



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS – UFMG
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA - DEMEC
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DA SOLDAGEM

TESTE COMPARATIVO:
Eletrodo revestido E6013 – Ø 2,5mm nacional e importado

Belo Horizonte – MG
2019

MURILO MACHADO FARIA DE AZEVEDO
MATHEUS HENRIQUE NUNES

MONOGRAFIA

TESTE COMPARATIVO:

Eletrodo revestido E6013 – Ø 2,5mm nacional e importado

Monografia apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia da Soldagem da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), como pré-requisito para obtenção do título de Engenheiro de Soldagem.

Orientador: Prof. Doutor Alexandre Queiroz Bracarense.

Belo Horizonte – MG

2019

MURILO MACHADO FARIA DE AZEVEDO

MATHEUS HENRIQUE NUNES

T343

Nunes, Matheus Henrique; Azevedo, Murilo Machado Faria.
Teste comparativo [recurso eletrônico]: eletrodo revestido E6013-
ø2,5 mm nacional e importado / Matheus Henrique Nunes; Murilo
Machado Faria Azevedo. – 2019.

1 recurso online (52 f., pdf.: il)

Orientador: Alexandre Queiroz Bracarense.

“Monografia apresentada ao Curso de Especialização em
Engenharia da Soldagem da Escola de Engenharia da Universidade
Federal de Minas Gerais”

Apêndices: f. 44-52.

Bibliografia: f. 43.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Soldagem. 2. Eletrodos. 3. American Welding Society.
I. Bracarense, Alexandre Queiroz. II. Universidade Federal de
Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 621.791



Universidade Federal de Minas Gerais
ESCOLA DE ENGENHARIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
Curso de Especialização em Soldagem

Ata 01ª/2019 da Defesa de Monografia de Especialização

No dia 17 de dezembro de 2019, às 14:00 h, a Comissão Examinadora se reuniu para avaliar o trabalho:

Título: "TESTE COMPARATIVO ENTRE ELETRODOS REVESTIDOS E6013 2,5MM: NACIONAL E IMPORTADO".

Aluno: Murilo Machado Faria de Azevedo – Matrícula: 2018701163

Matheus Henrique Nunes – Matrícula: 2018701147

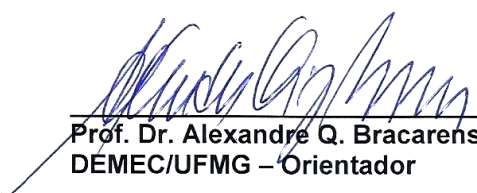
Local: Laboratório de Robótica, Soldagem e Simulação – LRSS, Depto. Eng^a Mecânica – Prédio da EEUFMG Av. Antônio Carlos, 6627 – Campus da UFMG, Pampulha – Belo Horizonte.

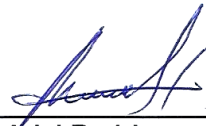
Parecer:

A Comissão Examinadora, após a apresentação pelo (a) candidato (a) durante 40 minutos e após ter argüido o(a) candidato(a) por 30 minutos, é de parecer PARCIAL à aprovação do trabalho de monografia com a nota final de 70 e COM (com ou sem) sugestões de modificação.

Sugere-se o prazo de 60 dias para efetuar-se as modificações sugeridas com revisão final acompanhada e homologada pelo orientador Prof. Dr. ALEXANDRE Q BRACARENSE

Assinaturas:


Prof. Dr. Alexandre Q. Bracarense
DEMEC/UFMG – Orientador


Prof. Dr. Ariel Rodriguez Arias
DEMEC/UFMG - Avaliador


Aluno: Murilo Machado F. Azevedo


Aluno: Matheus Henrique Nunes

RESUMO

Dentre todos os processos de soldagem, o método mais difundido e utilizado, atualmente, é o de soldagem por eletrodos revestidos (SMAW – *Shielded Metal Arc Welding*). Isso pode ser atribuído à sua versatilidade e, também, ao custo relativamente menor quando comparado a outras técnicas. Em consequência da demanda de consumo e da baixa capacidade de produção interna de eletrodos revestidos, há, no Brasil, uma grande oferta de consumíveis de solda importados, com destaque para os provenientes da China, o principal país exportador do mundo. A partir desse contexto, o propósito deste estudo foi realizar um comparativo técnico entre o eletrodo de modelo E6013 Ø2,5mm importado e nacional para avaliar, quantitativamente e qualitativamente, suas condições e características. Para tanto, este trabalho foi apoiado na norma AWS A5.1, padrão da *American Welding Society*, cujo objeto é a designação de propriedades dos eletrodos revestidos, e dois testes foram realizados: o *Welding Blind Test*, de natureza empírica, que contou com a participação de três soldadores, e o ensaio de tração, que visou revelar dados característicos do material em análise. O resultado do primeiro teste, que se fundamenta na avaliação dos voluntários, mostrou um resultado positivo, mas que não foi confirmado pelo teste laboratorial, devido à identificação de defeitos na solda.

Palavras-chave: Eletrodo revestido. AWS A5.1. *American Welding Society*. Soldagem. E6013.

ABSTRACT

Among of the all welding process, the most currently wide spread method is the SMAW (Shielded metal arc welding). This is due its versatility as well as its low cost. As consequence of the high demand and the low internal production capacity, there are in Brazil, a huge Market in the welding field, highlighting products from China, which are the biggest export country in the world. From this background the main goal of this work was to make a technical comparative between the E6013 Ø2,5mm imported and national, in order to check qualitatively and quantitatively its condition as well as characteristics. For that, our work was made upon the AWS A5.1 standart – American Welding Society which its designation is about the shielded electroded properties and then two test was made, being : Welding blind Test which is empirical and was made by 3 professionals welders, and the tensile test which its goal is to reveal characteristics dates about the material. The Blind test showed a positive result but which was not confirmed by the tensile test, due to the identification of defects in the weld.

