



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DAS ENGENHARIAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ROSEMARY KENIDA CORINGA SILVA

EFEITOS DA UMIDADE EM ELETRODO REVESTIDO BÁSICO E7018.

CARAÚBAS

2019

ROSEMARY KENIDA CORINGA SILVA

EFEITOS DA UMIDADE EM ELETRODO REVESTIDO BÁSICO E7018

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me. Rafael Bezerra Azevedo Mendes.

CARAÚBAS

2019

©Todos os direitos estão reservados à Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996, e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tornar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata, exceto as pesquisas que estejam vinculadas ao processo de patenteamento. Esta investigação será base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) seja devidamente citado e mencionado os seus créditos bibliográficos.

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas
da Universidade Federal Rural do Semi-Árido, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S586e Silva, Rosemary Kenida Coringa.
EFEITOS DA UMIDADE EM ELETRODO REVESTIDO
BÁSICO E7018. / Rosemary Kenida Coringa Silva. -
2019.
41 f. : il.

Orientador: Rafael Bezerra Azevedo Mendes.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2019.

1. soldagem. 2. microscopia. 3. teste de
dobramento. 4. dureza Vickers. 5.
descontinuidades. I. Mendes, Rafael Bezerra
Azevedo, orient. II. Título.

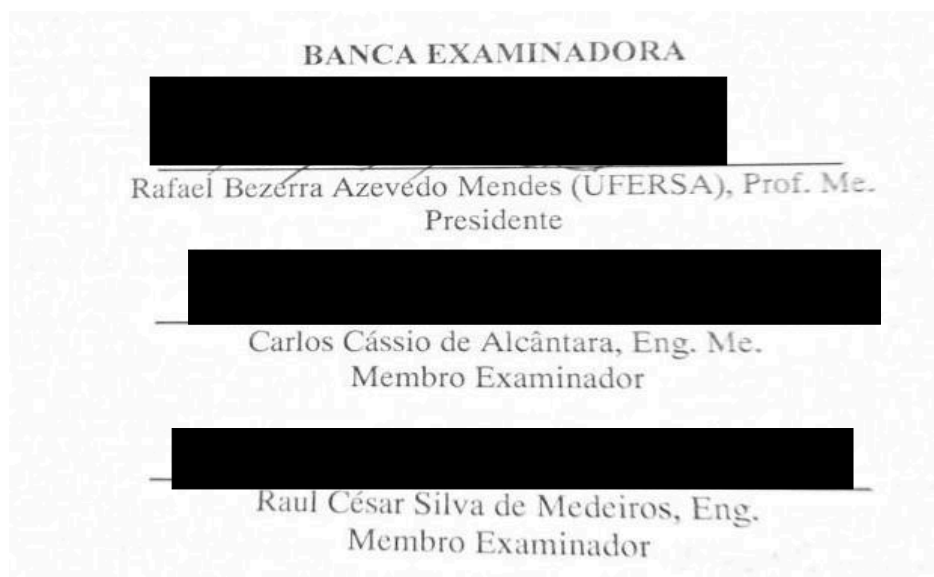
O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

ROSEMARY KENIDA CORINGA SILVA

EFEITOS DA UMIDADE EM ELETRODO REVESTIDO BÁSICO E7018

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Defendida em: 12 / 08 / 2019.



Dedico este trabalho aos meus pais.
A todos os estudantes da área, que de forma direta
ou indireta, possam utilizar as informações aqui levantadas em suas pesquisas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar, que sempre me deu forças para buscar o melhor desempenho no curso.

Aos meus pais, Maria José Inácio Coringa e Ivanaldo Fideles da Silva, que sempre estiveram ao meu lado nos momentos mais difíceis e mais felizes da minha vida.

A minha madrinha/prima Rafaela Coringa por todas as mensagens de conforto nas manhãs de desânimo.

A minha tia, Elione Inácio Coringa pelo incentivo e mensagens de encorajamento a toda hora.

Aos meus amigos que mesmo estando longe, sempre torceram pela minha conquista.

Aos meus colegas de curso pelo apoio dado em dias difíceis.

Ao professor orientador Rafael Mendes por todas as palavras de encorajamento, ensinamento, por todo auxílio necessário para elaboração do trabalho.

A todos que fazem a Engrenagem Jr, pelo apoio e vivência entre futuros profissionais.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

Quanto mais aumenta o nosso conhecimento,
mais a nossa ignorância se evidencia.

JOHN F. KENNED

RESUMO

Este trabalho descreve o processo de soldagem SMAW, com o objetivo de analisar a qualidade da solda com o eletrodo revestido E7018 e compará-lo quando mantido em estufa, molhado e exposto a um ambiente com umidade. Para a análise dos resultados, as amostras foram submetidas a ensaios visuais e mecânicos. As chapas de aço SAE 1020 foram validadas para o processo de soldagem e usinagem conforme as normas técnicas ISO 6507-1, ASTM E92-17, ASTM E190-92 e ASME IX. A soldagem dos corpos de prova passou por processo de identificação de descontinuidades pela microscopia óptica e qualificação da resistência mecânica através do ensaio de dureza Vickers e de dobramento lateral, de face e raiz. Os resultados foram analisados e verificados para que atendessem aos requisitos exigidos nas normas utilizadas, mostrando que a qualidade dos consumíveis pode influenciar diretamente o processo de soldagem. Após a análise desses ensaios, notou-se que as amostras com eletrodos úmidos apresentaram mais descontinuidades do que aqueles com os eletrodos secos.

Palavras-chave: soldagem, microscopia, teste de dobramento, dureza Vickers, descontinuidades.

ABSTRACT

This study describes the SMAW (Shielded Metal Arc Welding) process in order to evaluate the welding quality with the E7018 electrode, and also to compare them when kept in a drying oven, wet, and exposed to a humid environment. For the analysis of the results, the samples were submitted to visual and mechanical tests. The SAE 1020 steel plates were validated for the welding process in accordance with ISO 6507-1, ASTM E92-17, ASME IX, and ASTM E190-92 standards. The welding of the specimen underwent discontinuity identification by optical microscopy and mechanical strength qualification through the Vickers hardness test and various bend tests (side, face, and root). The results were analyzed and verified to meet the requirements of the standards used; it shows that the quality of consumables can directly influence the welding process. After analysis of these tests, it was noted that samples with wet electrodes presented more discontinuities than those with dry electrodes.

KEYWORDS: welding, optical microscopy, bend test, Vickers hardness, discontinuities.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Esquema básico de interligação do equipamento	13
Figura 2	– Esquema de soldagem com eletrodo revestido	17
Figura 3	– Coeficiente de difusão do hidrogênio em materiais ferríticos e austeníticos em função da temperatura	18
Figura 4	– (a) Representação da distribuição da temperatura máxima atingida na soldagem. (b) Diagrama de equilíbrio de fases Fe-C com a indicação do efeito das temperaturas máximas na soldagem	19
Figura 5	– Esquematização do ensaio de dobramento a) e b) dobramento guiado, c) ângulo final do corpo de prova após o ensaio	20
Figura 6	– Representação do ensaio de dureza Vickers realizado nos corpos de prova.....	21
Figura 7	– Fluxograma adotado para mostrar as etapas de avaliação do trabalho	22
Figura 8	– Representação das chapas pós usinagem dos corpos de prova, na vista e longitudinal.....	23
Figura 9	– Chapas de aço simetricamente alinhadas para formação do corpo de prova ..	23
Figura 10	– Esquematização da sequência de passes	24
Figura 11	– Equipamento usado para a soldagem	24
Figura 12	– Corpos de prova usinados prontos para realizar o ensaio de dobramento. (a) Soldagem feita com eletrodos em estufa;(b) Soldagem feita com eletrodos exposto ao ambiente; (c) Soldagem feita com eletrodo molhado.....	25
Figura 13	– Sequência do ensaio de dobramento realizado nos corpos de prova e angulação final do corpo de prova após passar pelo processo de dobramento	26
Figura 14	– Equipamento usado para metalografia dos corpos de prova, (a) politriz e (b) manual	27
Figura 15	– Durômetro usado no ensaio de Dureza Vichers	28
Figura 16	– Representação dos pontos onde foram realizadas as medidas de dureza	28
Figura 17	– Microscópio Metalográfico	29

Figura 18	– Descontinuidades nos corpos de prova encontradas durante o processo de soldagem: (a) eletrodo em estufa; (b) eletrodo em condições ambiente; e (c) eletrodo molhado	27
Figura 19	– Perfis de dureza Vs localização das endentações no plano transversal da solda.....	28
Figura 20	– Microestrutura na região da zona fundida nos três corpos de prova da solda feita com os eletrodos em estufa	30
Figura 21	– Microestrutura na região da zona fundida nos três corpos de prova da solda feita com os eletrodos molhados	31
Figura 22	– Microestrutura na região da zona fundida nos três corpos de prova da solda feita com os eletrodos expostos ao ambiente.....	31
Figura 23	– Resultado do ensaio de dobramento lateral em soldagem com eletrodo exposto ao ambiente	32
Figura 24	– Resultado do ensaio de dobramento face e raiz em soldagem com eletrodo exposto ao ambiente	33
Figura 25	– Resultado do ensaio de dobramento lateral em soldagem com eletrodo em estufa	34
Figura 26	– Resultado do ensaio de dobramento face e raiz em soldagem com eletrodo em estufa	34
Figura 27	– Resultado do ensaio de dobramento lateral em soldagem com eletrodo molhado	35
Figura 28	– Resultado do ensaio de dobramento face e raiz em soldagem com eletrodo molhado	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	–	Dados obtidos através do ensaio visual durante o processo de soldagem dos	
		Corpos de prova	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	American Petroleum Institute
Al ₂ O ₃	Óxido de alumínio
ASTM	American Society for Testing and Materials
ASME	American Society of Mechanical Engineers
AWS	American Welding Society
CST	Centro de Soldadura TIG
CO ₂	Dióxido de Carbono
ESAB	Elektriska Svetsnings Aktie Bolaget
HV	Hardness Vickers
ISO	International Organization for Standardization
SAE	Society of Automotive Engineers
SMAW	Shielded Metal Arc Welding
TiO ₂	Dióxido de Titânio
Vs	Versus
ZAC	Zona Afetada pelo Calor
ZTA	Zona Termicamente Afetada
ZF	Zona Fundida

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	A Soldagem a arco com eletrodo revestido (SMAW)	13
2.2	Eletrodo de baixo Hidrogênio e seu revestimento	15
2.3	Comportamento do Hidrogênio no aço	16
2.4	Caracterização da junta soldada	17
2.5	Metalografia	17
2.6	Ensaio Mecânicos	18
2.6.1	Dobramento	18
2.6.2	Dureza Vickers	19
3	METODOLOGIA	19
3.1	Usinagem das chapas	20
3.2	Soldagem dos corpos de prova e controle visual de solda	21
3.3	Usinagem dos corpos de prova de soldagem para ensaios destrutivos ...	23
3.4	Realização do ensaio destrutivo de dobramento	24
3.5	Realização do ensaio de dureza Vickers	25
3.6	Micrografia	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1	Ensaio Visual	27
4.2	Dureza Vickers	29
4.3	Microscopia óptica	30
4.4	Ensaio destrutivo de dobramento	32
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	36
	REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

A soldagem com eletrodo revestido é um processo que ocorre com arco elétrico, no qual a união é produzida pelo calor do arco criado entre o eletrodo revestido e o metal de base. Assim como em vários países, no Brasil este processo é o mais utilizado mesmo não sendo considerado o mais eficiente, porém a facilidade de treinamento, o custo e a simplicidade do processo favorecem a aplicação em várias situações (KIEFER, 1996).

