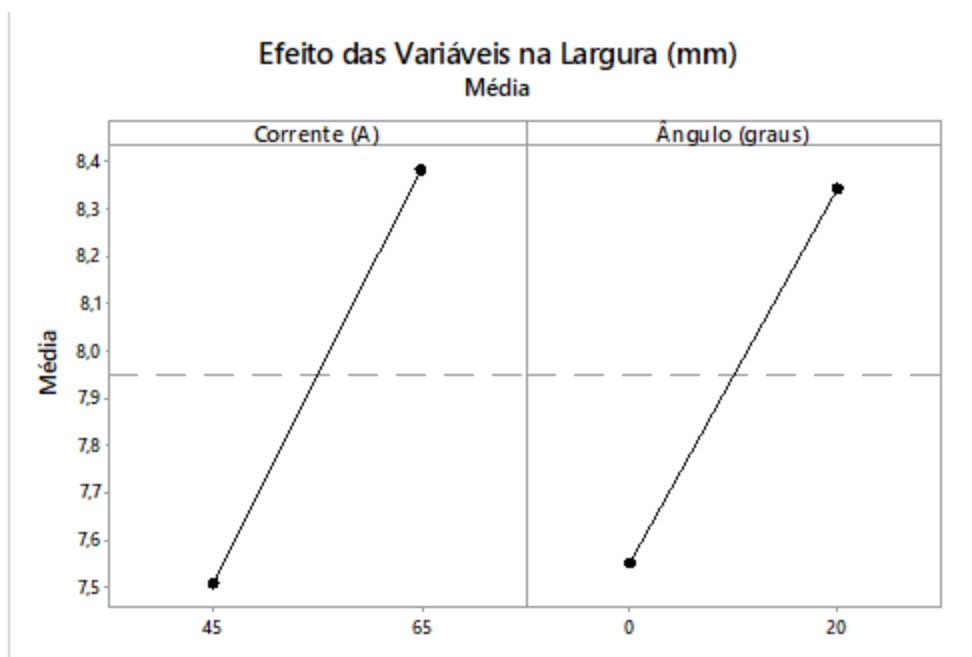
Na Figura 9 da penetração o reforço o comportamento da corrente de soldagem e do ângulo de inclinação da peça são inversos, ou seja, com o aumento da corrente a penetração aumentou, e com o crescimento do ângulo da peça a mesma diminuiu. O crescimento da penetração com o aumento da corrente era esperado, devido ao maior calor gerado por efeito Joule na ponta do eletrodo. Com o aumento do ângulo da peça, a penetração diminuiu, possivelmente devido a ação da força da gravidade. A diluição teve o mesmo comportamento da penetração, de acordo com a Figura 11, e as justificativas são as mesmas.

Os resultados do reforço na Figura 10 mostram que com o aumento da corrente o mesmo diminuiu e situação inversa com o aumento do ângulo da peça. Quando o crescimento da corrente o reforço diminuiu, pois houve uma maior penetração na peça, e com o aumento do ângulo de soldagem o reforço cresceu, possivelmente também devido a força da gravidade durante a solidificação da poça de fusão.