Key-words: Shielded electrode. AWS A5.1. American Welding Society.

Welding. E6013.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Desenho esquemático do processo de soldagem com eletrodo revestido.	13
Figura 2: Efeito da concentricidade do revestimento.....	15
Figura 3: Tabela n°1 da Norma AWS A5.1 - " <i>Electrode Classification</i> ", contém classificações dos eletrodos.....	19
Figura 4: Classificação de Eletrodos Revestidos para Aços Carbono.....	20
Figura 5: Tabela n°2 da Norma AWS A5.1 - " <i>Tension test requirements</i> ", contém as propriedades mecânicas do metal de solda	20
Figura 6: Tabela n°4 da Norma AWS A5.1 - " <i>Required tests</i> ", pontua em quais tipos de eletrodos são necessários realização de testes para certificação.....	21
Figura 7: Tabela n°7 da Norma AWS A5.1 - " <i>Chemical Composition Requirements for Weld Metal</i> "	22
Figura 8: Ensaio de Tração Simplificado.....	23
Figura 9: Modelo da máquina de solda utilizada no <i>Weldind Blind Test</i>	25
Figura 10: Tabela A4 da Norma AWS A5.1, <i>Typical Amperage Ranges</i> , contém limites de corrente de soldagem.....	26
Figura 11: Soldador executando o <i>Welding Blind Test</i>	27
Figura 12: Tabela n°5 da Norma AWS A5.1 - " <i>Base Metal for Test Assemblies</i> ", contém tipo de material de base do corpo de prova.....	28
Figura 13: Figura n°2 da Norma AWS A5.1 - " <i>Groove Weld Test Assembly for Mechanical Properties and Soundness of Weld Metal</i> ", contém especificações do chanfro do corpo de prova.....	29
Figura 14: A – Marcação para cortar o material de base, B – Materiais cortados, C – Confecção do chanfro especificado utilizando gabarito, D – Peças dispostas para soldagem com o backing.....	30
Figura 15: Corpos de prova soldados conforme especificação AWS 5.1	30
Figura 16: Fonte de soldagem Multiprocesso Eutectic Castolin MigPulse 3000.	31
Figura 17: Figura 4.1 da Norma AWS B4.0 – " <i>Round Tensile Specimens</i> ", contém as características para o corpo de prova de tração.	32
Figura 18: Corpo de prova n°1 - Detalhe para as descontinuidades (região centra' - extremidades.....	
Figura 19: Corpo de prova n°1 - Vista inferior.	33
Figura 20: Corpo de prova n°2 - Detalhe para as descontinuidades (extremidades)	33

Figura 21: Corpo de prova n°2 – Vista inferior.	33
Figura 22: <i>Welding Blind Test</i>	34
Figura 23: Região de Fratura – Corpo de Prova 1	39
Figura 24: Região de Fratura – Corpo de Prova 2	39

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resultado do <i>Welding Blind Test</i> n°1	35
Gráfico 2: Resultado do <i>Welding Blind Test</i> n°2.....	36
Gráfico 3: Resultado do <i>Welding Blind Test</i> n°3.....	36
Gráfico 4 Resultado GERAL do <i>Welding Blind Test</i>	37
Gráfico 5 – Resultado do ensaio de tração	38

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 Contexto histórico	12
2.2 Soldagem com eletrodos revestidos	13
2.3 Fabricação de eletrodos revestidos	14
2.4 Funções dos revestimentos dos eletrodos	15
2.5 Tipos de revestimentos dos eletrodos	17
2.6 A norma AWS A5.1	18
2.7 Testes utilizados	22
2.7.1 Welding Blind Test	22
2.7.2 Ensaio de tração	22
3 DESENVOLVIMENTO	24
3.1 Welding Blind Test	24
3.1 Ensaio de tração	27
4 RESULTADOS	34
4.1 Welding Blind Test	34
4.2 Ensaio de tração	37
5 CONCLUSÃO	41
REFERÊNCIAS:	43
APÊNDICE A – Welding Blind Test executado pelo soldador O. Francisco	44
APÊNDICE B – Welding Blind Test executado pelo soldador M. Vasconcelos	45
APÊNDICE C – Welding Blind Test executado pelo soldador G. Silvério	46
APÊNDICE D – Relatório CP 13928 - Pág 1/2	47
APÊNDICE E – Relatório: CP 13928 - Pág 2/2	48
APÊNDICE F – Relatório: CP 13928 - Gráfico	49
APÊNDICE G – Relatório: CP 13929 - Pág 1/2	50
APÊNDICE H – Relatório: CP 13929 - Pág 2/2	51
APÊNDICE I – Relatório: CP 13929 - Gráfico	52

1 INTRODUÇÃO

O processo de soldagem por eletrodos revestidos (SMAW – *Shielded Metal Arc Welding*) é o método mais difundido e utilizado dentre todos os outros. Isso se deve a sua grande versatilidade, que engloba vários tipos de materiais, posições de soldagem, fontes etc. Além disso, é o melhor processo para se soldar no campo, graças a seu revestimento conter fluxo que, ao abrir o arco elétrico, se transforma em gás, fazendo, assim, o trabalho de proteção do arco. Outro fator importante é o custo, relativamente, baixo quando comparado aos outros processos. Diante disso, atualmente, há um enorme e competitivo mercado de eletrodos, que, devido à demanda, são consumidos em uma escala gigantesca.