A função do eletrodo revestido é proteger o metal da solda e garantir que o material esteja íntegro, livre de bolhas de gás e que tenha maior resistência e ductilidade. A composição desse revestimento é dada através de um balanceamento de certos ingredientes livres de hidrogênio. O balanço adequado desses ingredientes é crítico para a integridade que pode ser obtida para o metal de solda (MARQUES & MODENESI, 2000).

As trincas induzidas pelo hidrogênio são um dos mais sérios problemas metalúrgicos na soldagem de aços, essas se formam a partir de concentradores de tensões, como na margem ou na raiz de solda. Esse mecanismo ocorre porque o hidrogênio, da umidade da atmosfera ou de alguma matéria orgânica, é absorvido pela poça de fusão (MARQUES, MODENESI, & BRACARENSE, 2013).

Com o intuito de evitar a contaminação por umidade e formação de hidrogênio durante a soldagem a produção dos eletrodos básicos passam por processos mais longos comparados a outros eletrodos, isto para evitar umidade no revestimento (TECCO, 2004). Revestimentos básicos têm elevadas quantidades de carbonato de cálcio e fluorita e possui escória básica e pouco abundante, podendo chegar a 5 ml por cada 100 g de metal de solda depositado com secagem e conservação apropriados (VEIGA, 2011).

A segunda forma de controle do hidrogênio está ligada ao modo em que ele é armazenado. Respeitando ao critério de que não absorvam umidade do ambiente. Também é importante controlar a limpeza da superfície do aço, isto é, que esteja livre de contaminação por ferrugem, óleos, graxas e tintas (BUSCHINELLI, 2019).

Todos os tipos de revestimentos de eletrodos são higroscópicos, uns mais que outros. A umidade pode ser absorvida em função do grau higrométrica do ar, da diferença de temperatura existente entre o ambiente de armazenagem e o meio externo e da natureza do revestimento, traduzindo-se tais fatores na quantidade de água retida por cada revestimento. Se deixados expostos ao ar, a umidade absorvida se recombina com os elementos do revestimento, tornando-os impróprios para o consumo, o que se traduz pelo aparecimento de porosidades, que causarão um cordão sujeito a fissuração (JUNIOR, 2003).

Os revestimentos são classificados em quatro grupos: celulósicos, rúflicos, ácidos e básicos. Os revestimentos dos eletrodos AWS E7018 e AWS E7018-1 são básicos e possuem em sua composição carbonato de cálcio ou calcita, fluorita, silicato de potássio e pó de ferro (SOUZA G. J., 2018).

A pesquisa realizada apresenta condições de armazenamento dos eletrodos revestidos, para analisar a solubilidade do hidrogênio, a fim de investigar as interferências na microestrutura causada pela umidade, em ensaios distintos, quando utilizado seguindo recomendações do fabricante, exposto ao meio ambiente com umidade conhecida (70%) e o eletrodo totalmente úmido ou molhado. Após realizar tais os procedimentos, através de ensaios mecânicos é dada a qualidade da solda.

Os fatores que motivaram o presente trabalho fundamentam-se em saber no que interfere a umidade do eletrodo na soldagem de acordo com o tempo de exposição a atmosfera ambiente, já que é danoso para a qualidade da solda e, com base nas análises observar os parâmetros de maior relevância nas propriedades mecânicas e na microestrutura.

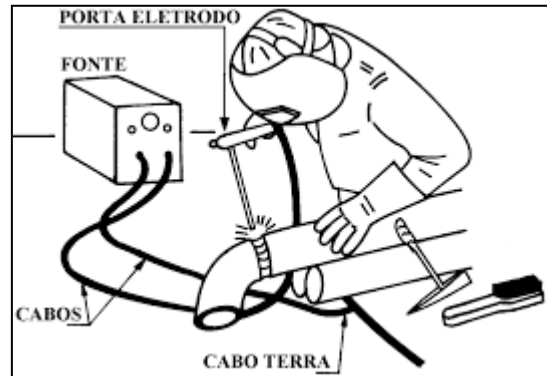
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A soldagem a arco com eletrodo revestido (SMAW)

A soldagem a arco com eletrodo revestido (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 (MARQUES, MODENESI, & BRACARENSE, 2013).

Para a formação do arco o eletrodo é fixado em uma base que será ligada a um terminal de uma fonte, enquanto a peça estará ligada ao outro terminal desta mesma fonte (Figura 1). O eletrodo revestido consiste em uma vareta metálica, chamada “alma”, que conduz a 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 feito de material não metálico, quando no processo de soldagem, tanto a alma do eletrodo quanto o revestimento são afetados pelo calor, de maneira que ocorre a fusão dos dois, além da evaporação do revestimento (SOUZA apud MODENESI, 2017).

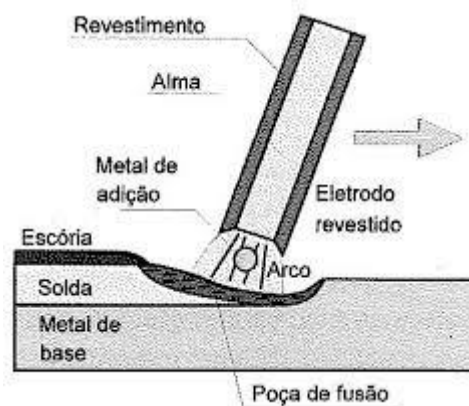
Figura 1: Esquema básico de interligação do equipamento.



Fonte: MARQUES, MODENESI, & BRACARENSE (2013).

A soldagem é realizada com o calor de um arco elétrico mantido entre a extremidade de um eletrodo metálico revestido e a peça de trabalho (Figura 2). O calor produzido pelo arco funde o metal de base, a alma metálica 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, protegendo-se o metal líquido de solda da atmosfera durante a solidificação (RAMOS, 2015).

Figura 2: Esquema de soldagem com eletrodo revestido.



Fonte: MARQUES, MODENESI, & BRACARENSE (2013).

O equipamento básico para a soldagem com eletrodo revestido possui uma das mais simples configurações possíveis, em comparação aos outros processos elétricos. Consiste de:

- fonte de energia;
- alicate para a fixação dos eletrodos;
- cabos de interligação;

- pinça de proteção individual; e
- equipamento para a limpeza da solda.

Os eletrodos revestidos podem operar com corrente contínua ou alternada, dependendo do tipo de revestimento. O uso de corrente contínua é normalmente associado à melhor estabilidade de arco e qualidade de depósitos, em detrimento da suscetibilidade ao sopro magnético. O uso de corrente alternada reduz essa suscetibilidade, mas a estabilidade de arco e a facilidade de ignição são inferiores (TECCO, 2004).

2.2 Eletrodo de baixo hidrogênio e seu revestimento

Os revestimentos consistem em misturas de compostos minerais ou orgânicos, às quais são adicionados, como aglomerantes, outros compostos com finalidades específicas. Os efeitos de cada constituinte podem ser alterados na presença de outros, devido a interação entre eles, e a composição e qualidade das matérias primas podem variar substancialmente, dependendo do fornecimento e processamento. São quatro os principais grupos de revestimento de eletrodos para soldagem dos aços baixa e média liga: celulósico, rutílico, ácido e básico (TECCO, 2004).

Eletrodos básicos possuem quantidades apreciáveis de carbonatos (de cálcio e outros elementos) e de fluorita, formam uma escória básica que, juntamente com o CO₂ gerado da decomposição dos carbonatos, protege o metal líquido. Esta escória exerce uma ação metalúrgica benéfica sobre a solda, dessulfurando-a e reduzindo o risco de formação de trincas de solidificação este tipo de eletrodo é altamente higroscópico, requerendo cuidados especiais na sua armazenagem (MARQUES & MODENESI, 2000).

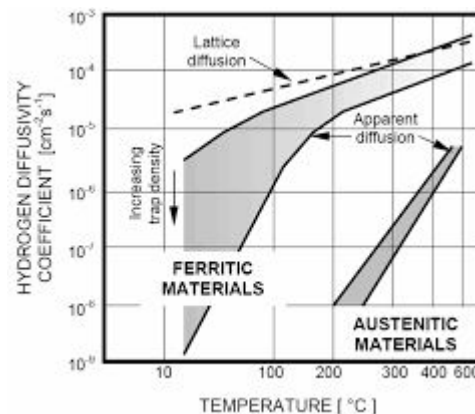
Eletrodos oxidantes constituídos de óxido de ferro e manganês, produzem escória oxidante, abundante e de fácil remoção. O metal depositado possui baixo teor de carbono e manganês, e propriedades inadequadas para aplicações de responsabilidade, embora apresente muito boa aparência; eletrodos ácidos constituídos de óxido de ferro, manganês e sílica, produz escória ácida abundante e porosa, de fácil remoção. Boas propriedades para inúmeras aplicações, porém baixa resistência à formação de trincas. A aparência do cordão é muito boa; eletrodos rutilicos constituído também por rutilo (TiO₂), produz uma escória abundante, densa e de fácil remoção. Produção de um cordão de bom aspecto, média ou baixa penetração. Baixa resistência à fissuração a quente; e, eletrodos celulósicos constituído de elevada quantidade de material orgânico, gera grandes quantidades de gases que protegem o metal líquido. Produz pouca escória, porém, grande volume de respingos e alta penetração (CHEDE, FERRUCIO, & FURUKAWA, 2013).

