

Análise Metalográfica de um perfil soldado por eletrodo revestido

Rodrigo Costa de Freitas¹

Roberson Thiago Mendonça de Carvalho²

Ana Emília Díniz Silva Guedes(orientadora)³

RESUMO

O presente artigo pretende comparar e realizar análise metalográfica de um perfil soldado por eletrodo revestido de dois diferentes tipos: E6013 - Rutilico e E6010 – Celulósico, além de verificar a formação de escória, geração de gases e aspecto visual do cordão de solda. Os resultados obtidos mostraram que o eletrodo E6010 gerou muitos respingos de solda comparado ao E6013 onde apresentou manejo fácil, arco estável, baixas perdas por respingo, escória de fácil remoção conforme literatura, o que torna seu emprego muito adequado para ponteamto, especial para trabalhos em serralheria. A análise metalográfica mostrou que ambos consumíveis possuem materiais similares e que não ocorreram modificações estruturais significativas nas amostras.

Palavras-chave: Eletrodo. Rutilico. Celulósico. Solda

Metallographic analysis of a profile welded by a coated electrode

ABSTRACT

This paper intends to compare and perform metallographic analysis of a profile welded by coated electrode of two different types: E6013 - Rutilico and E6010 - Cellulosic, besides verifying the slag formation, gases generation and visual aspect of the bead weld. The results showed that the electrode E6010 generated many spatters weld compared to the E6013 that it presented easy handling, stable arc, low losses by splash, easily removable slag according to literature, which makes its use very suitable for locksmith shop. The metallographic analysis showed that both consumables have very similar materials and there were no significant structural changes in the samples.

Keywords: Electrode. Rutilico. Cellulose. Weld

¹Graduando de Engenharia Mecânica na Universidade Uninorte – E-mail: rodrigo_freitas91@hotmail.com

²Graduando de Engenharia Mecânica na Universidade Uninorte – E-mail: roberson95@hotmail.com

³Doutora em Engenharia Mecânica na UFRN – E-mail: aeds@gmail.com

1. Introdução

A soldagem permaneceu como um processo secundário de fabricação até o século XIX, quando a sua tecnologia começou a mudar radicalmente, principalmente, a partir das experiências de Sir Humphrey Davy (1801-1806) com o arco elétrico, da descoberta do acetileno por Edmund Davy e do desenvolvimento de fontes produtoras de energia elétrica que possibilitaram o aparecimento dos processos de soldagem por fusão (MODENESI, *et.al.*2015). A sua aplicação atinge desde pequenos componentes eletrônicos até grandes estruturas e equipamentos, como (pontes, navios e vasos de pressão). Existem muitos processos de soldagem diferentes, sendo necessária a seleção do processo (ou processos) adequado para uma dada aplicação. Ao mesmo tempo, o início da fabricação e utilização de aço na forma de chapas tornou necessário o desenvolvimento de novas formas processos de união para a fabricação de equipamentos e estruturas.

Segundo a (*American Welding Society - AWS*), “soldagem é o processo de união de materiais usado para obter a coalescência (união) localizada de metais e não metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem a utilização de pressão e/ou material de adição”.

A escolha do processo de soldagem deve considerar os requisitos do projeto, as características físicas e geométricas do material e o grau de mecanização desejado. A partir daí um processo de soldagem é definido pela fonte de calor, quantidade de calor trocado e tipo de proteção à solda. As diversas tecnologias existentes variam pouco entre os processos, as posições entre as peças unidas, geometria do material, entre outros (STUPELLO,2006).

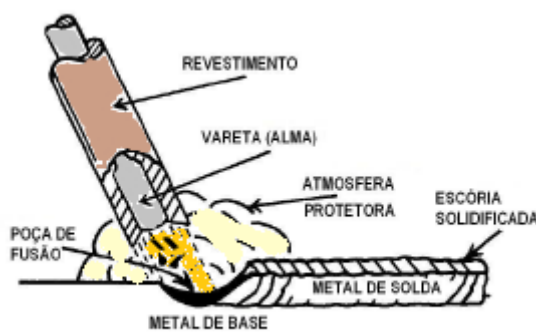
A soldagem por fusão pode ser separado em subgrupos, de acordo com o tipo de fonte de energia usada para fundir as peças, tal como soldagem a arco que é de grande importância industrial na atualidade, onde o processo de soldagem como o eletrodo revestido é o mais popular e que apresenta menor custo para iniciar.