No que concerne à produção, tem-se marcas renomadas e consolidadas no mercado internacional e nacional, como ESAB, Lincoln etc. A oferta de produtos importados sempre esteve presente no Brasil, isso, quase sempre, se deve à baixa capacidade de produção interna, o que faz com que o país se abra para o comércio exterior. Isso ocorre, igualmente, no mercado de soldagem. A China é o principal país exportador do mundo¹ (PANZINE *et al.*, 2001) e os seus produtos estão cada vez mais presentes em nosso cotidiano, inclusive, consumíveis de solda. Devido ao considerável aumento nas importações, houve a necessidade de realizar um comparativo técnico do eletrodo importado em relação ao fabricado no Brasil, afim de avaliar, quantitativamente e qualitativamente, suas condições e características. Para tanto, foi ressaltada a norma AWS A5.1, cuja objeto é a designação de propriedades dos eletrodos revestidos.

Este trabalho foca o eletrodo E6013 Ø2,5mm, por ser o modelo um dos modelos mais vendidos e utilizados comercialmente em trabalhos de baixa responsabilidade.

¹ Segundo o livro **Políticas Industriais e Comerciais da China Sob a Perspectiva da Regras da OMC**, passados quinze anos da inserção da China da OMC, ocorrida em 2001, as exportações aumentaram em 780%, e o país se tornou o maior exportador mundial, superando a Alemanha.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Contexto histórico

A soldagem consiste em união de dois materiais realizada por meio de fusão em íntimo contato, ou pela fusão de ambos e adição de outro material fundido, ou, ainda, simplesmente, por contato desses materiais, nas fases sólida ou semi-sólida. (MACHADO, 1996).

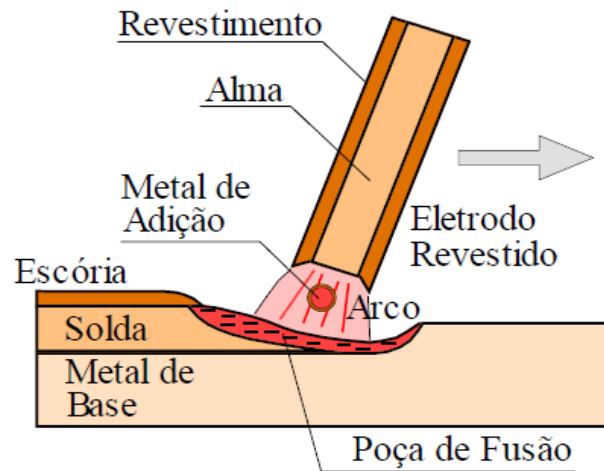
A primeira patente de soldagem por arco elétrico foi registrada, em 1865, pelo inglês Wilde, que conseguiu unir duas peças de ferro por meio da passagem de corrente elétrica, através delas, até obter uma soldagem por fusão.

Vinte anos depois, a primeira patente de um processo de soldagem com o arco elétrico estabelecido entre um eletrodo de carvão e o metal de base foi registrada pelo engenheiro Nikolas Bernados.

Já em 1890, Slavianoff e Charles Coffin desenvolveram a soldagem por arco elétrico com eletrodo metálico nu, que se fundia à peça e se tornava parte do metal de solda. Porém as soldas realizadas eram de baixa qualidade devido à falta de proteção da poça de fusão, fazendo com que gases, como o nitrogênio e oxigênio, adentrassem-na, formando óxidos prejudiciais ao metal de base, originando defeitos como trincas e porosidades. (FORTES, 2005) Sendo assim, no início do século XX, houve necessidade de se criar proteção para a poça de fusão, e revestir o eletrodo com materiais que se fundissem com o calor do arco foi a melhor alternativa para criá-la.

O engenheiro sueco Oscar Kjellberg, já em 1904, perante à necessidade de melhorar a qualidade da solda em manutenções e reparos de caldeiras, revestiu o eletrodo metálico com uma camada de Cal, afim de facilitar a abertura do arco elétrico e aumentar sua estabilidade. Tendo obtido sucesso, em 1907, Kjellberg patenteou o processo de soldagem a arco com eletrodo revestido. Esse processo funciona a partir da coalescência entre metais por aquecimento, gerado a partir de um arco elétrico estabelecido entre um eletrodo metálico revestido e a peça que está sendo soldada. (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2017)

Figura 1: Desenho esquemático do processo de soldagem com eletrodo revestido



Fonte: (MARQUES; MODENESI; BRACARENSE, 2017, p. 167)

Desde então, vários aprimoramentos foram realizados de acordo com a necessidade de cada tipo de soldagem e material a ser soldado, fazendo com que a união por eletrodos revestidos seja, até hoje, o mais utilizado no mundo. Isso se deve a sua alta versatilidade, relativo baixo custo de operação, simplicidade de seus equipamentos, além da possibilidade de soldagem em várias posições e em locais abertos, por conter o gás de proteção em seu próprio revestimento. Em contrapartida, as desvantagens do processo são a baixa produtividade, pois se trata de um processo manual que depende exclusivamente do soldador, a necessidade de troca de eletrodos toda vez que são consumidos, os cuidados a serem tomados no armazenamento e manuseio dos consumíveis, além da emissão de gases e fumos gerados ao abrir o arco. (FORTES, 2005)