2.3 Comportamento do Hidrogênio no aço

A presença de hidrogênio pode advir de diversas fontes que podem estar presentes durante a soldagem e para haver o controle do teor desse elemento no metal de solda é preciso levar em conta algumas precauções. As principais fontes de hidrogênio são: decomposição de soluções orgânicas que possam estar presentes na peça, como graxas, produtos de decomposição de eletrodos e principalmente umidade que pode estar presente na superfície da peça, no gás de proteção, no revestimento do eletrodo e no fluxo (SOUZA C. L., 2017).

Quando se esperam baixos níveis de hidrogênio, como é o caso do uso de eletrodos e fluxos básicos, a contribuição da umidade da atmosfera pode se tornar significativa. Por exemplo, soldar num ambiente quente e úmido pode elevar o nível de hidrogênio significativamente (em 1 ou 2 ml/100g) em comparação com a soldagem em clima seco. O ferro no estado líquido tem uma alta solubilidade para o hidrogênio. Ela diminui gradativamente à medida que a temperatura diminui, e apresenta uma queda brusca quando o aço solidifica. Para entender como o hidrogênio difunde e escapa do aço durante o resfriamento, é necessário antes conhecer como o coeficiente de difusão do hidrogênio no aço varia com a temperatura (Figura 3) (BUSCHINELLI, 2019).

Figura 3: Coeficiente de difusão do hidrogênio em materiais ferríticos e austeníticos em função da temperatura.



Fonte: ABM Proceedings, 2016.

O hidrogênio interage com a maioria dos metais por uma série de mecanismos, resultando em modificações das propriedades mecânicas que levam a fraturas frágeis e altamente danosas. Os problemas relacionados com a presença do hidrogênio, são conhecidos há muito tempo, mas aumentaram nos últimos anos, principalmente em relação aos aços, com a utilização intensiva de estruturas soldadas e de aços de alta resistência mecânica (BALLESTEROS, 2009).

2.4 Caracterização da Junta Soldada

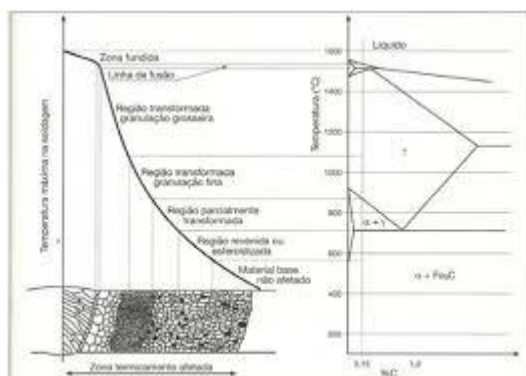
As propriedades mecânicas da junta soldada são resultantes de um conjunto de variáveis, os possíveis defeitos gerados na solidificação do metal de solda, ou falhas no procedimento poderão alterar a resistência da junta soldada. Detalhes do perfil da solda e descontinuidades que atuam comumente como concentradores de tensão incluem a região de concordância do reforço com a superfície do metal base, os respingos, mordeduras, trincas e falta de penetração (BALLESTEROS, 2009).

2.5 Metalografia

Segundo Colpaert, a avaliação metalográfica de um produto siderúrgico é realizada com um dos seguintes objetivos: medir alguma característica micro ou macroestrutural; testar uma hipótese relacionada ao comportamento ou desempenho de um item; e, investigar as eventuais causas estruturais de determinado comportamento ou desempenho de um item.

Quando uma fonte de calor se desloca ao longo de um material, gera vibrações de temperatura com o tempo, em cada ponto da peça, como a soldabilidade é uma característica fundamental dos aços estruturais, o estudo das transformações que ocorrem nos ciclos térmicos de soldagem assim como a previsão das microestruturas e propriedades obtidas é uma área de extrema importância na pesquisa metalúrgica, em que a metalografia encontra ampla aplicação. Os perfis térmicos na direção transversal à solda podem ser superpostos a um diagrama de fases (Figura 4) para que avalie o possível efeito da temperatura máxima a que o material foi submetido em cada posição (Colpaert, 2008).

Figura 4: (a) Representação da distribuição da temperatura máxima atingida na soldagem. (b) Diagrama de equilíbrio de fases Fe-C com a indicação do efeito das temperaturas máximas na soldagem.



Fonte: Colpaert, 2008.

A microestrutura final de um cordão de solda realizada em aços pelo processo de arco submerso é composta por três regiões: metal de base, zona afetada pelo calor (ZAC) e o metal de solda. As características da ZAC dependem, fundamentalmente, do tipo de metal de base e do processo e procedimento de soldagem, isto é, do ciclo térmico e da repartição térmica. De

um modo geral, a região de grãos grosseiros da ZAC é caracterizada por uma estrutura grosseira, com placas de ferrita, podendo conter perlita, bainita ou martensita, de modo que conforme a taxa de resfriamento é aumentada, a microestrutura da ZAC é transformada de martensita para bainita superior (GIRÃO, 2018).

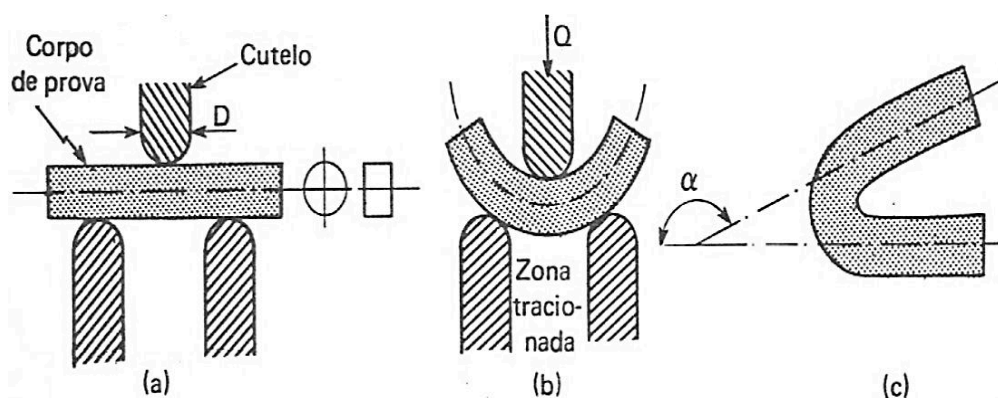
2.6 Ensaios Mecânicos

2.6.1 Dobramento

No dobramento de uma chapa, devem-se analisar parâmetros como o encruamento do material e o raio mínimo em que este pode ser dobrado sem que ocorra a ruptura, o retomo elástico do dobramento após a retirada da carga e a formação de defeitos na região dobrada. Contudo, na região de deformação ocorre uma diminuição da espessura nominal do corpo de prova, já que essa diminuição de espessura é tanto menor quanto menor for o raio de curvatura (GARCIA, SPIM, & SANTOS, 2013).

No ensaio de dobramento lateral, o esforço é aplicado sobre flexão em uma prensa que dobra o corpo e prova, até atingir uma configuração em U, com a região de solda no centro do dobramento (Figura 6). Os critérios de aceitação destes testes, segundo a norma API 1104 são: não deve existir nenhuma trinca ou outra imperfeição lateral excedendo 1/8" (3 mm) em qualquer direção; trincas originadas na superfície externa de dobramento, originadas durante o teste devem ser desconsideradas a não ser que tenham mais de 1/4" (6 mm) (BALLESTEROS, 2009).

Figura 5: Esquematisação do ensaio de dobramento a) e b) dobramento guiado, c) ângulo final do corpo de prova após o ensaio.



Fonte: (BIOPDI, 2019).

Devido a sua relativa simplicidade, o ensaio de dobramento é largamente utilizado nas indústrias e laboratórios com o objetivo de verificar a capacidade de deformação dos materiais, na detecção de defeitos de compactação, metalúrgicos e de soldagem assim como obter valores comparativos de ductilidade dos materiais. As discontinuidades oriundas do

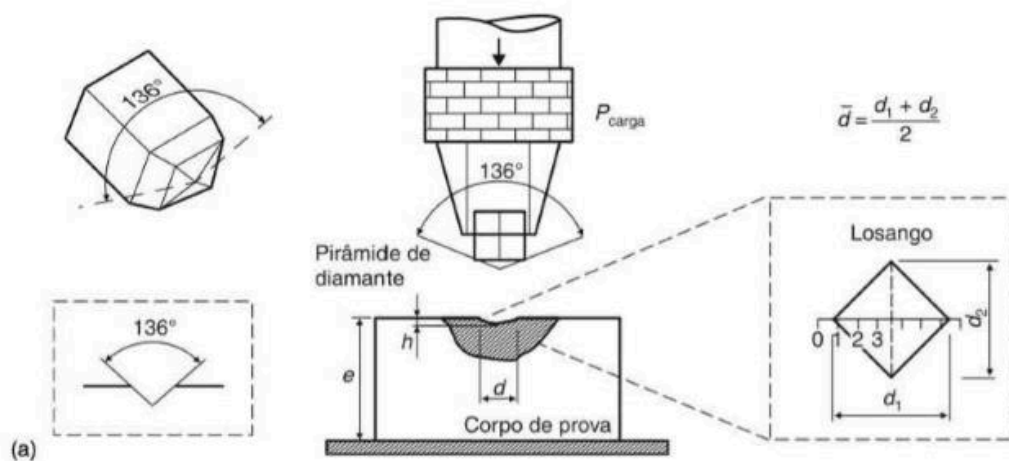
processo de soldagem mais comumente observáveis no ensaio de dobramento são: falta de fusão; inclusões metálicas e não metálicas; poros (LUZ, 2019).

2.6.2 Dureza Vickers

É um método semelhante ao ensaio de dureza Brinell, já que também relaciona carga aplicada a área superficial da impressão. O penetrador padronizado é uma pirâmide de diamante de base quadrada e com um ângulo de 136° entre faces opostas. A forma da impressão depois de retirada da carga é de um losango regular, cujas diagonais devem ser medidas por um microscópio acoplado à máquina de teste (com exatidão de medição de 0,001 mm) e a média dessas duas medidas utilizadas para a determinação da dureza Vickers (Figura 8) (GARCIA, SPIM, & SANTOS, 2013).

O perfil de dureza da junta soldada indica que valores máximos são encontrados próximos a linha de fusão, uma vez que o tempo de permanência a alta temperatura nesta região é maior, portanto a dureza é função da taxa de resfriamento, e de acordo com a Norma ASTM A 370 pode ser correlacionada a valores de resistência à tração (BALLESTEROS, 2009).

Figura 6: Representação do ensaio de dureza Vickers realizado nos corpos de prova.