O progresso alcançado no campo da soldagem, bem como o desenvolvimento de processos e tecnologias avançadas nos últimos anos é bastante amplo, principalmente na industrial naval, pois essa, trabalha basicamente na montagem de equipamentos e sistemas que recebe, integrando-os no complexo produto.

1.1 Soldagem com Eletrodos Revestidos

A soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido (*Shielded Metal Arc Welding – SMAW*), também conhecida como soldagem manual a arco elétrico. 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 1).

Figura 1 - Processo de soldagem a arco elétrico com eletrodo revestido



O calor produzido pelo arco funde 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. (ESAB, 2005)

Este processo no qual a coalescência (união) dos metais é obtida pelo aquecimento destes com um arco estabelecido entre um eletrodo especial revestido e a peça. O eletrodo é formado por um núcleo metálico ("alma"), com 250 a 500mm de comprimento, revestido por uma camada de minerais (argila, fluoretos, carbonatos, etc) e/ou outros materiais (celulose, ferro ligas, etc), com um diâmetro total típico entre 2 e 8mm. A alma do eletrodo conduz a corrente elétrica e serve como metal de adição. O revestimento gera escória e gases que protegem da atmosfera a região sendo soldada e estabilizam o arco. O revestimento pode ainda conter elementos que são incorporados à solda, influenciando sua composição química e características metalúrgicas. (MODENESI, *et.al.* 2015).

Nos processos de soldagem a arco, a quantidade de calor fornecida à junta e, portanto, as dimensões e o formato do cordão de solda dependem da corrente e tensão elétricas fornecidas ao arco e, na grande maioria dos processos da velocidade de soldagem (isto é, a velocidade com que o arco é deslocado ao longo da junta).

A corrente de soldagem pode variar de valores inferiores a 1A (na soldagem microplasma) a valores superiores a 1000 ou 2000A (em processos como a soldagem ao arco submerso). Esta variável afeta de forma importante a penetração do cordão e solda e a velocidade de fusão do eletrodo (e, portanto, a taxa de deposição). A tensão de soldagem varia

tipicamente de menos de 10V a valores que podem superar 100V (na soldagem a plasma). Esta, em geral, controla o comprimento do arco (isto é, a separação entre o eletrodo e o metal base ou entre os eletrodos que mantém o arco) e a largura do cordão de solda. (MODENESI, *et.al.* 2015).

1.2 Classificação dos eletrodos

A especificação AWS A5.1, essa especificação da American Welding Society (AWS) foi desenvolvida ao longo dos anos por um comitê composto de membros que representam os fabricantes de consumíveis.

Os eletrodos para aços carbono são classificados pelos fabricantes em conformidade com a especificação acima, com base nas propriedades mecânicas (também conhecidas como propriedades físicas) do metal de solda, no tipo de revestimento, na posição de soldagem, e no tipo de corrente (CA ou CC). O sistema de classificação é elaborado para fornecer certas informações sobre o eletrodo e o metal de solda depositado (ESAB, 2005). Podemos identificar o significado das designações da AWS de acordo com a seguinte nomenclatura:

E XX (X) Y Z

Onde temos que:

E – Eletrodo de soldagem a arco

XX (X) – indicam resistência do material em ksi (1ksi – 1000psi = 6850 Pa)

Y – Refere-se à posição de soldagem

1 – Todas as posições;

2 – Horizontal e plana;

3 – Plana;

4 – Plana, sobre cabeça, horizontal, vertical descendente

Z – Este varia de 0 a 8, em que indica a corrente a ser empregada, penetração da solda e o tipo de revestimento do eletrodo, conforme tabela 1:

Tabela 1 – Nomenclatura

	REVESTIMENTO	TIPO DE CORRENTE	PENETRAÇÃO
XX10	rev. Celulósico(sódio)	CC+	Grande
XX20	rev. Ácido	CC -	Grande
XXY1	rev. Celulósico (potássio)	CC+ CA	Grande

XXY2	rev. Rutílico (sódio)	CC- CA	Média
XXY3	rev. Rutílico (potássio)	CC+ CC- CA	Fraca
XXY4	rev. Rutílico (pó de ferro)	CC+ CC- CA	Média
XXY5	rev. Básico (sódio)	CC+	Média
XXY6	rev. Básico (potássio)	CC+ CA	Média
XXY7	rev. Ácido (pó de ferro)	CC- CA	Média
XXY8	rev. Básico (pó de ferro)	CC+ CA	Média