2.2 Soldagem com eletrodos revestidos

O eletrodo é formado por um núcleo metálico, alma, que varia de 250mm 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 2mm e 8mm. A alma do eletrodo conduz a corrente elétrica e serve como metal de adição. O revestimento gera escórias e gases que protegem a região sendo soldada contra a atmosfera e estabilizam o arco. O revestimento pode, ainda,

conter elementos que são incorporados à solda, influenciando sua composição química e características metalúrgicas. O seu equipamento usual consiste de fonte de energia (ou máquina de soldagem), porta-eletrodo, cabos, além de equipamentos de segurança para o soldador (máscara, luvas, avental etc.) e para a limpeza do cordão e remoção de escória (picadeira e escova de aço). Para a soldagem, a parte não revestida do eletrodo é fixada ao porta eletrodo, e o arco é iniciado tocando, rapidamente, a ponta do consumível na peça (que estão conectados por cabos aos terminais da máquina de soldagem). O calor do arco funde a ponta do eletrodo e um pequeno volume do metal de base, formando, assim, a poça de fusão. A soldagem é realizada manualmente, com o soldador controlando o comprimento do arco e a poça de fusão (pela manipulação do eletrodo) e deslocando-o ao longo da junta. Quando o eletrodo é quase todo consumido, o processo é interrompido para a troca e a remoção da escória da região onde a soldagem será continuada. (MARQUES; MODENESI, 2012)

2.3 Fabricação de eletrodos revestidos

Eletrodos revestidos para aços carbono consistem de apenas dois elementos principais: a alma metálica, normalmente de aço carbono, e o revestimento. A alma metálica pode conter alguns elementos residuais, como fósforo e enxofre, porém os teores devem ser baixos para evitar fragilização no metal de solda. A matéria prima para a alma metálica é um fio máquina laminado a quente na forma de bobinas, que é, posteriormente, trefilado a frio até o diâmetro adequado do eletrodo, retificado e cortado no comprimento apropriado.

Segundo Fortes (2005), os ingredientes do revestimento, dos quais existem, literalmente, centenas para escolher, são cuidadosamente pesados, misturados a seco e, então, é adicionado o silicato de sódio e/ou potássio. A mistura é compactada em um cilindro e alimenta a prensa extrusora. O revestimento é extrudado sobre as varetas metálicas em uma velocidade muito alta e, posteriormente, é removido da extremidade do eletrodo para garantir o contato elétrico, e, também, da outra extremidade para assegurar uma fácil abertura de arco. Em sequência, os eletrodos são classificados e encaminhados ao forno de secagem, onde passam por aquecimento controlado para certificar o teor adequado de umidade.

Dentre as muitas verificações de qualidade, destaca-se o procedimento que garante que a espessura do revestimento e concentricidade da alma do eletrodo sejam uniformes. Na soldagem manual com eletrodos revestidos, a cratera de revestimento, ou a formação de uma taça na ponta do revestimento, que se estende além da alma metálica, realiza a função de concentrar e dirigir o arco, conforme é ilustrado na figura abaixo. (FORTES, 2005)

Figura 2: Efeito da concentricidade do revestimento



Fonte: (FORTES, 2005, p. 6)

2.4 Funções dos revestimentos dos eletrodos

No âmbito destas discussões, existem dois tipos de ingredientes contidos nos revestimentos: líquidos e sólidos. Os líquidos são os silicatos de sódio e potássio. Os sólidos são pós ou materiais granulados que podem ser encontrados livres na natureza. A estrutura física dos ingredientes do revestimento pode ser classificada como cristalina, fibrosa ou amorfa (não cristalina). Os cristalinos são os mais utilizados, por exemplo o Rutilo, derivado natural do mineral dióxido de Titânio (TiO_2), portanto algumas das funções do revestimento são, conforme Fortes (2005):

- **Proteção do metal de solda:** a principal função do revestimento é proteger a poça líquida de fusão, de gases como oxigênio e nitrogênio. Essa proteção é imperativa para evitar que o metal de solda tenha porosidades e garantir que ele possua resistência e ductilidade. O gás nitrogênio pode se combinar com

o ferro, em alta temperatura, e gerar nitretos de ferro, ocasionando fragilidade e porosidade. O mesmo vale para o oxigênio, esse pode vir a gerar óxidos prejudiciais à qualidade da solda, criando, também, porosidade. Esse último pode ser mais facilmente controlado do que o nitrogênio, com uso de desoxidantes.

- **Estabilização do arco:** refere-se à facilidade de abertura do arco e sua manutenção em uso de correntes mais baixas.
- **Adições de elementos de liga:** Tem como objetivo reduzir a perda esperada desses elementos da vareta durante a volatilização. Elementos como o Cromo, Níquel, Molibdênio, Vanádio e Cobre são, frequentemente, incorporados ao revestimento.
- **Função da escória:** A escória é de suma importância no controle da velocidade de resfriamento da solda, ela não deixa que o material soldado esfrie rapidamente ocasionando fragilidade e permite o escape dos gases. Outra função é absorver impurezas que são levadas à superfície e ficam aprisionadas por ela.
- **Posições de soldagem:** O tipo de revestimento, principalmente o rutilico, permite a soldagem fora de posição. Características da escória formada, como tensão superficial e temperatura de solidificação, são importantes no controle da poça líquida, permitindo soldar em posições verticais e sobre-cabeça.
- **Propriedades mecânicas:** Características como tenacidade, ductilidade, resistência mecânica podem ser obtidas através de adições de elementos de liga no revestimento.

2.5 Tipos de revestimentos dos eletrodos

Os tipos de revestimentos são classificados de acordo com a sua formulação química. Dentre a diversidade de modelos, há três principais, segundo Fortes (2005), suas principais características são:

Revestimento Celulósico

- Elevada produção de gases (CO_2 , CO , H_2 , H_2O) resultantes da combustão dos materiais orgânicos (celulose).
- Não devem ser ressecados.
- A atmosfera redutora formada protege o metal fundido.
- O alto nível de hidrogênio no metal de solda depositado impede o uso em estruturas muito restritas ou em materiais sujeitos a trincas por hidrogênio.
- Alta penetração.
- Pouca escória, facilmente destacável.
- Muito utilizados em tubulações.
- Operando em CC^+ obtém-se transferência por *spray*.