Fonte: (GARCIA, SPIM, & SANTOS, 2013).

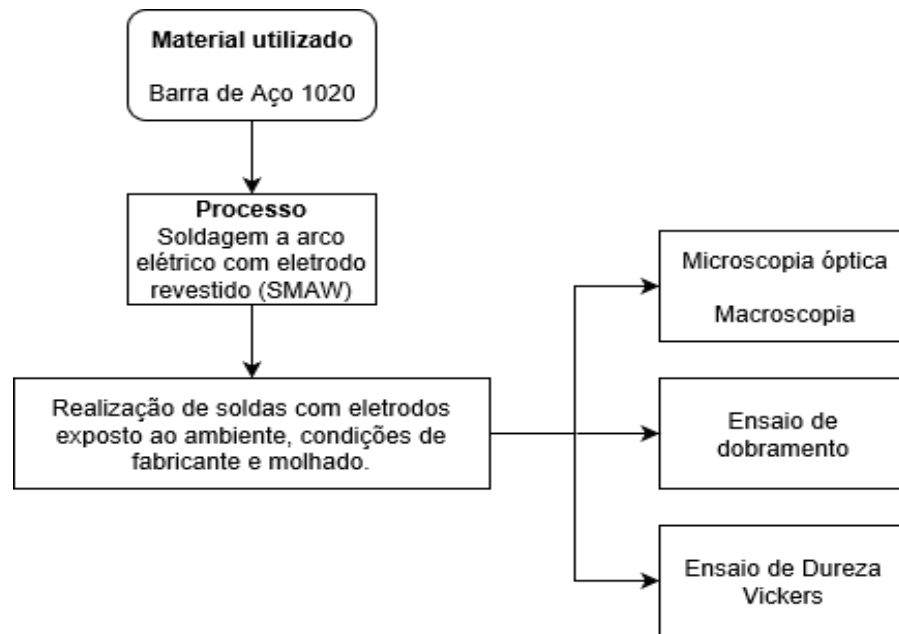
3 METODOLOGIA

Para a execução do trabalho de soldagem por eletrodo revestido, foi dada a sequência de operações e análises abaixo. A Figura 7 demonstra um fluxograma sobre a metodologia adotada.

- Usinagem das chapas;
- Soldagem dos corpos de prova e controle visual de solda;
- Usinagem dos corpos de prova de soldagem para ensaios destrutivos;

- Realização do ensaio destrutivo de dobramento;
- Realização do ensaio de dureza Vickers;
- Micrografia.

Figura 7: Fluxograma adotado para mostrar as etapas de avaliação do trabalho.

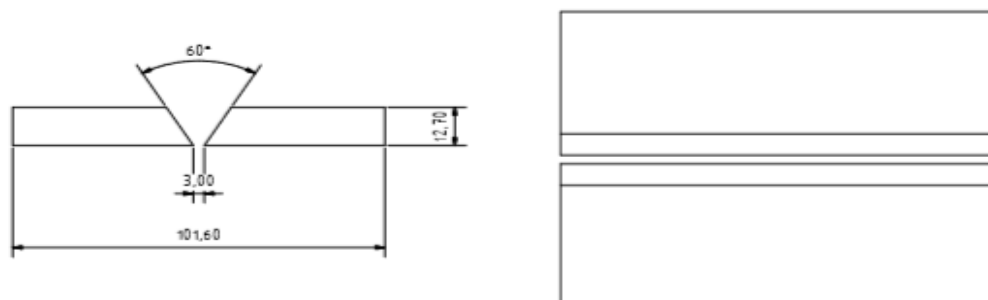


Fonte: Autor, 2019.

3.1 Usinagem das chapas

Foram montados três conjuntos de corpos de prova de soldagem com duas chapas de aço SAE 1020, com dimensões 150x101,6x12,7 mm, com face de raiz de 2,5 mm, respectivamente. As chapas foram usinadas na fresadora com angulação de 30° na lateral, conforme Figura 8.

Figura 8: Representação das chapas pós usinagem dos corpos de prova, na vista e longitudinal.



Fonte: Autor, 2019.

Para a montagem dos corpos de provas, as seis chapas foram soldadas com eletrodos E7018 com diâmetro de 4mm e comprimento de 450mm. Chapas inspecionadas e aprovadas conforme a Figura 9, nas dimensões mostradas na Tabela 1.

As chapas foram posicionadas em posição simétrica numa superfície plana, formando um chanfro de formato “V” de 60 graus, longitudinalmente no corpo de prova. Antes do início da soldagem foi feito um ponteamto, usado para o alinhamento e controle dimensional na parte posterior da chapa. Após passar pela aprovação dessa etapa, foi dada continuidade ao processo de soldagem. Não houve tratamento térmico pós soldagem.

Figura 9: Chapas de aço usinadas e simetricamente alinhadas para formação do corpo de prova.

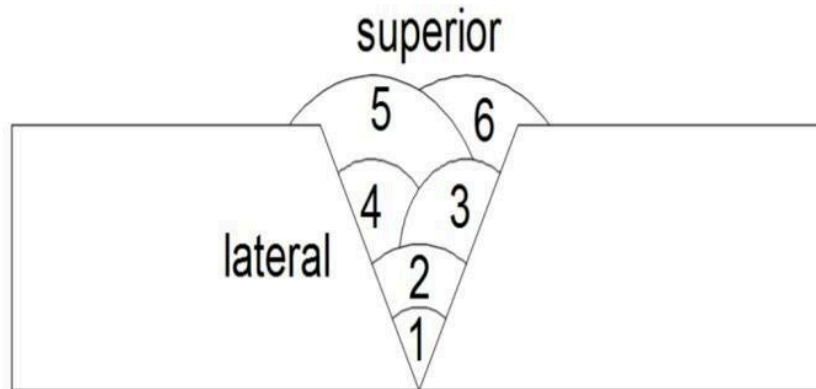


Fonte: Autor, 2019.

3.2 Soldagem dos corpos de prova e controle visual de solda

Ao iniciar o processo de soldagem dos corpos de prova através de uma sequência de passes, todo o chanfro foi preenchido conforme mostra a Figura 10. Foram dados 6 passes em cada corpo de prova sendo, um passe de preenchimento raiz, três de preenchimento de chanfro e dois de acabamento.

Figura 10: Esquematização da sequência de passes.



Fonte: ResearchGate, 2019.

A cada passe realizado a inspeção visual era feita a fim de evitar descontinuidades no processo. Para algumas descontinuidades mais criteriosas, foi utilizado a lixadeira manual para desbastar e preencher novamente com eletrodo revestido.

A soldagem realizada com eletrodo E7018, foi escolhido por ter um baixo teor de hidrogênio e beneficiar a solda do contato com a atmosfera. Sendo que nesse trabalho os eletrodos ficaram em condições de armazenamento distintos (molhado, seco e exposto ao ambiente) a fim de observar as mudanças na qualidade no cordão de solda.

Uma fonte de energia utilizada no processo de soldagem foi da ESAB modelo Origo Arc 426, foi utilizado com uma corrente alternada de 125 A. Por se tratar de um processo manual, tentou-se manter a velocidade de soldagem constante para todos os cordões de solda. Para cada passe, aproximadamente dois eletrodos são utilizados para tentar manter boas propriedades mecânicas. Dispositivos auxiliares foram usados para fixar a peça. O equipamento básico utilizado na soldagem encontra-se na Figura 11. A extensão do eletrodo variou de 20 a 35 mm. A abertura de raiz foi entre 2,0 e 3,5 mm.

Figura 11: Equipamento usado para a soldagem.

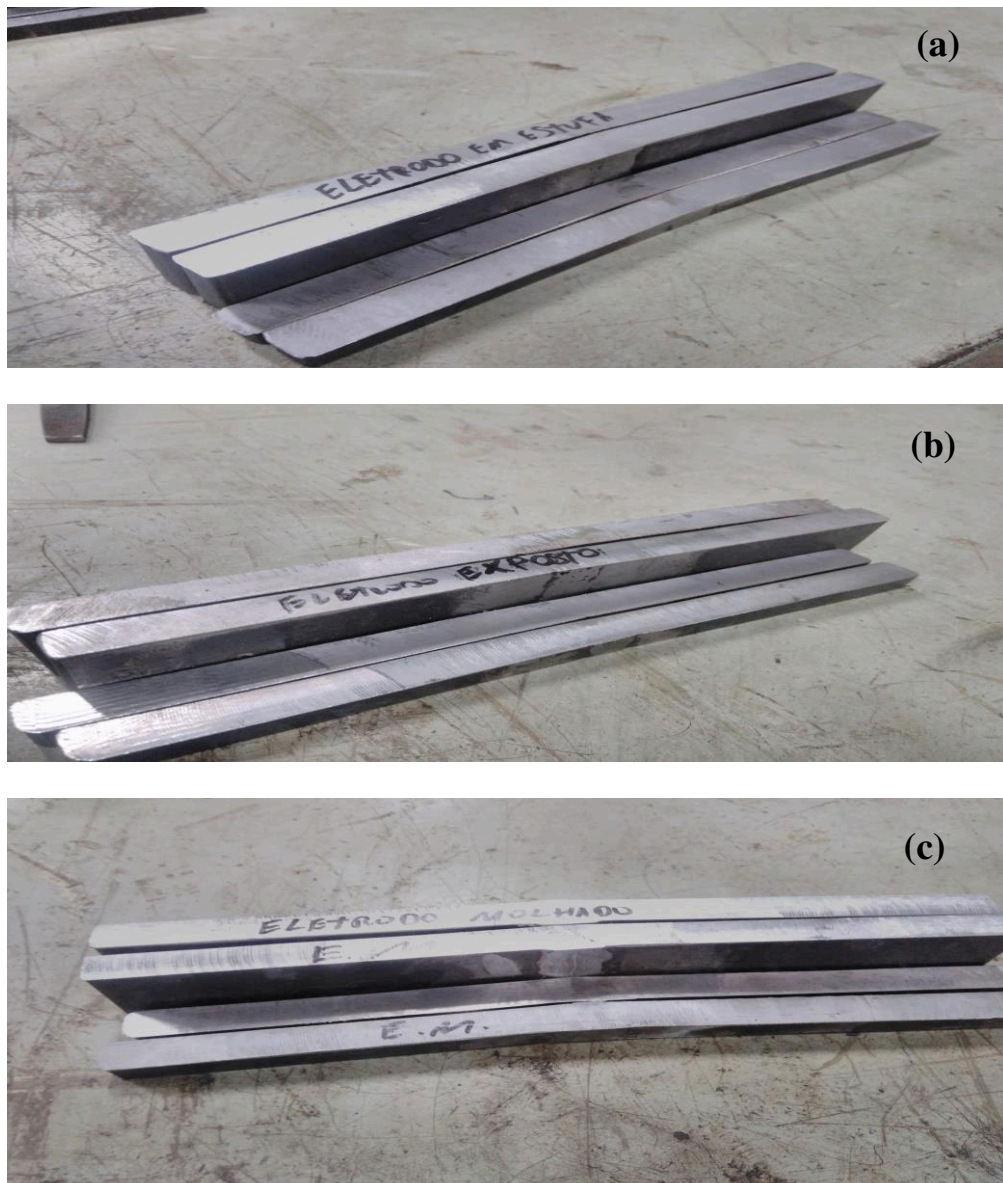


Fonte: Autor, 2019.