Fonte: Portal Metallica, Soldagem: Eletrodo Revestido

1.3 Ensaio não destrutivo por líquido penetrante

Este método, se iniciou antes da primeira guerra mundial, principalmente pela indústria ferroviária na inspeção de eixos, porém tomou impulso quando em 1942, nos EUA, foi desenvolvido o método de penetrantes fluorescentes. Nesta época, o ensaio foi adotado pelas indústrias aeronáuticas, que trabalhando com ligas não ferrosas, necessitavam um método de detecção de defeitos superficiais diferentes do ensaio por partículas magnéticas (não aplicável a materiais não magnéticos). A partir da segunda guerra mundial, o método foi se desenvolvendo, através da pesquisa e o aprimoramento de novos produtos utilizados no ensaio, até seu estágio atual (ANDREUCCI, 2014).

O ensaio não destrutivo (END) por líquido penetrante é um método desenvolvido especialmente para a detecção de discontinuidades essencialmente superficiais, e ainda que estejam abertas na superfície do material, tais como: trincas, poros, dobras, podendo ser aplicado em todos os materiais sólidos e que não sejam porosos ou com superfície muito grosseira. (ANDREUCCI, 2014).

1.4 Metalografia

Do ponto de vista de metalúrgico, soldagem é uma operação complexa, tendo em vista que as transformações ocorrem com o aço no estado sólido durante o aquecimento e resfriamento. O ciclo térmico de soldagem não é muito comum quando comparado com os tratamentos térmicos usuais, onde a taxa de aquecimento é elevada e o tempo de tratamento é curto, o que leva o metal de solda a elevadas temperaturas, tornando o metal de solda um local com elevado gradiente térmico (BUENO, 2010).

A análise metalográfica solda tem o objetivo de proceder com a verificação e avaliação das propriedades estruturais ou de composição dos elementos de metal e de suas ligas, com o intuito de as correlacionar com suas características: mecânicas, físicas e químicas. A análise metalográfica da liga metálica de ferro e carbono é dividida em dois tipos básicos, que são: a micrografia e a macrografia. A micrografia, quando é caracterizada pela matriz da pequena estrutura, bem como a contagem dos nódulos de grafita, no caso de ferro fundido, além da classificação de inclusões em aços, da proporção de fases, do tamanho de grãos, da homogeneidade relacionada a porosidades, das segregações, além de outros fatores diversos. Já na análise classificada como macrografia, os critérios são de tratamentos de temperatura, além do processo de soldagem e da qualificação e capacitação do soldador.

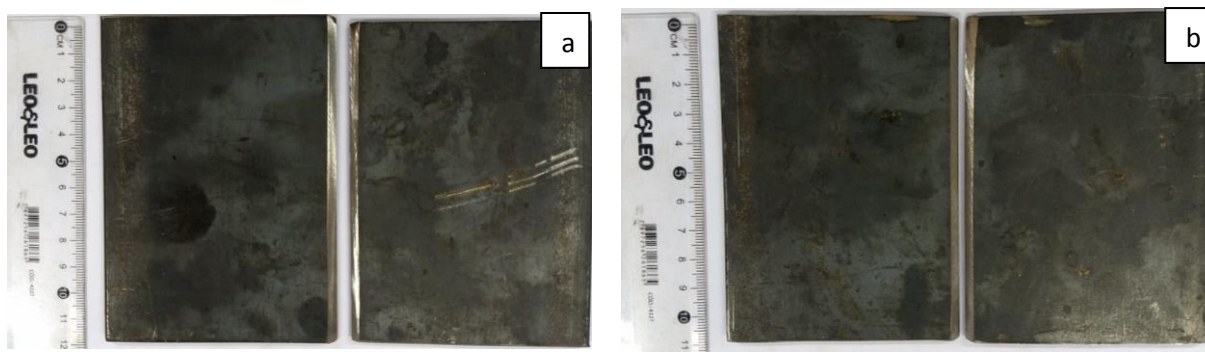
Este artigo tem por objetivo comparar e realizar análise metalográfica de um perfil soldado por eletrodo revestido E6010 tipo celulósico e E6013 tipo rutilico além de verificar a formação de escória, geração de gases, aspecto visual do cordão de solda e ensaio de dureza

2. Materiais e métodos

Para o processo de solda foi utilizado o equipamento NEO modelo: IT 8250/1/220M e consumíveis E6010 do tipo celulósico de composição (0,09C; 0,10 Si; 0,30 Mn) para o E6013 do tipo rutilico (0,06 C; 0,20 Si; 0,35 Mn).