Revestimento Básico

- Melhor qualidade mecânica-metalúrgica do que os outros tipos de revestimento, destacando-se a tenacidade.
- Elevados teores de carbonato de cálcio e fluorita, gerando um metal de solda altamente desoxidado e com baixo nível de inclusões complexas de sulfetos e fosfetos.
- Escória fluida e facilmente destacável.
- Cordão de média penetração e perfil plano ou convexo.
- Após algumas horas de contato com a atmosfera, requer ressecagem por ser altamente higroscópico.

Revestimento Rutilico:

- Consumível de uso geral.
- Revestimento apresenta até 50% de rutilo (TiO_2).
- Média penetração.

- Escória de rápida solidificação, facilmente destacável.
- O metal de solda pode apresentar um nível de Hidrogênio alto.
- Requer ressecagem a uma temperatura, relativamente, baixa, para que o metal de solda não apresente porosidades grosseiras.
- São eletrodos de fácil manipulação.
- Podem ser usados tanto em CC ou CA.
- Permite soldar em qualquer posição.

2.6 A norma AWS A5.1

A AWS é a abreviação para *American Welding Society*, em português, Sociedade Americana de Soldagem. Conforme consta no *site* oficial, a associação foi fundada, em 1919, com a missão de trabalhar para o avanço da ciência, tecnologia e aplicação de soldagem, além de processos de união, corte, incluindo brasagem e pulverização térmica. Sua atual sede fica em na cidade de Miami, no estado da Flórida, nos Estados Unidos, é apoiada por mais de 100 profissionais e atende quase 53.000 membros em todo o mundo, incluindo 7.000 membros internacionais. A organização é muito conhecida por seus procedimentos de código e certificação, que fornecem padrões para indústria relacionados à soldagem e união de metais, plásticos e outros materiais. (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2019) Com o intuito de padronizar várias aplicações, é necessária a utilização dessas normas, que vigoram em qualquer lugar do mundo, pois testes e experiências comprovam que, ao segui-las, é alcançado um padrão mínimo desejado, estabelecido pela norma.

No que concerne aos eletrodos revestidos para soldagem de aço carbono, a norma estabelecida pela *American Welding Society* é a *Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding*², doravante, AWS A5.1. Nota-se, na figura 3, que a AWS já prevê, para cada tipo de eletrodo, características mecânicas e químicas mediante seu revestimento, quais posições de soldagem possíveis, qual o tipo de corrente deve ser utilizada, dentre outros aspectos.

² Especificação de eletrodos para aço carbono para o processo de arco elétrico com eletrodo revestido.

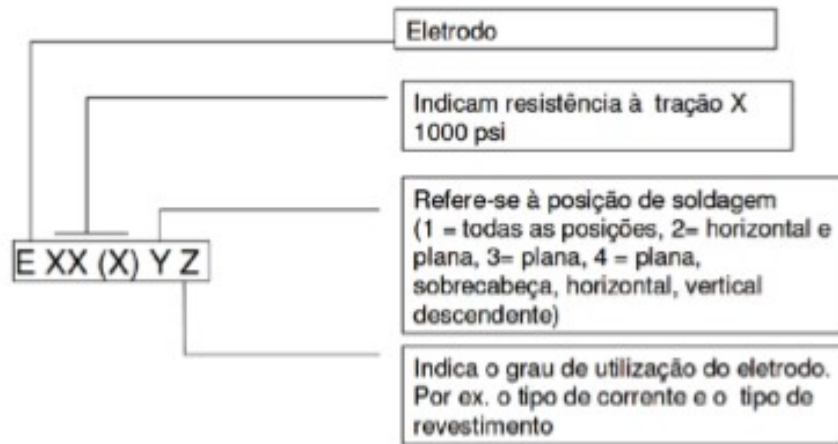
Figura 3: Tabela nº1 da Norma AWS A5.1 - "*Electrode Classification*", contém classificações dos eletrodos

AWS Classification		Type of Covering	Welding Position ^a	Type of Current ^b
A5.1	A5.1M			
E6010	E4310	High cellulose sodium	F, V, OH, H	dcep
E6011	E4311	High cellulose potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E6012	E4312	High titania sodium	F, V, OH, H	ac or dcen
E6013	E4313	High titania potassium	F, V, OH, H	ac, dcep, or dcen
E6018 ^c	E4318 ^c	Low-hydrogen potassium, iron powder	F, V, OH, H	ac or dcep
E6019	E4319	Iron oxide titania potassium	F, V, OH, H	ac, dcep, or dcen
E6020	E4320	High iron oxide	H-fillet F	ac or dcen ac, dcep, or dcen
E6022 ^d	E4322 ^d	High iron oxide	F, H-fillet	ac or dcen
E6027	E4327	High iron oxide, iron powder	H-fillet F	ac or dcen ac, dcep, or dcen
E7014	E4914	Iron powder, titania	F, V, OH, H	ac, dcep, or dcen
E7015	E4915	Low-hydrogen sodium	F, V, OH, H	dcep
E7016 ^c	E4916 ^c	Low-hydrogen potassium	F, V, OH, H	ac or dcep
E7018 ^c	E4918 ^c	Low-hydrogen potassium, iron powder	F, V, OH, H	ac or dcep
E7018M	E4918M	Low-hydrogen iron powder	F, V, OH, H	dcep
E7024 ^c	E4924 ^c	Iron powder, titania	H-fillet, F	ac, dcep, or dcen
E7027	E4927	High iron oxide, iron powder	H-fillet F	ac or dcen ac, dcep, or dcen
E7028 ^c	E4928 ^c	Low-hydrogen potassium, iron powder	H-fillet, F	ac or dcep
E7048	E4948	Low-hydrogen potassium, iron powder	F, OH, H, V-down	ac or dcep