3.3 Usinagem dos corpos de prova de soldagem para realização dos ensaios

Para a realização dos ensaios destrutivos e metalográficos foram feitos novamente o processo de usinagem nos corpos de prova, devido ao tamanho das chapas foi necessário o corte próximo ao cordão de solda para obter um melhor dimensionamento na face, deixando-a uniforme, e assim, posteriormente um melhor resultado no ensaio.

Figura 12: Corpos de prova usinados prontos para realizar o ensaio de dobramento. (a) Soldagem feita com eletrodos em estufa; (b) Soldagem feita com eletrodos exposto ao ambiente; (c) Soldagem feita com eletrodo molhado.



Fonte: Autor, 2019.

Foi utilizada uma ferramenta de corte que serrou na posição transversal ao cordão. E os corpos de prova foram distribuídos para seus respectivos ensaios. Uma das ferramentas

utilizadas foi a esmerilhadeira, que proporcionou a limpeza de descontinuidades e redução do tamanho das chapas.

3.4 Realização do ensaio destrutivo de dobramento

O ensaio de dobramento lateral e de face e raiz, foi realizado pela máquina universal de ensaios de modelo Emic DL30000N, onde o esforço é aplicado sobre flexão em uma prensa que dobra o corpo de prova até atingir uma configuração em U, a região da solda encontra-se sempre no centro do dobramento.

O que vai caracterizar o tipo de dobramento é a escolha da face ao qual se tornará convexa. A escolha da superfície é determinada de acordo com o eixo do cordão de solda (transversal e longitudinal), espessura e resistência mecânica dos materiais de base.

Figura 13: Sequência do ensaio de dobramento realizado nos corpos de prova e angulação final do corpo de prova após passar pelo processo de dobramento.



Fonte: Autor, 2019.

Os ensaios de dobramento servem para se avaliar a ductilidade da junta soldada, bem como detectar pequenas descontinuidades, pois estas tendem a se propagar durante o ensaio,

ou seja, é um ensaio eficaz para detectar problemas não visíveis a olho nu. A Figura 14 mostra o passo a passo do ensaio.

As dimensões, distancias e diâmetros e ângulo de dobramento nas chapas de teste, assim como os critérios de aceitação dos ensaios foram de acordo com a norma ASME IX (ENGINEER, 2004) e ASTM E190-92.

3.5 Realização da micrografia e do ensaio de dureza Vickers

Para a realização do ensaio, as amostras passaram por uma preparação metalográfica onde foi utilizada uma politriz (Figura 15) com lixas de granulometria de 60, 100, 240, 320, 600, 800 e 1200 sendo em seguida polidas com alumina (Al_2O_3). O ataque químico foi realizado com Nital (ácido nítrico mais álcool) concentração 2%, pelo método de esfregação com um algodão por cerca de 5 segundos para revelar a microestrutura tanto nas regiões colunares, quanto nas regiões reaquecidas dos metais de solda.

Figura 14: Equipamento usado para metalografia dos corpos de prova, (a) politriz e (b) manual.



Fonte: Autor, 2019.

O perfil de dureza Vickers foi realizado com uma carga de 1 kgf foi obtido no durômetro de bancada modelo ISH-TDV2000 (Figura 15), do fabricante Insize. Foram realizadas 40 medições de dureza em cada corpo de prova abrangendo as áreas do metal de base, zta e zona fundida (Figura 16). Todas as medidas foram feitas sob uma linha horizontal ao longo da extensão do passe de raiz, a uma distância de 6 mm da parte inferior da chapa. A

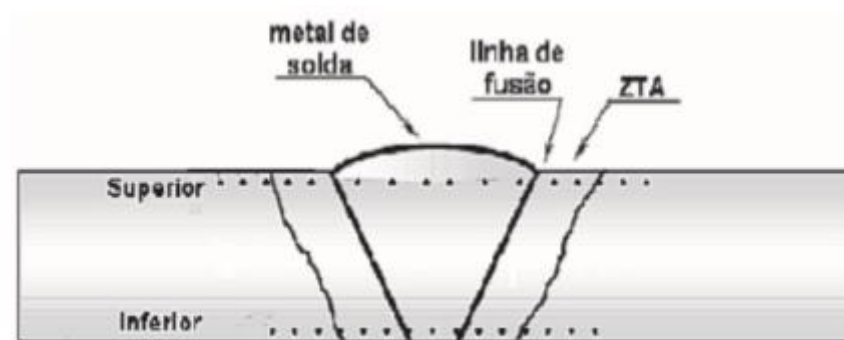
finalidade deste ensaio foi a verificação da existência de pontos com dureza elevada na junta soldada.

Figura 15: Durômetro usado no ensaio de Dureza Vichers.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 16: Representação dos pontos onde foram realizadas as medidas de dureza.



Fonte: ALMEIDA, TATAGIBA, ROSENTHAL, & PARANHO, 2010.

Os corpos de prova destinados a dureza, foram posteriormente avaliados por microscopia eletrônica, para revelar maiores detalhes dos constituintes (martensita, bainita e ferrita). Os ensaios foram realizados de acordo com a norma ISO 6507-1 em todas as regiões

analisadas (metal de base, zona termicamente afetada e zona fundida. A metalografia ótica permitiu a avaliação da microestrutura.

As dimensões, quantidade de medições e a localização dos corpos de prova no ensaio dureza Vickers, foram de acordo com a norma ASTM E92-17.

3.6 Micrografia

A microscopia ótica é a técnica mais comum de observação da microestrutura dos aços. O processo se dá por um microscópio metalográfico (Figura 17), empregando luz visível que incide sobre o corpo de prova e é refletida até o observador.

Figura 17: Microscópio Metalográfico.



Fonte: THIAGO, 2015.

Os três corpos de prova foram analisados, conforme a ISO 15653-2010. Esta análise teve como principal objetivo caracterizar a microestrutura da zona fundida que é controlada pelo índice de temperatura, velocidade de solidificação e porcentagem do soluto. Contudo, serão representadas, as várias estruturas de crescimento, em relação ao índice de temperatura imposto no resfriamento e a velocidade de avanço da interface sólido-líquido.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os principais resultados experimentais deste trabalho, contribuíram de forma direta ou indiretamente com a conclusão final desta pesquisa. Lembrando que o objetivo, foi analisar o efeito da umidade na tenacidade das chapas após a soldagem. Os resultados obtidos durante o processo de soldagem e respectivos testes, são descritos conforme a ordem abaixo.

- Ensaio Visual

- Dureza Vickers
- Microscopia ótica
- Ensaio destrutivo de dobramento

4.1 Ensaio Visual

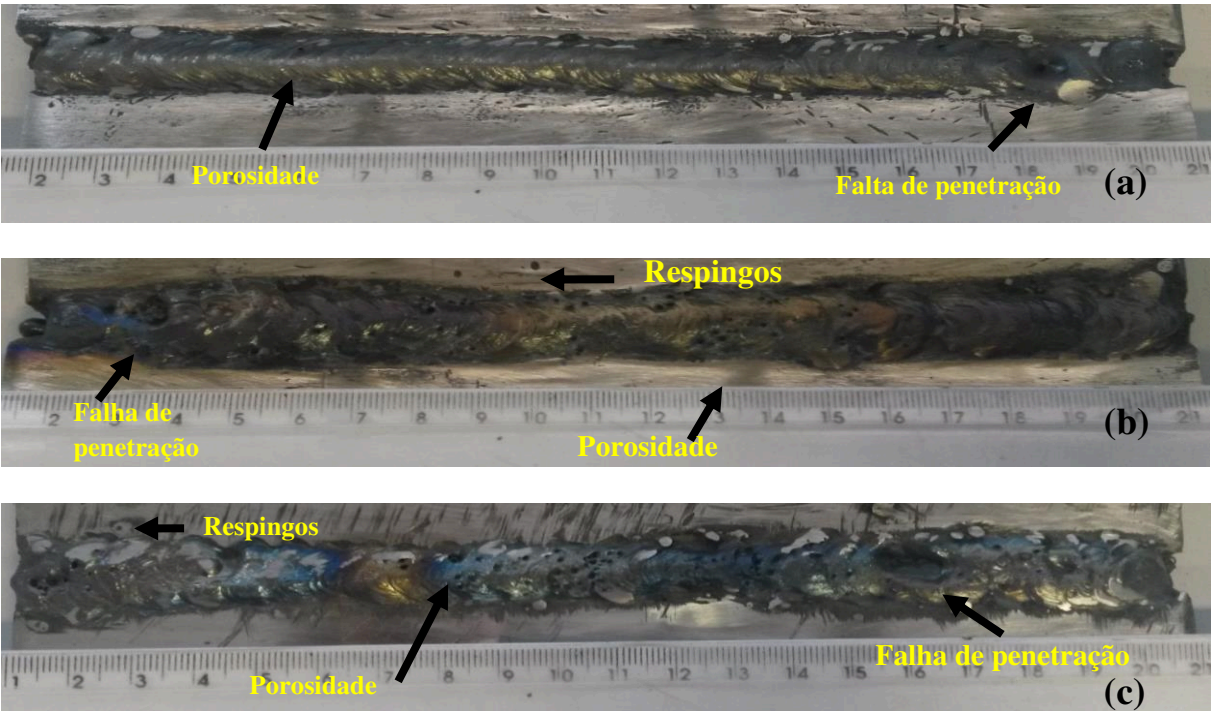
Durante o processo de soldagem foram observadas características fundamentais da solda conforme o ER era modificado. A Figura 19 mostra algumas discontinuidades encontradas durante o processo de soldagem dos corpos de prova.

Tabela 1: Dados obtidos através do ensaio visual durante o processo de soldagem dos Corpos de prova.