Para a primeira amostra, figura 2(a), foi utilizado o eletrodo E6013 do tipo rutilico no porta eletrodo, foi realizada a deposição de um cordão de solda sobre o centro de uma chapa de aço 1020 espessura 4,75mm, com junção em “V” utilizando os parâmetros de soldagem com corrente de 90A, tensão de aproximadamente 20 volts com uma velocidade de soldagem de aproximada de 2 mm/s, formando um cordão de aproximadamente 110mm de comprimento.

Figura 2 - Amostra 1(a); Amostra 2(b)



Para o segundo caso (figura 2b) o eletrodo E6010 do tipo celulósico, a corrente foi regulada até se obter 88A e a tensão de até 23 volts, foi realizada a deposição de um cordão central sobre outra chapa com geometria semelhante a amostra 1, objetivando a mesma velocidade adotada. As peças soldadas, foram feitas em dispositivo para manter o parâmetro de soldagem e realizadas por um único soldador especializado.

Figura 3 - (a) – Amostra1 (E6013); 2(b)- amostra 2 (E6010)



Foi examinado cada um dos cordões, observando-se a geometria e aspecto geral dos mesmos, conforme figura 3a e 3b.

Após soldagem, foi realizado o ensaio não destrutivo (END). Podemos descrever o método em seis etapas principais no ensaio conforme, (ANDREUCCI, 2014).

- a) Preparação da superfície - Limpeza inicial Antes de se iniciar o ensaio, a superfície deve ser limpa e seca. Não devem existir água, óleo ou outro contaminante. Contaminantes ou excesso de rugosidade, ferrugem, tornam o ensaio não confiável.
- b) Aplicação do Penetrante: Consiste na aplicação de um líquido chamado penetrante, geralmente de cor vermelha, de tal maneira que forme um filme sobre a superfície e que por ação do fenômeno chamado capilaridade penetre na descontinuidade. Deve ser dado um certo tempo para que a penetração se complete.
- c) Remoção do excesso de penetrante: Consiste na remoção do excesso do penetrante da superfície, através de produtos adequados, condizentes com o tipo de líquido penetrante aplicado, devendo a superfície ficar isenta de qualquer resíduo na superfície.
- d) Revelação: Consiste na aplicação de um filme uniforme de revelador sobre a superfície. O revelador é usualmente um pó fino(talco) branco. Pode ser aplicado seco ou em suspensão, em algum líquido. O revelador age absorvendo o penetrante das

descontinuidades e revelando-as. Deve ser previsto um determinado tempo de revelação para sucesso do ensaio.

- e) Avaliação e Inspeção: Após a aplicação do revelador, as indicações começam a serem observadas, através da mancha causada pela absorção do penetrante contido nas aberturas, e que serão objetos de avaliação. A inspeção deve ser feita sob boas condições de luminosidade, se o penetrante é do tipo visível (cor contrastante com o revelador) ou sob luz negra, em área escurecida, caso o penetrante seja fluorescente.
- f) Limpeza pós ensaio: a última etapa, geralmente obrigatória, é a limpeza de todos os resíduos de produtos, que podem prejudicar uma etapa posterior de trabalho da peça (soldagem, usinagem).

Foi aplicado o líquido penetrante, obedecendo ao tempo para que o líquido penetrasse em qualquer possível descontinuidade na superfície da peça soldada. De acordo com as instruções do próprio revelador, o tempo deveria variar entre 5 e 10 minuto. Após decorrido o tempo da penetração recomendado pelo fabricante, o excesso do líquido foi removido com um pano úmido para, então, ser aplicado o líquido revelador, conforme figura 4a e 4b.