Fonte: (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2004, p.2)

A classificação dos eletrodos de aço carbono, na norma, é realizada por meio de números e letras que fornecem informações acerca dos consumíveis, como é ilustrado pela figura 4. A título de exemplo, consideremos o modelo E6013, no qual **E** mostra que é um eletrodo para soldagem a arco, **60** indica o limite de resistência mínimo do metal depositado: 60.000 psi (410 MPa), **1** se refere às posições de soldagem, neste caso, todas são possíveis e o último dígito, **3**, aponta o tipo de revestimento e características operacionais: rutílico e CC+ (corrente contínua eletrodo positivo), CC- (corrente contínua eletrodo negativo) e CCA (corrente alternada).

Figura 4: Classificação de Eletrodos Revestidos para Aços Carbono.



Fonte: (FORTES, 2005, p. 11)

A norma padroniza, também, as propriedades mecânicas esperadas para o metal de solda resultante de cada tipo de eletrodo, como força de tração, limite de escoamento e alongamento, conforme mostra a figura 5.

Figura 5: Tabela nº2 da Norma AWS A5.1 - "*Tension test requirements*", contém as propriedades mecânicas do metal de solda

AWS Classification		Tensile Strength		Yield Strength at 0.2% Offset		Elongation Percentage in 4x Diameter Length
A5.1	A5.1M	A5.1 (ksi)	A5.1M (MPa)	A5.1 (ksi)	A5.1M (MPa)	
E6010	E4310	60	430	48	330	22
E6011	E4311	60	430	48	330	22
E6012	E4312	60	430	48	330	17
E6013	E4313	60	430	48	330	17
E6018	E4318	60	430	48	330	22
E6019	E4319	60	430	48	330	22
E6020	E4320	60	430	48	330	22
E6022 ^d	E4322 ^d	60	430	Not Specified		Not Specified
E6027	E4327	60	430	48	330	22
E7014	E4914	70	490	58	400	17
E7015	E4915	70	490	58	400	22
E7016	E4916	70	490	58	400	22
E7018	E4918	70	490	58	400	22
E7024	E4924	70	490	58	400	17 ^e
E7027	E4927	70	490	58	400	22
E7028	E4928	70	490	58	400	22
E7048	E4948	70	490	58	400	22
E7018M	E4918M	Note f	Note f	53–72 ^g	370–500 ^g	24

Fonte: (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2004, p.3)

O documento, ainda, determina padrões para outras características, como tenacidade do material em baixas temperaturas, análise química e radiográfica, teste de filete e teste de umidade. Na tabela de nº4, consta em quais tipos de eletrodos é necessário aplicar esses testes. Como se pode notar, para a classificação AWS E6013, Ø2,5mm, descrito pela tabela, não é obrigatória a execução dos testes (NR é abreviação em inglês de *not required*, ou seja, não obrigatório).

Figura 6: Tabela nº4 da Norma AWS A5.1 - "*Required tests*", pontua em quais tipos de eletrodos são necessários realização de testes para certificação

AWS Classification		Current and Polarity ^a	Electrode Size		Welding Position for Test Assembly ^b				
A5.1	A5.1M		A5.1 (in)	A5.1M (mm)	Chemical ^c Analysis	Radiographic Test ^d All-Weld-Metal Tension Test ^e	Impact Test ^f	Fillet Weld Test ^g	Moisture Test ⁱ
E6010	E4310	dcep	3/32, 1/8	2.4, 2.5, 3.2	NR	NR	NR	NR	NR
			5/32, 3/16	4.0, 4.8, 5.0	F	F	F	V & OH	NR
			7/32	5.6	NR	NR	NR	NR	NR
			1/4	6.0, 6.4	F	F	F	H-fillet	NR
			5/16	8.0	NR	F	NR	NR	NR
E6011	E4311	ac and dcep	3/32, 1/8	2.4, 2.5, 3.2	NR	NR	NR	NR	NR
			5/32, 3/16	4.0, 4.8, 5.0	F	F	F	V & OH	NR
			7/32	5.6	NR	NR	NR	NR	NR
			1/4	6.0, 6.4	F	F	F	H-fillet	NR
E6012	E4312	ac and dcen	1/16 to 1/8 inc.	1.6 to 3.2 inc.	NR	NR	NR	NR	NR
			5/32, 3/16	4.0, 4.8, 5.0	F	F ^h	NR	V & OH	NR
			7/32	5.6	NR	NR	NR	NR	NR
E6013	E4313	ac, dcep, and dcen	1/4, 5/16	6.0, 6.4, 8.0	F	F ^h	NR	H-fillet	NR
			1/16 to 1/8 inc.	1.6 to 3.2 inc.	NR	NR	NR	NR	NR
E6018	E4318	ac and dcep	5/32, 3/16	4.0, 4.8, 5.0	F	F ^k	NR	V & OH	NR
			7/32	5.6	NR	NR	NR	NR	NR
			1/4	6.0, 6.4	F	F ^k	NR	H-fillet	NR
			3/32, 1/8	2.4, 2.5, 3.2	NR	NR	NR	NR	NR
			5/32	4.0	F	F	F	V & OH	Reqd.
E6018	E4318	ac and dcep	3/16	4.8, 5.0	NR	F	F	H-fillet	NR
			7/32	5.6	NR	NR	NR	NR	NR
			1/4	6.0, 6.4	F	F	F	H-fillet	Reqd.
			5/16	8.0	NR	F	NR	NR	NR