Características	Eletrodo Molhado	Eletrodo em Estufa	Eletrodo em Ambiente
Dificuldade na abertura do arco	X		
Porosidade	X	X	X
Respingos	X		X
Acabamento não uniforme	X		X
Falha de penetração	X	X	X
Necessidade de reparo na solda	X		

Fonte: Autor, 2019.

Figura 18: Descontinuidades nos corpos de prova encontradas durante o processo de soldagem: (a) eletrodo em estufa; (b) eletrodo em condições ambiente; e (c) eletrodo molhado.



Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 2, apresenta as discontinuidades citadas (Figura 18) em cada corpo de prova. Analisando as imagens e as características a solda com eletrodo revestido nas condições de fabricante (em estufa) demonstra ser o melhor em operação. Pode resultar ótimo acabamento dependendo da habilidade do soldador.

4.2 Dureza Vickers

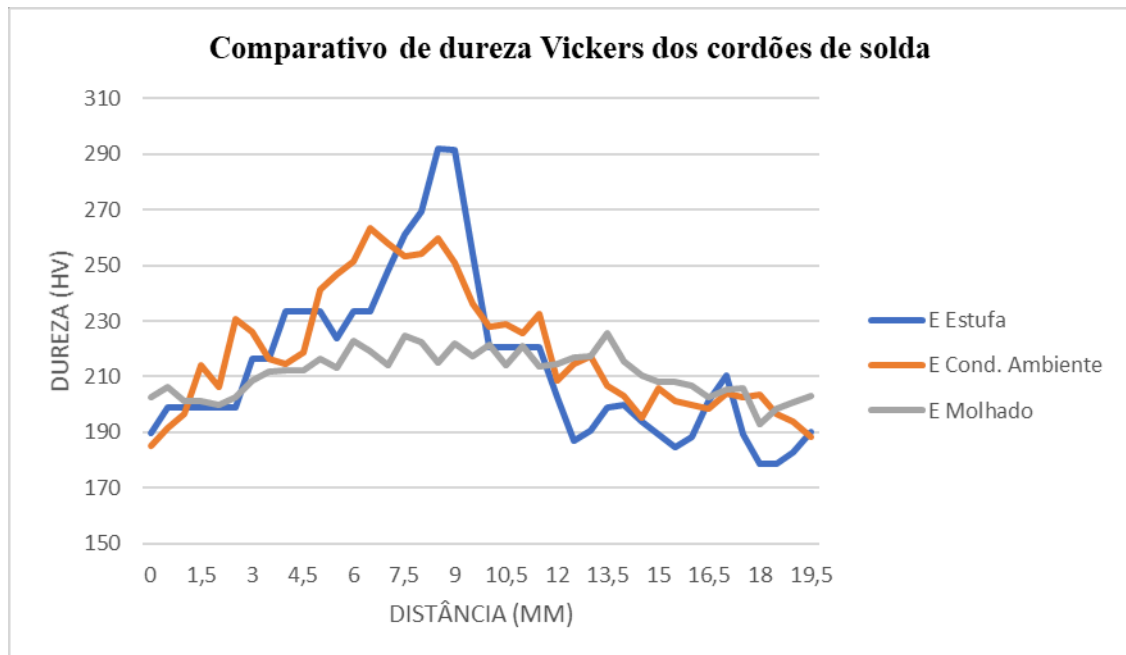
A análise da dureza de um determinado material, se dar através do levantamento dos perfis de dureza ao longo de sua microestrutura. Neste trabalho, o perfil de análise foi levantado nas regiões do Metal de base, zona termicamente afetada e zona fundida da solda. Na Figura 19, mostra o gráfico representando as 120 endentações feitas nos três corpos de prova.

No corpo de prova soldado com eletrodo em estufa, o metal base apresentou média de 189,6 HV na parte superior e 190 HV na parte inferior. A ZTA apresentou média de 216,33 HV na parte superior e 199,8 HV na parte inferior. A zona fundida (ZF) apresentou média de 233,3 HV nos cordões de acabamento e média de 220,6 HV no passe de raiz.

O segundo corpo de prova analisado é o soldado com eletrodo exposto ao ambiente, o metal base apresentou média de 185,1 HV na parte superior e 188,2 HV na parte inferior. A ZTA apresentou média de 218,8 HV na parte superior e 202,9 HV na parte inferior. A zona fundida (ZF) apresentou média de 254,4 HV nos cordões de acabamento e média de 225,7 HV no passe de raiz.

O último corpo de prova soldado com eletrodo molhado, o metal base apresentou média de 202,5 HV na parte superior e 203,2 HV na parte inferior. A ZTA apresentou média de 213 HV na parte superior e 215,7 HV na parte inferior. A zona fundida (ZF) apresentou média de 221 HV nos cordões de acabamento e média de 214,6 HV no passe de raiz.

Figura 19: Perfis de dureza Vs localização das endentações no plano transversal da solda.

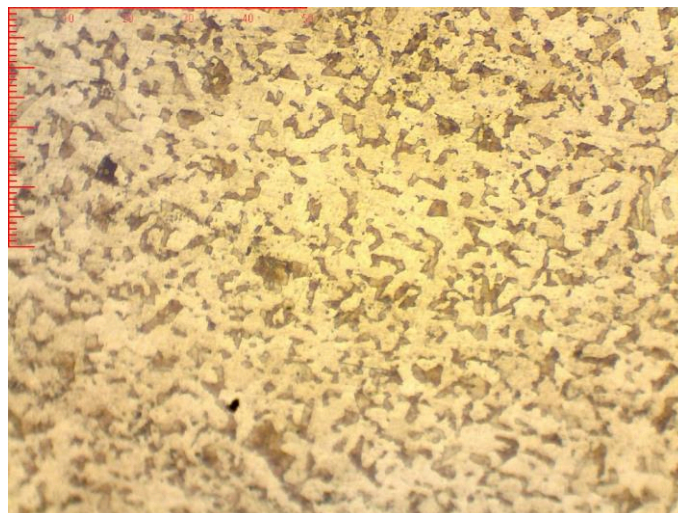


Fonte: Autor, 2019.

4.3 Microscopia ótica

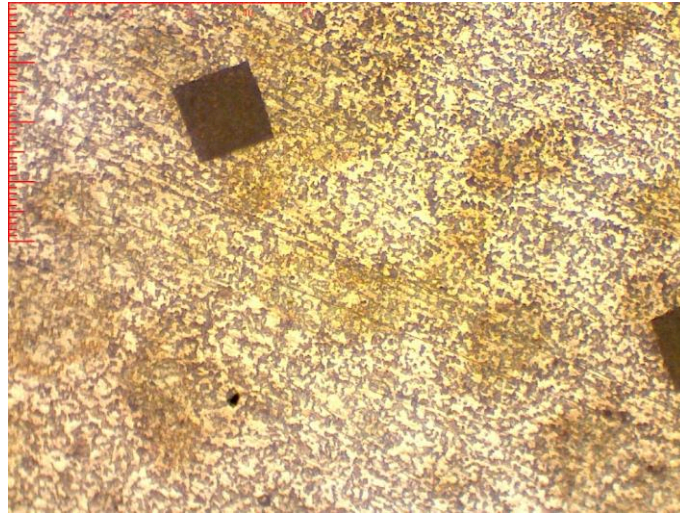
As amostras que foram sujeitas ao ataque de ácido nítrico foram avaliadas em microscópio trinocular, para comparação de microestruturas de soldas por fusão com eletrodo revestido. As figuras, apresentam as análises feitas nos três corpos de prova, nas três regiões da solda, com aumento de 200x, em que é possível observar a presença de algumas descontinuidades na estrutura do material.

Figura 20: Microestrutura na região da zona fundida nos três corpos de prova da solda feita com os eletrodos em estufa.



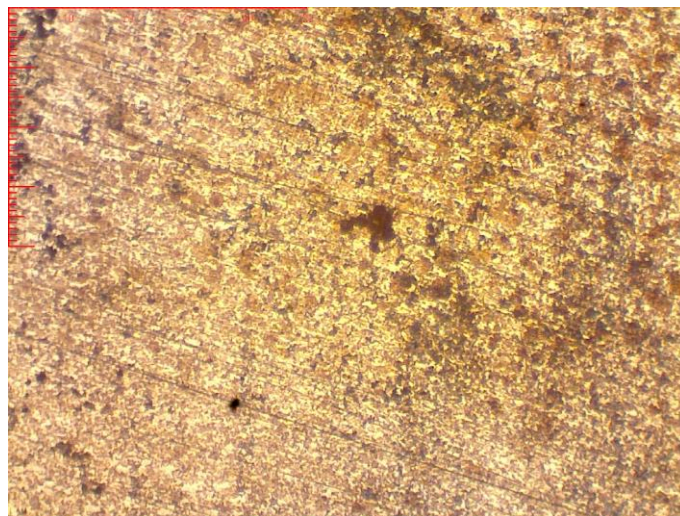
Fonte: Autor, 2019.

Figura 21: Microestrutura na região da zona fundida nos três corpos de prova da solda feita com os eletrodos molhado.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 22: Microestrutura na região da zona fundida nos três corpos de prova da solda feita com os eletrodos exposto ao ambiente.



Fonte: Autor, 2019.

A região da Zona Fundida, Figura 20, 21 e 22 revela o aparecimento de uma estrutura “Interdendritic Ditches”, significa a formação do carboneto em vales profundos na estrutura. Todas as amostras analisadas do aço SAE 1020 tiveram resultados semelhantes, por conta das influências cíclicas de temperaturas, apesar das imagens não apresentar semelhança. Com essa técnica de microscopia óptica, conseguiu-se avaliar as regiões com precipitação do carbono nas regiões de contorno de grão, deixando a estrutura fragilizada, afetando diretamente as propriedades mecânicas e possivelmente sua resistência à oxidação.

Alguns dos defeitos que podem ocorrer na zona fundida são:

- trincas de solidificação ou trincas a quente;
- trincas induzidas por hidrogênio;
- porosidade;
- inclusões de escória ou outras inclusões;
- falta de fusão.

Esses são defeitos comuns fáceis de se evitar e todos são analisados a olho nu e por microscopia analisando a estrutura dos grãos e a ocorrência das mudanças.

4.4 Ensaio destrutivo de dobramento

O ensaio de dobramento foi realizado em 12 corpos de prova, corretamente usinados. Foram usadas duas técnicas de ensaio de dobramento (face e raiz e lateral). As figuras mostram o comportamento de cada corpo de prova. Não foram observadas indicações de descontinuidades maiores que 3,0 mm, que é o critério de aceitação previsto na seção IX do Código ASME.