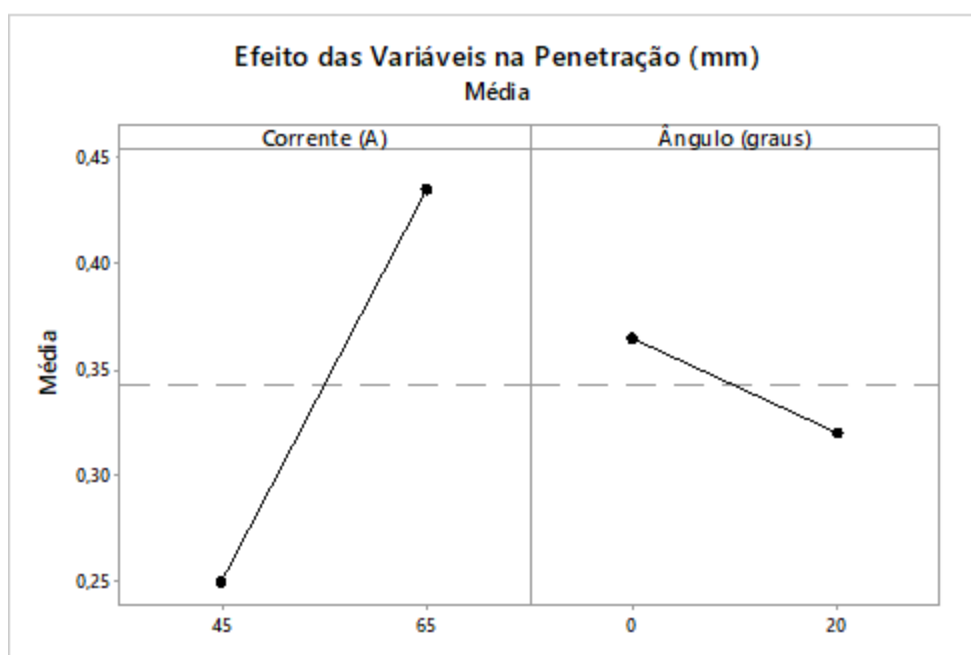
5.3 ANÁLISE DE DUREZA

Os valores de Dureza Rockwell B obtidos estão apresentados na Tabela 9.

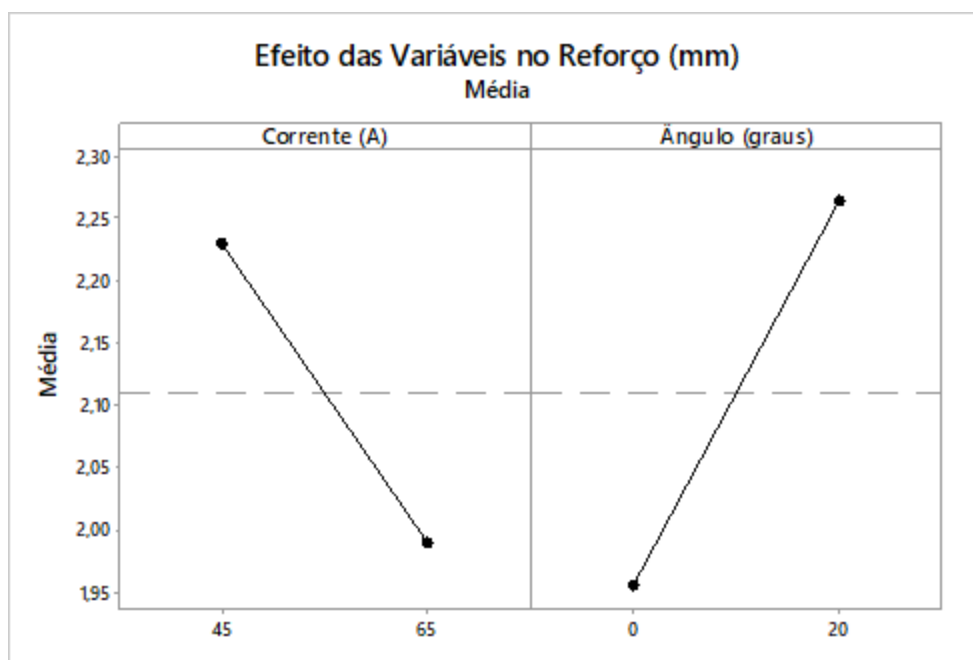
Os resultados são apresentados graficamente na Figura 13 e nela é possível identificar as durezas em cada região de soldagem.