Fonte: (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2004, p. 5)

A tabela nº7, a seguir, é referente às especificações da composição química do metal de solda para cada tipo de eletrodo:

Figura 7: Tabela nº7 da Norma AWS A5.1 - "*Chemical Composition Requirements for Weld Metal*"

AWS Classification		UNS ^a Number	Weight Percent ^b										Combined Limit for Mn + Ni + Cr + Mo + V
A5.1	A5.1M		C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V		
E6010	E4310	W06010	0.20	1.20	1.00	N.S.	N.S.	0.30	0.20	0.30	0.08	N.S.	
E6011	E4311	W06011											
E6012	E4312	W06012											
E6013	E4313	W06013											
E6019	E4319	W06019											
E6020	E4320	W06020											
E6027	E4327	W06027											
E6018	E4318	W06018	0.03	0.60	0.40	0.025	0.015	0.30	0.20	0.30	0.08	N.S.	
E7015	E4915	W07015	0.15	1.25	0.90	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.50	
E7016	E4916	W07016	0.15	1.60	0.75	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.75	
E7018	E4918	W07018	0.15	1.60	0.75	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.75	
E7014	E4914	W07014	0.15	1.25	0.90	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.50	
E7024	E4924	W07024	0.15	1.25	0.90	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.50	
E7027	E4927	W07027	0.15	1.60	0.75	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.75	
E7028	E4928	W07028	0.15	1.60	0.90	0.035	0.035	0.30	0.20	0.30	0.08	1.75	
E7048	E4948	W07048											
E7018M	E4918M	W07018	0.12	0.40 to 1.60	0.80	0.030	0.020	0.25	0.15	0.35	0.05	N. S.	

Fonte: (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2004, p. 15)

2.7 Testes utilizados

2.7.1 Welding Blind Test

Do português, teste cego de soldagem, como o nome sugere, é uma ferramenta metodológica utilizada para verificar, com base na opinião de profissionais, a qualidade dos eletrodos, a partir de critérios preestabelecidos, sem que a procedência das amostras influencie nas avaliações.

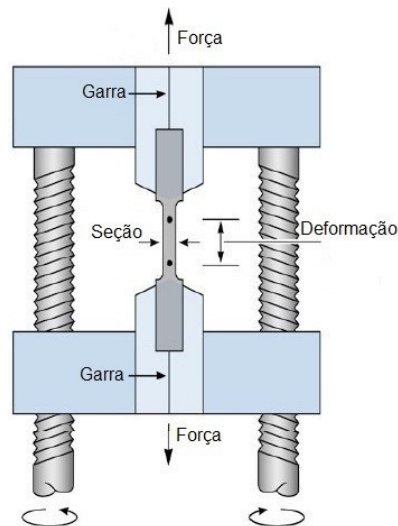
2.7.2 Ensaio de tração

Este ensaio se caracteriza pela aplicação de uma determinada força (tração) em um corpo de prova com geometria padronizada, submetendo-o a um alongamento

até a ruptura. Com isso, são obtidos dados característicos do material analisado, como:

- Limite de resistência a tração: diz respeito à tensão máxima suportada pelo material antes de sofrer redução de área transversal;
- Limite de escoamento: valor referente ao ponto que o material começa a apresentar transição do regime elástico para o plástico. Tal característica é amplamente aplicada para dimensionamento de projetos;
- Alongamento: Avaliação percentual do alongamento do corpo de prova durante o ensaio, tomando como referência o comprimento inicial e final.

Figura 8: Ensaio de Tração Simplificado



Fonte: (BIOPDI, [S.d.])

3 DESENVOLVIMENTO

Como o objetivo deste trabalho é avaliar características gerais do eletrodo tipo E6013 Ø2,5 mm importado em relação ao nacional, foram realizados testes comparativos. Os parâmetros utilizados nos testes e instruções foram baseados na AWS A5.1, embora de acordo com a própria norma, não são necessários testes para a homologação do eletrodo.

Por esse motivo, é importante ressaltar que este trabalho consiste, apenas, em um comparativo e não em uma tentativa de homologação do produto importado. Diante do exposto, foram realizados dois tipos de testes.

3.1 *Welding Blind Test*

O *Welding Blind Test* foi realizado por três soldadores. Os profissionais produziram cordões de solda com os dois tipos de eletrodos, o tipo A: E6013 Ø2,5mm Nacional e o B: E6013 Ø2,5mm importado, sem que soubessem qual tipo estavam usando. Depois de executarem os cordões, classificaram e deram notas para os dois tipos de consumíveis quanto à (ao):

- **Facilidade de abertura do arco**

Diz respeito ao aumento do rendimento do soldador, economia de consumível, marcas na peça.

- **Estabilidade do arco**

Tem relação com o controle da poça de fusão, evitando que ocorra falta de penetração, menos respingo, menos porosidade, aumentando a qualidade da solda.

- **Destacabilidade da escória**

Se refere a facilidade de remoção da escória após a soldagem. E auxilia na redução de um dos defeitos mais comuns, a inclusão de escória, que gera pontos de concentradores de tensão além da falta de fusão, ocasionando trincas e defeitos na solda.

- **Aspecto visual**

Relaciona-se à característica estética da solda. É um fator importante, já que, em vários casos, a solda é feita para fins comerciais, para isso um aspecto limpo e claro é fundamental para bons resultados.