As Figuras 21 e 22 mostram, respectivamente, os resultados do ensaio de dobramento (lateral e face e raiz) para a soldagem feita com eletrodo exposto ao ambiente.

Figura 21: Resultado do ensaio de dobramento lateral em soldagem com eletrodo exposto ao ambiente.

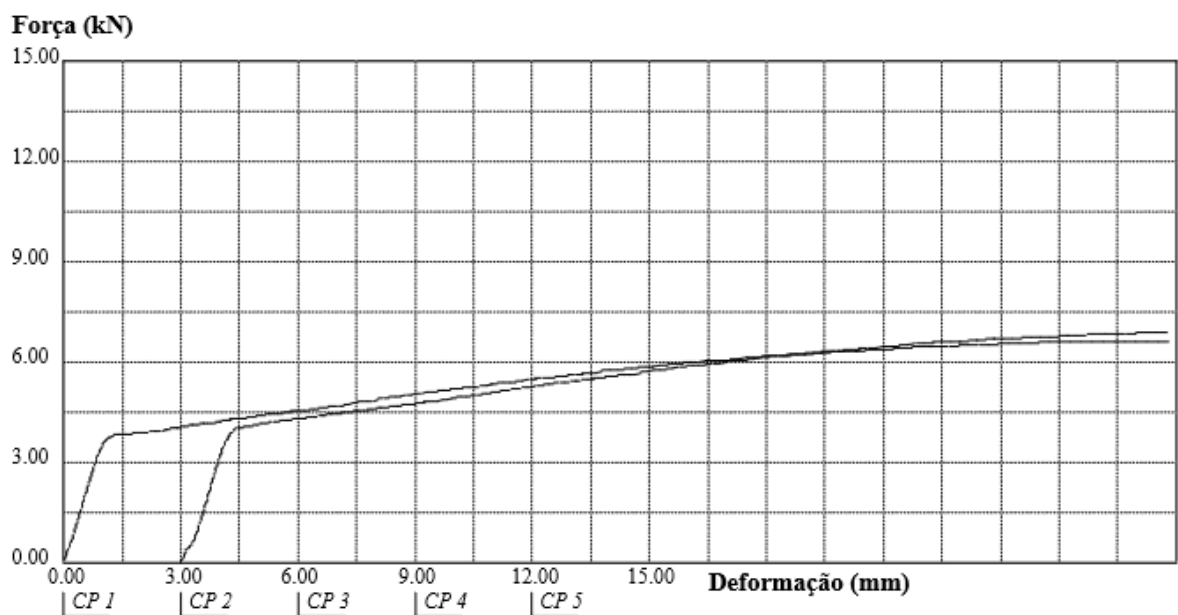
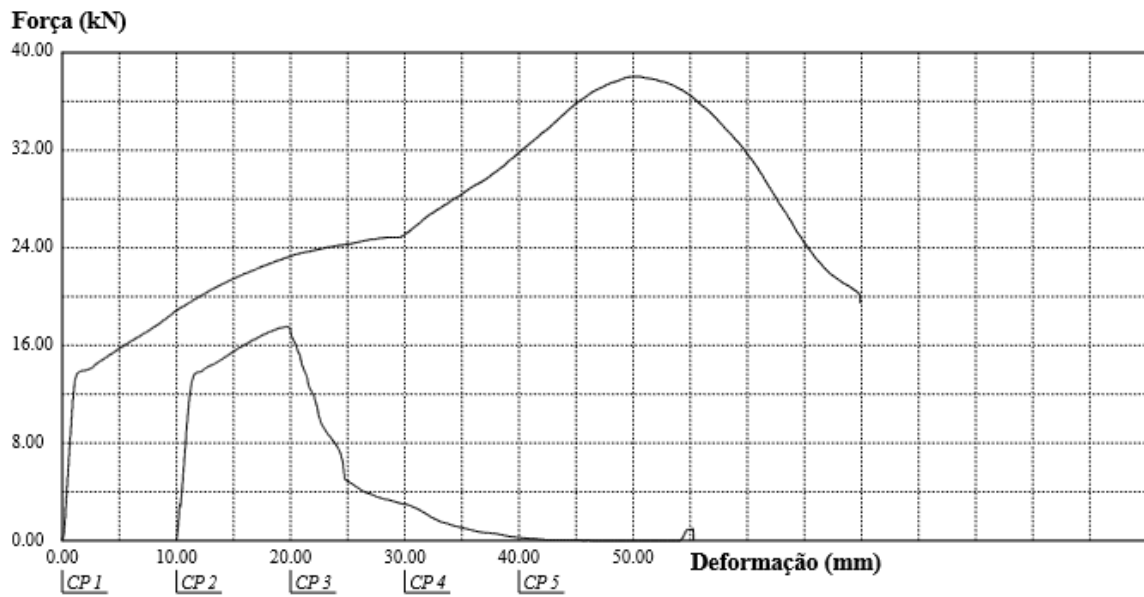


Figura 4: Autor, 2019.

Figura 22: Resultado do ensaio de dobramento face e raiz em soldagem com eletrodo exposto ao ambiente.

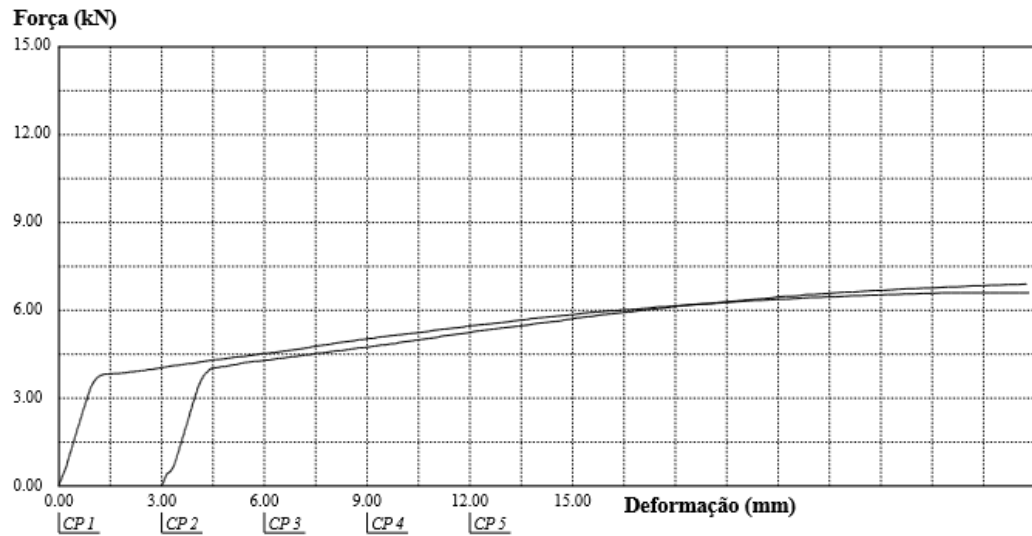


Fonte: Autor, 2019.

O segundo corpo de prova não concluiu a angulação do ensaio de dobramento, ou seja, a solda não suportou a força aplicada pelo cutelo e houve ruptura do material. O que justifica esse comportamento são o surgimento de trincas ou fissuras na região da dobra.

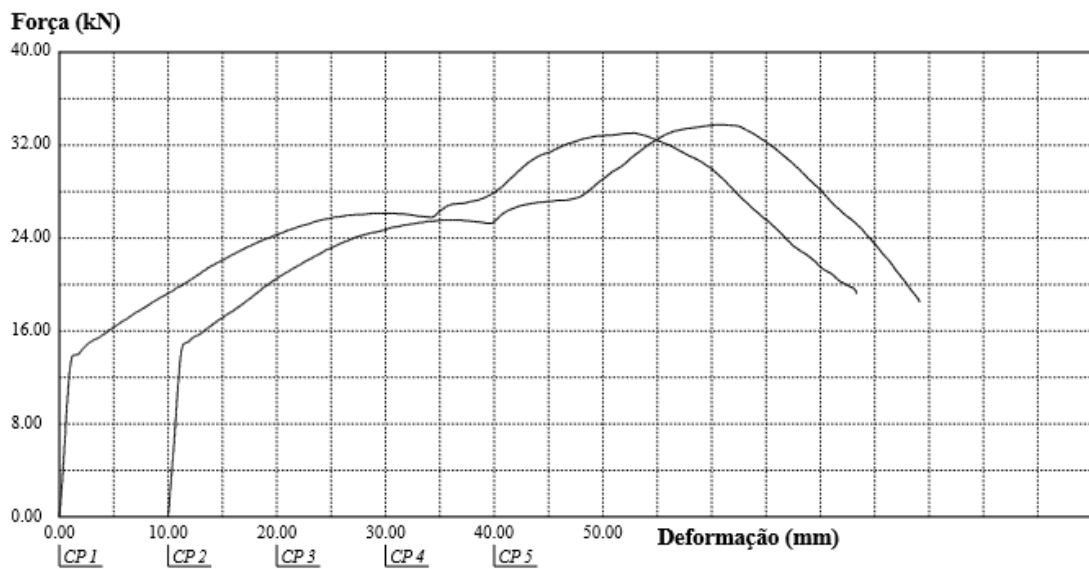
As Figuras 23 e 24 mostram, respectivamente, os resultados do ensaio de dobramento (lateral e face e raiz) para a soldagem feita com eletrodo em estufa.

Figura 23: Resultado do ensaio de dobramento lateral em soldagem com eletrodo em estufa.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 24: Resultado do ensaio de dobramento face e raiz em soldagem com eletrodo em estufa.