Figura 4 – (a) Amostra 1 - E6013; (b) amostra 2 – E6010



Após o ensaio END, os corpos de prova foram preparados, lixando-se e respeitando a ordem de granulação das lixas de 120, 220, 400, 600, 1200 e 1500 mesh. Para o processo de polimento foi utilizado pasta diamantada e alumina em suspensão nº3 – rosa - 0,3µm. Em seguida as amostras foram atacadas com Nital 2% durante 10 segundos, com o objetivo de revelar a microestrutura da peça. O tipo de ácido usado influencia no contraste entre ferrita e cementita, sendo o mais indicado para aços carbono, ferramentas e ligados. Este é capaz de revelar o contorno de grão ferrítico. Percebeu-se que a peça perdeu seu aspecto brilhoso. Em seguida foi realizado a análise macroestrutural com o auxílio de microscópio óptica para verificar a penetração da solda e as zonas fundida e termicamente afetada.

Após a análise macroestrutural, foi realizado o ensaio de dureza utilizando a escala Rockwell B e uma pré-carga de 100kgf onde foi medido para o aço 1020 e a zona soldada.

3. Resultados e Discussões

Tabela 2 - comparação entre as amostras 1(E6013) e 2(E6010).

	E6013	E6010
INICIO DA SOLDAGEM	Fácil abertura de arco	Maior dificuldade para abrir o arco
ASPECTO VISUAL	Bom acabamento superficial, mais fluido.	Apresentou-se muito ruim e aparentemente de má qualidade
FORMAÇÃO DE ESCÓRIA	Pouca escória e fácil remoção	Pouca escória de fácil remoção
NUVEM DE GÁS PROTETORA	Pouco intenso	Maior geração de gases
RESPINGOS	Pouco Respingo	Muito Respingo

De acordo com os resultados obtidos, tabela 2, percebeu-se que o eletrodo E6013 teve a formação de arco mais estável, além disso o eletrodo teve um bom acabamento superficial, isso refere-se a forma que o cordão de solda adquiriu após o fim do ato de soldagem. Existem inúmeras variáveis que podem influenciar no acabamento e na forma do cordão de solda, dentre eles, o fator humano, pois de nada adianta uma máquina bem regulada, a corrente ideal para o eletrodo se o operador a manusear o eletrodo não seja bom na função.

O eletrodo E6010, mostrou formação de arco elétrico instável, isso ocorreu devido às próprias características do eletrodo, os compostos celulósicos de seu revestimento, o que caracterizou a formação de um cordão de solda pobre em acabamento superficial, além de produzir muitos respingos. Exatamente por esse fator estes eletrodos são utilizados para realizar soldas de raiz para depois serem sobrepostos por outro eletrodo de melhor acabamento.

Quanto a camada protetora da solda deixada pelo revestimento do eletrodo no ato do depósito de material na peça, denominado “escória”, que flutua em direção a superfície da posta de solda formando assim uma camada de proteção contra qualquer tipo de resíduo que possa vir a contaminar a peça. Percebeu-se a formação de escória no eletrodo E6013, essa de fácil

remoção que realizou bem o papel de proteção do cordão de solda. O eletrodo E6010 formou pouca escória depositada no ato da soldagem, isso devido ao composto celulósico que, no ato da queima, teve maior liberação de gases que fizeram o papel de proteção.

Com a realização do teste com líquido penetrante, observou-se pequenas inclusões com pode ser observado na figura 4a e 4b. Apesar de ser um defeito grave que pode ser observado em qualquer tipo de soldagem, não é um dado conclusivo, pois vários fatores podem vir a ocasionar o aparecimento de escória no interior da solda, como corrente irregular ou proteção do eletrodo ineficiente

Analizando as imagens obtidas pela microscopia óptica, figura 5, a microestrutura do aço 1020 e seus microconstituintes com grãos de ferrita (fase clara) e grãos de perlita (fase escura).

Conforme observado na figura 6(a) e 6(b) o metal de adição 6013 e 6010 são semelhantes com metal base, aço SAE 1020. Analisando a macrografia da figura 7a e 7b, percebe-se que a zona termicamente afetada (ZTA) não aparece nitidamente para a amostra 2 (figura 7b), isto indica que a dureza foi semelhante com metal base, diferentemente da amostra 1 (figura 7a). Podemos confirmar isso pelo ensaio de dureza (gráfico 1), onde para amostra 1 teve maior variação, indicando um aumento da dureza a medida que se aproxima da região soldada, enquanto a amostra 2 permaneceu próximo a dureza do metal base, o que significa que teve um cordão de solda mais homogêneo, sem grandes variações nas propriedades mecânicas, Já a amostra 1, que apresentou maior variação na dureza ao longo da ZTA, heterogeneidade na microestrutura.