Figura 8 – Efeitos da variáveis na largura

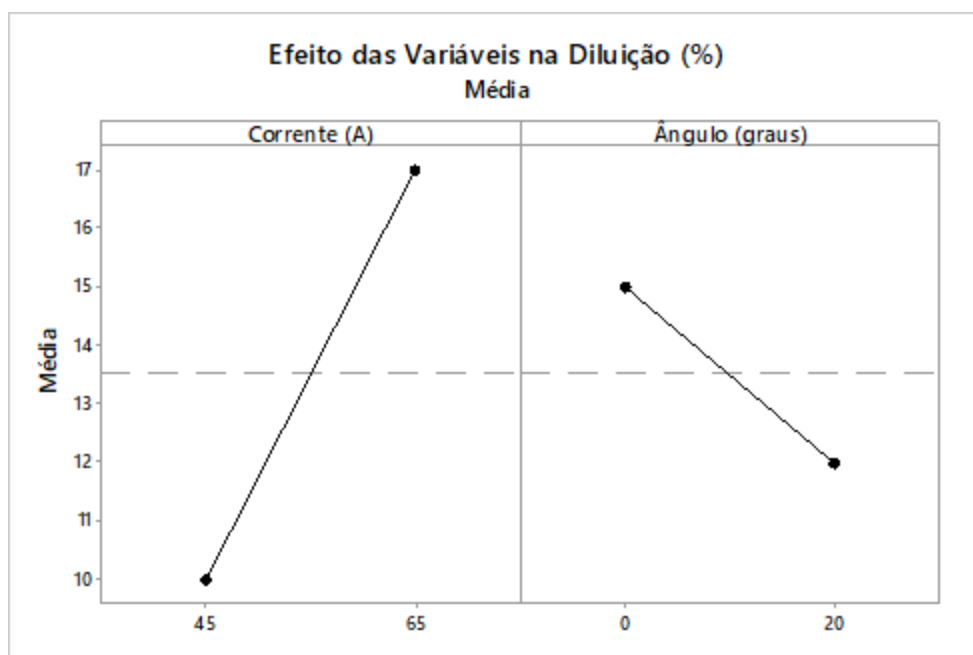
Fonte – Autoria própria

Figura 9 – Efeitos da variáveis na penetração

Fonte – Autoria própria

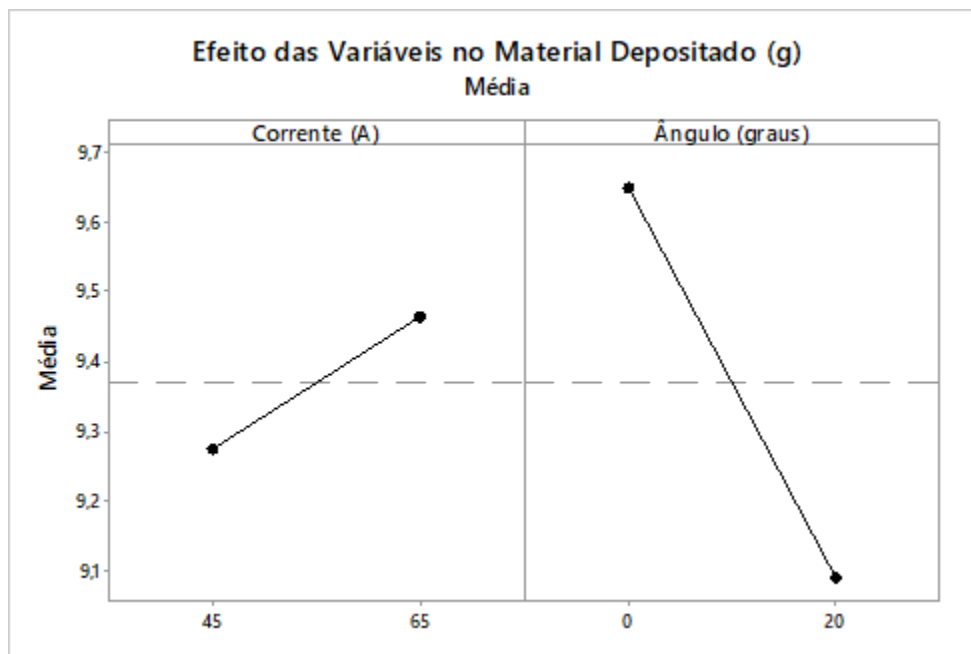
Figura 10 – Efeitos da variáveis no reforço