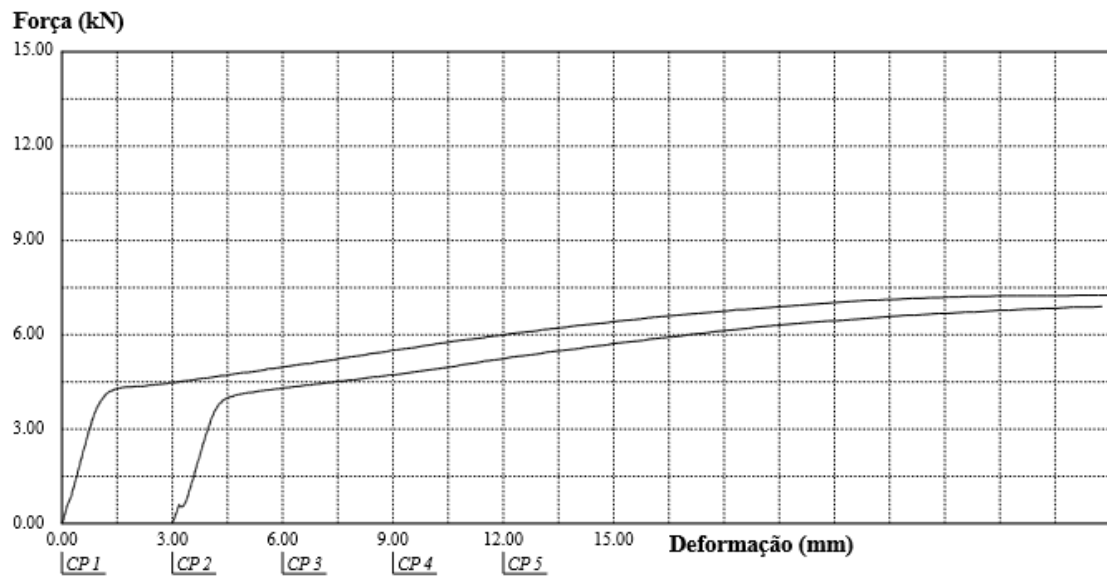


Fonte: Autor, 2019.

Não houve ruptura nos corpos de prova, em ambos os testes. Significando que as propriedades mecânicas do material estudado (metal de base + metal de adição), se comportaram de maneira desejada.

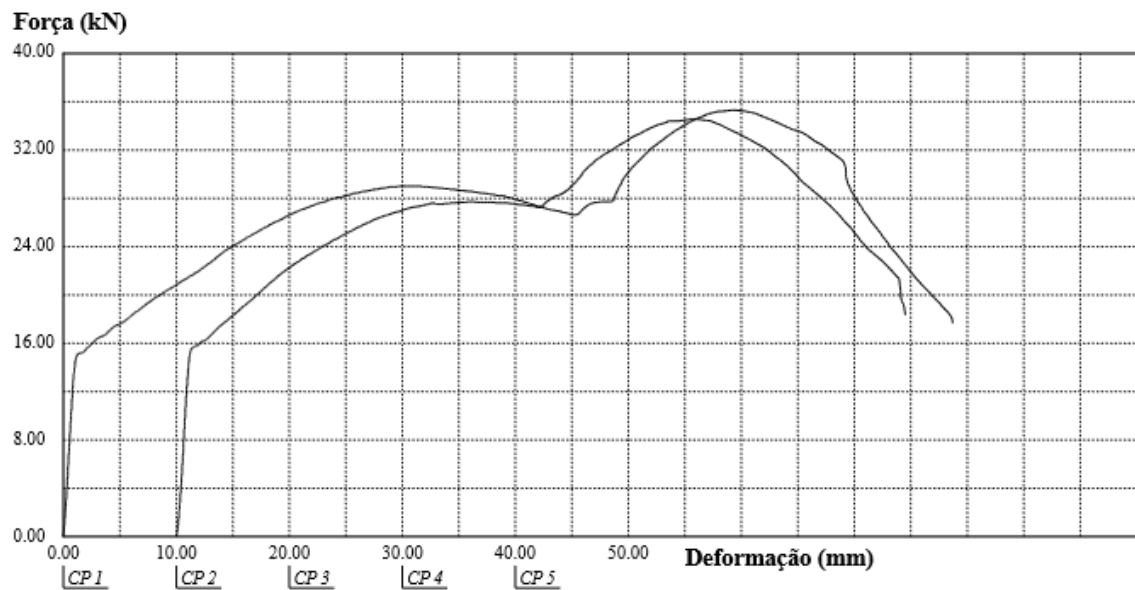
As Figuras 25 e 26 mostram os resultados do ensaio de dobramento (lateral e face e raiz) para a soldagem feita com eletrodo molhado.

Figura 25: Resultado do ensaio de dobramento lateral em soldagem com eletrodo molhado.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 26: Resultado do ensaio de dobramento face e raiz em soldagem com eletrodo molhado.



Fonte: Autor, 2019.

Nos ensaios com a soldagem com eletrodos molhados, não houve ruptura do corpo de prova, revelando que nesse caso o eletrodo molhado não interferiu nas propriedades mecânicas da solda.

De acordo com os laudos técnicos do laboratório, o segundo corpo de prova analisado (soldagem com eletrodo em estufa) mostra-se com melhor qualidade em relação aos demais analisados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As conclusões dessa pesquisa são decorrentes das respostas de fragilização por hidrogênio do metal de base e da junta soldada tendo como referência o armazenamento dos eletrodos.

Os resultados do ensaio de dureza Vickers apresentaram algumas diferenças após a deposição do passe de raiz e na junta soldada com vários passes de solda, mostrando que a técnica empregada dos interfere na dureza da junta soldada.

Os resultados das propriedades mecânicas da junta soldada (dobramento) mostraram-se condizentes com o proposto no início da pesquisa, de avaliar a qualidade da solda nas diversas formas de armazenagem de eletrodos. A ruptura do corpo de prova revela as descontinuidades presentes na solda, ocasionadas pelas condições de uso do eletrodo ou até mesmo o mal posicionamento do soldador.

Os constituintes microestruturais no metal de solda do passe de raiz são semelhantes aos do passe de acabamento e condizentes com os observados em aços ferríticos.

Baseados nos resultados apresentados, com a execução do projeto que utiliza os mesmos procedimentos e normas técnicas cabíveis para fabricação, montagem, soldagem e inspeção para todos os corpos de prova em estudo, pode-se afirmar que o uso do eletrodo revestido em condições do fabricante (estufa), é a melhor opção do setor metalúrgico.

REFERÊNCIAS

- Scientific Figure on ResearchGate. . (28 de Julho de 2019). Desenvolvimento de Nanomateriais para Revestimento de Turbinas Hidráulicas Visando Aumento da Vida Útil das Mesmas. João Pessoa, Paraíba, Brasil. Fonte: <https://www.researchgate.net/figure/Figura-7-Representacao-esquematica-dos-passes-de-so>
- ALMEIDA, L. P., TATAGIBA, L. S., ROSENTHAL, R., & PARANHO, R. P. (2010). Soldagem Unilateral com Suporte Cerâmico de Cordierita. *Soldagem Insp.*, 84-93.
- ASTM. (2017). *ASTM international*. Fonte: ASTM website: www.astm.org
- BALLESTEROS, A. F. (ABRIL de 2009). *PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO-SISTEMA PERGAMUM* . Fonte: MAXWELL : http://www2.dbd.puc-rio.br/pergamum/tesesabertas/0511137_09_pretextual.pdf
- BIOPDI. (07 de Agosto de 2019). *BIOPDI*. Fonte: Biopdi: <https://biopdi.com.br/artigos/ensaio-de-dobramento>
- BUSCHINELLI, N. &. (19 de ABRIL de 2019). *ftp.demec.ufpr.br*. Fonte: http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EME733/Arquivos%20da%20disciplina/Buschinelli%20-%20Trinca%20Frio%20m_todos%20para%20determina__o%20do%20pr_-aquecimento.pdf
- CHEDE, A. D., FERRUCIO, F. C., & FURUKAWA, O. L. (Dezembro de 2013). COMPARAÇÃO DE MATERIAIS CONSUMÍVEIS DE SOLDAGEM CERTIFICADOS E NÃO CERTIFICADOS POR UM OCP (ORGANISMO CERTIFICADOR DE PRODUTO) DO INMETRO. Campinas, São Paulo, Brasil.
- Colpaert, H. (2008). *Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns*. São Paulo: Blucher.
- Correia, W. J. (2010). *Ensaio de Dureza*. Vitória: UFES.
- ENGINEER, T. A. (2004). Guided-Bend Test. Em T. A. ENGINEER, *QUALIFICATION STANDARD FOR WELDING AND BRAZING PROCEDURES, WELDERS, BRAZERS, AND WELDING AND BRAZING OPERATO* (pp. 5-6). New York: ASME.
- GARCIA, A., SPIM, J. A., & SANTOS, C. A. (2013). *ENSAIOS DOS MATERIAIS*. RIO DE JANIERO: LTC.

GIRÃO, I. F. (2018). ESTUDO DO EFEITO DO APORTE TERMICO DE UMA SOLDA SAW NA ZONA AFETADA PELO CALOR DE UM MATERIAL API 5LX100 ATRAVES DE SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS. SÃO PAULO, SÃO PAULO, BRASIL.

JUNIOR, F. D. (2003). ELETRODOS PARA SOLDAGEM A ARCO. Em F. D. JUNIOR, *PROCESSOS USUAIS DE SOLDAGEM I* (p. 44).

KIEFER, J. H. (1996). Effects of Moisture Contamination and Welding Parameters on Diffusible Hydrogen. *welding research supplement*, 7.

LUZ, G. (31 de Julho de 2019). *Ensaio de Dobramento*. Fonte: Blog Materiais: Disponível em: <https://www.materiais.gelsonluz.com/2017/10/ensaio-de-dobramento.html>.

MARQUES, P. V., & MODENESI, P. J. (2000). *Soldagem I - Introdução aos processos de soldagem*. BELO HORIZONTE: UFMG.

MARQUES, P. V., MODENESI, P. J., & BRACARENSE, A. Q. (2013). *SOLDAGEM: FUNDAMENTOS E TECNOLOGIA*. BELO HORIZONTE: UFMG.

RAMOS, M. B. (7 de DEZEMBRO de 2015). *REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL*. Fonte: REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE - UFRN: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/21009>

SOUZA, C. L. (11 de FEVEREIRO de 2017). *REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE- UFRN*. Fonte: REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL: <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/24727>

SOUZA, G. J. (2018). Efeito no resfriamento no teor de oxigenio na soldagem com eletrodo revestido E7018 utilizando experimentos fatoriais. São Paulo, São Paulo, Brasil.

SOUZA, S. A. (1982). Ensaaios mecânicos de materiais metálicos: fundamentos teóricos e práticos. SÃO PAULO, SÃO PAULO, BRASIL: BLUCHER.

TECCO, D. T. (1992). Processo de soldagem com eletrodo revestido. Em E. Wainer, *SOLDAGEM: PROCESSOS E METALURGIA* (pp. 31-55). São Paulo: Blucher.

THIAGO. (13 de ABRIL de 2015). *LABORANA*. Fonte: LABORANA: <http://virtualmarketingpro.com/blog/laborana/2015/04/13/uso-do-microscopio-metalografico/>

VEIGA, B. H. (Dezembro de 2011). *LUME- Repositorio Digital*. Fonte: UFRS:
<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/39184>