De modo geral as análises comparativas dos eletrodos E6010 e E6013 citadas neste artigo, tabela 2, tiveram resultado similar ao trabalho realizado por NEVES, *et.al.*2013.

Figura 4 - Microestrutura aço 1020 - 40X

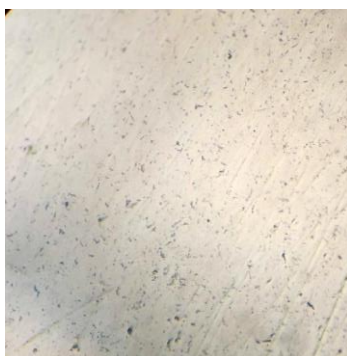


Figura 5 - (a) Metal de adição -Amostra1 (E6013) – 40X; (b)Amostra 2(E6010) – Metal de adição – 40X

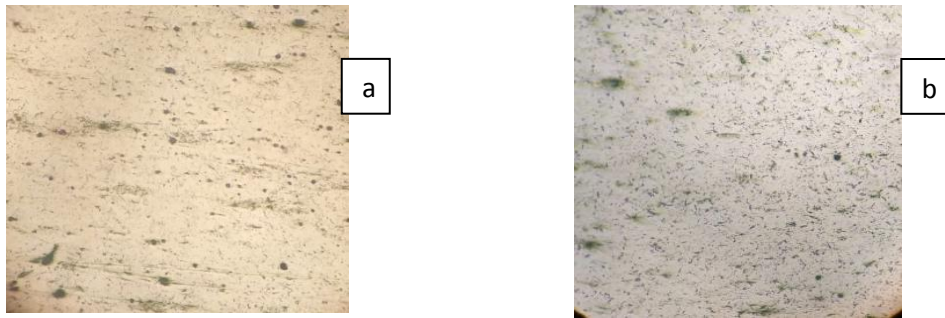


Figura 7 - Macrografia (a) - zona termica afetada Amostra 1(E6013); (b)Amostra 2 (E6010)

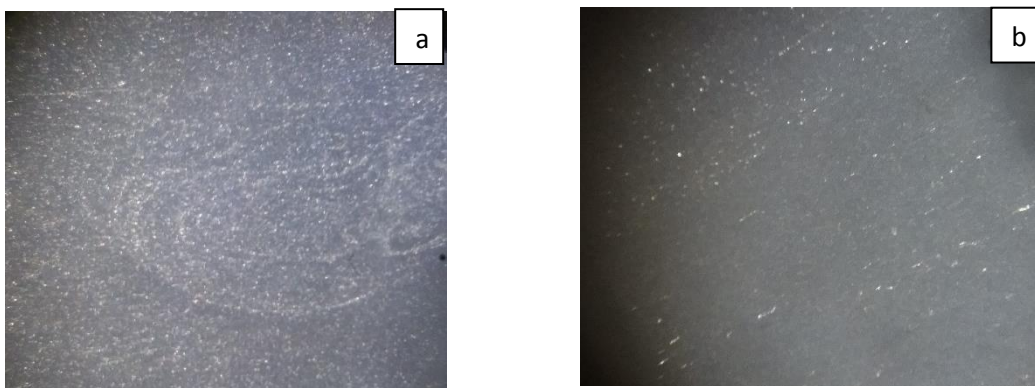
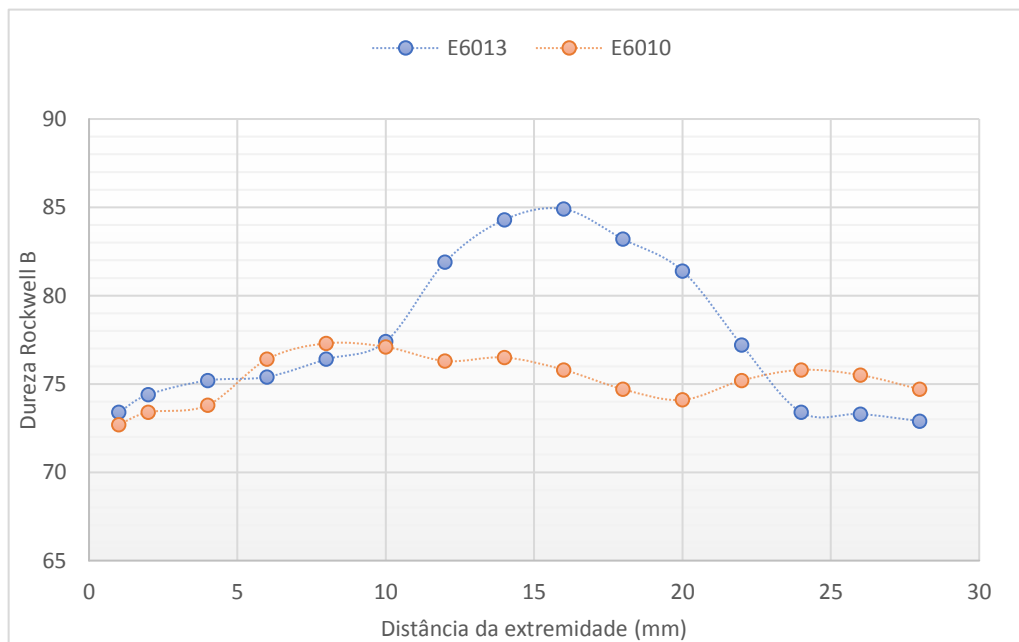