Fonte – Autoria própria

Figura 11 – Efeitos da variáveis na diluição

Fonte – Autoria própria

Figura 12 – Efeitos da variáveis no material depositado



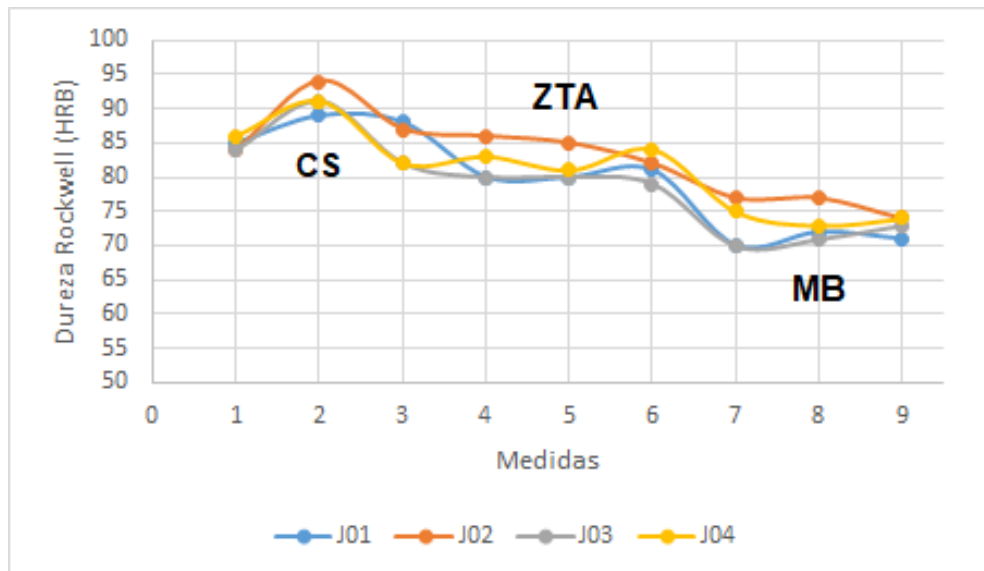
Fonte – Autoria própria

Tabela 9 – Valores de Dureza Obtidos

		20	0	20	0
		45	45	65	65
Medida	Região	CP J01	CP J02	CP J03	CP J04
1	Cordão de Solda	85 HRB	84 HRB	84 HRB	86 HRB
2	Cordão de Solda	89 HRB	94 HRB	91 HRB	91 HRB
3	Cordão de Solda	88 HRB	87 HRB	82 HRB	82 HRB
4	ZTA	80 HRB	86 HRB	80 HRB	83 HRB
5	ZTA	80 HRB	85 HRB	80 HRB	81 HRB
6	ZTA	81 HRB	82 HRB	79 HRB	84 HRB
7	Metal de Base	70 HRB	77 HRB	70 HRB	75 HRB
8	Metal de Base	72 HRB	77 HRB	71 HRB	73 HRB
9	Metal de Base	71 HRB	74 HRB	73 HRB	74 HRB

Fonte – Autoria Própria

Figura 13 – Gráfico de durezas



Fonte – Autoria própria

6 CONCLUSÃO

Sendo os objetivos neste trabalho determinar a morfologia do cordão de solda na soldagem de revestimento do eletrodo 308L, variando a corrente e a inclinação dos corpos de prova na soldagem, e com os resultados obtidos nos ensaios realizados é possível concluir que:

- O aumento da corrente de soldagem proporcionou o crescimento da largura, penetração e diluição, porém diminuiu o reforço.
- O crescimento do ângulo de soldagem de 0 para 20 graus, aumentou a largura e o reforço, porém diminuiu a penetração e a diluição.
- A quantidade de metal depositado e o reforço diminuíram com o aumento da corrente e da inclinação da peça;
- Os resultados de dureza estão de acordo com a literatura encontrada.
- Assim pode-se definir que a melhor combinação é 45A de corrente e 0° de angulação.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

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

BRANDIM, A. S.; ALCÂNTARA, N. G.; PARANHOS, R.; **Diluição em Soldas de Revestimento Duro Utilizando o Processo de Soldagem a Arco Submerso**. In: XXV Encontro Nacional de Tecnologia da Soldagem, set. 1999, Belo Horizonte.

D'OLIVEIRA, A. S. C. M; SLURD, R; VILAR.; **Soldagem de Superfícies por Laser: A Importância do Substrato**. In: XXVI CONSOLDA - Congresso Nacional de Soldagem, set. 2000, Curitiba.

ESAB. **Processo de soldagem: Eletrodo revestido (mma/smaw)**. 2014. Disponível em: <http://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_eletrodo_revestido_mma_smaw.cfm>.

ESAB. **Apostila de Eletrodos Inoxidáveis**. 2016. Disponível em: <http://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901101rev0_apostila_eletrodosinoxidaveis_nova.pdf>.

GOMES, J. H. d. F. **Análise e otimização da soldagem de revestimento de chapas de aço ABNT 1020 com utilização de arame tubular inoxidável austenítico**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2010.

GOMES, J. H. d. F. *et al.* Otimização de múltiplos objetivos na soldagem de revestimento de chapas de aço carbono abnt 1020 utilizando arame tubular inoxidável austenítico. **Soldagem e Inspeção**, scielo, v. 16, p. 232 – 342, 09 2011. ISSN 0104-9224. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010492242011000300005&nrm=iso>.

MACHADO, I. G. **Soldagem e técnicas conexas: processos**. Porto Alegre: Ed. do Autor, 1996.

QUITES, A. M. **Introdução a soldagem a arco voltaico**. Florianópolis: Soldasoft, 2002.

SOUZA, S. A. d. **Ensaio mecânicos de materiais metálicos: fundamentos teóricos e práticos**. 5. ed. São Paulo, SP: E. Blücher, c1982. 286 p.

TEBECHERANI, C. d. T. P. **Aços Inoxidáveis**. 2016. Disponível em: <http://www.pipesystem.com.br/Artigos_Tecnicos/Aco_Inox/body_aco_inox.html>.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H. d. **Soldagem: processos e metalurgia**. São Paulo: Blucher, 1992.

WEMAN, K. Uma historia da soldagem. **Solução, Publicação institucional da ESAB Brasil**, ESAB, Abril, p. 30–33, 2005.