Gráfico 1 - Variação da dureza ao longo do comprimento



4. Conclusão

Com a realização da análise e com os resultados obtidos utilizando os mesmos métodos de soldagem, conclui-se que utilizando os mesmos métodos de soldagem o processo de soldagem com o eletrodo E6013 do tipo rutílico apresentou melhor aparência do cordão de solda, maior facilidade para se soldar a chapa, arco mais estável, baixas perdas por respingo. É um eletrodo utilizado para trabalhos onde não se necessita de alta penetração, como trabalhos de serralheria ou soldas em chapas de pequena espessura, tornando seu emprego muito adequado para ponteameto. O eletrodo E6010 do tipo celulósico apresentou dificuldade no ponto de início do arco elétrico e a aparência do cordão de solda não foi de boa qualidade, gerou muitos respingos. Devido a sua característica de solda de alta penetração, é o eletrodo mais indicado para trabalhos onde se requer mais confiabilidade com alta penetração no material. Este eletrodo também é mais indicado para solda de raiz, onde o operador faz os primeiros cordões de solda no aço para completar a junção com outro eletrodo. Além disso, faz-se necessário seguir corretamente os parâmetros de soldagem informado pelo fabricante afim de obter um resultado ideal e contar com as habilidades de um soldador experiente.

5. Referência

ANDREUCCI, Ricardo. **Líquidos Penetrantes**. Abendi - São Paulo, Fevereiro, 2014.

Alisson Caetano Neves, Edivaldo Arcanjo, Eziquiel de Paulo, Joãozinho de Paula Goetten. **Análise comparativa dos eletrodos revestidos E6010 e E6013 em aço SAE 1020**. Santo Antônio da Platina, 2013

Bueno, Roberto dos Santos. **Análise microestrutural de junta soldada de aço baixa liga**. Rio de Janeiro, 2010.

Bruno Mello de Freitas; José Costa de Macedo neto; Reginaldo de Souza da Silva; André Ricardo Brandão Gusmão; Luciano Barbosa Freitas. **Microestrutura e microdureza do aço SAE 1020 em diferentes tratamentos térmicos**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC, 2016.

Fortes, Cleber. Vaz, Cláudio Turani. **Apostila eletrodo revestido**. ESAB BR. Fevereiro, 2005.

MODENESI, Paulo; MARQUES, Paulo. **Introdução ao processo de Soldagem**. Belo Horizonte, 2015. (Apostila)

Paulo Villani, Paulo José Modenesi, Alexandre Queiroz Bracarense. **Soldagem: Fundamentos e Tecnologia**. – 4 ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2017;

Portal Metallica, **Soldagem: Eletrodo Revestido** Disponível em: <<http://www.metallica.com.br/soldagem-eletrodo-revestido-edificacoes-aws>>. Acesso em: 10 de setembro de 2018

Portal LEMM, Laboratório de Ensaios Mecânicos e Materiais - **Metalografia preparação de amostras - uma abordagem pratica**. Disponível em: <<http://www.urisan.tche.br/~lemm/metalografia.pdf>>. Acesso em: 02 Outubro de 2018