O teste foi executado na empresa Stola do Brasil, situada ao Anel Rodoviário BR 262, Km 21,5 – Universitário, Belo Horizonte – MG, 31950-640. O equipamento usado foi uma máquina de corrente alternada ESAB Bantam 2000 110/220v – 60Hz (Figura 9). A corrente utilizada foi de 70 Ampéres, em conformidade com a faixa especificada pela tabela A4 da norma AWS A5.1 *Typical Amperage Ranges* (Figura 10).

Figura 9: Modelo da máquina de solda utilizada no *Weldind Blind Test*.



Fonte: (ESAB, 2005, p. 1)

Figura 10: Tabela A4 da Norma AWS A5.1, *Typical Amperage Ranges*, contém limites de corrente de soldagem

Table A4 Typical Amperage Ranges														
Electrode Diameter		A5.1	E6010, E6011	E6012	E6013	E6019	E6020	E6022	E6027, E7027	E7014	E7015, E7016	E6018, E7018M, E7018	E7024, E7028	E7048
A5.1 (in)	A5.1M (mm)	A5.1M	E4310, E4311	E4312	E4313	E4319	E4320	E4322	E4327, E4927	E4914	E4915, E4916	E4318, E4918M, E4918	E4924, E4928	E4948
1/16	1.6	—	—	20 to 40	20 to 40	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5/64	2.0	—	—	25 to 60	25 to 60	35 to 55	—	—	—	—	—	—	—	—
3/32*	2.4*, 2.5*	—	—	35 to 85	45 to 90	50 to 90	—	—	—	—	—	—	—	—
1/8	3.2	—	—	40 to 80	35 to 85	45 to 90	50 to 90	—	—	80 to 125	65 to 110	70 to 110	100 to 145	80 to 140
5/32	4.0	—	—	75 to 125	80 to 140	80 to 130	80 to 140	100 to 150	110 to 160	125 to 185	110 to 160	100 to 150	105 to 155	140 to 190
3/16	5.0	—	—	110 to 170	110 to 190	105 to 180	130 to 190	130 to 190	140 to 190	160 to 240	150 to 210	140 to 200	130 to 200	180 to 250
7/32	5.6	—	—	140 to 215	140 to 240	150 to 230	190 to 250	175 to 250	170 to 400	210 to 300	200 to 275	180 to 255	200 to 275	230 to 305
1/4	6.0	—	—	170 to 250	200 to 320	210 to 300	240 to 310	225 to 310	370 to 520	250 to 350	260 to 340	240 to 320	260 to 340	275 to 365
5/16	8.0	—	—	210 to 320	250 to 400	250 to 350	310 to 360	275 to 375	—	300 to 420	330 to 415	300 to 390	315 to 400	335 to 430
		—	—	275 to 425	300 to 500	320 to 430	360 to 410	340 to 450	—	375 to 475	390 to 500	375 to 475	375 to 470	400 to 525

*This diameter is not manufactured in the E7028 [E4828] classification.

Fonte: (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2004, p. 15)

Todos os soldadores utilizaram os Equipamentos de Proteção Individuais (EPI'S) necessários para a soldagem com eletrodos revestidos, tais como:

- Máscara de proteção.
- Luvas de raspa de couro.
- Avental de Raspa de couro.
- Bota de segurança.

A figura 11 mostra o soldador 1 executando o *Welding Blind Test*, utilizando todos os EPI's.

Figura 11: Soldador executando o *Welding Blind Test*



Fonte: Fotografia feita pelos autores.

3.2 Ensaio de tração

Para o ensaio de tração, foram utilizados apenas os eletrodos E6013 Ø2,5 mm importados, considerando que a empresa fabricante do eletrodo nacional, utilizado para comparação, disponibiliza as características mecânicas obtidas em ensaio próprio.

O teste de tração foi realizado em dois corpos de provas utilizando o eletrodo importado para verificar o limite de resistência à tração, o limite de escoamento e o alongamento. Os ensaios foram realizados na escola do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, SENAI, na cidade de Itaúna, MG.

Para a confecção dos corpos de prova constituídos do metal de solda, foram utilizados procedimentos descritos pela Norma AWS A5.1, que discrimina diretrizes padronizadas baseadas em cada tipo de eletrodo revestido, como: qual o tipo de material de base a ser utilizado (figura 12), dimensões, tipo de junta e chanfro, abertura da raiz, características do *backing* e posicionamento do corpo de prova (figura 13). Conforme as características do eletrodo E6013 importado em avaliação, foram utilizados os seguintes parâmetros:

Tipo do material de base selecionado a partir da norma: **A36**

Comprimento: **250 mm**

Largura: **125 mm**

Espessura: **12,7 mm (1/2")**

Abertura total do Chanfro: **20° + 5° – 0°**

Abertura da raiz: **10 mm**

Backing: Material metálico – A36

Espessura do *Backing* : **6 mm**

Descarte: **25,4 mm (1")**

Figura 12: Tabela nº5 da Norma AWS A5.1 - "*Base Metal for Test Assemblies*", contém tipo de material de base do corpo de prova.

Table 5			
Base Metal for Test Assemblies			
Base Metal			
AWS Classification	Type	ASTM Specification ^a	UNS Number ^b
All	Carbon Steel	A131 Grade B	K02102
		A285 Grade A	K01700
		A285 Grade B	K02200
All except E7018M [E 4918M]	Carbon Steel	A285 Grade C	K02801
		A283 Grade D	K02702
		A36	K02600
		A29 Grade 1015	G10150
		A29 Grade 1020	G10200

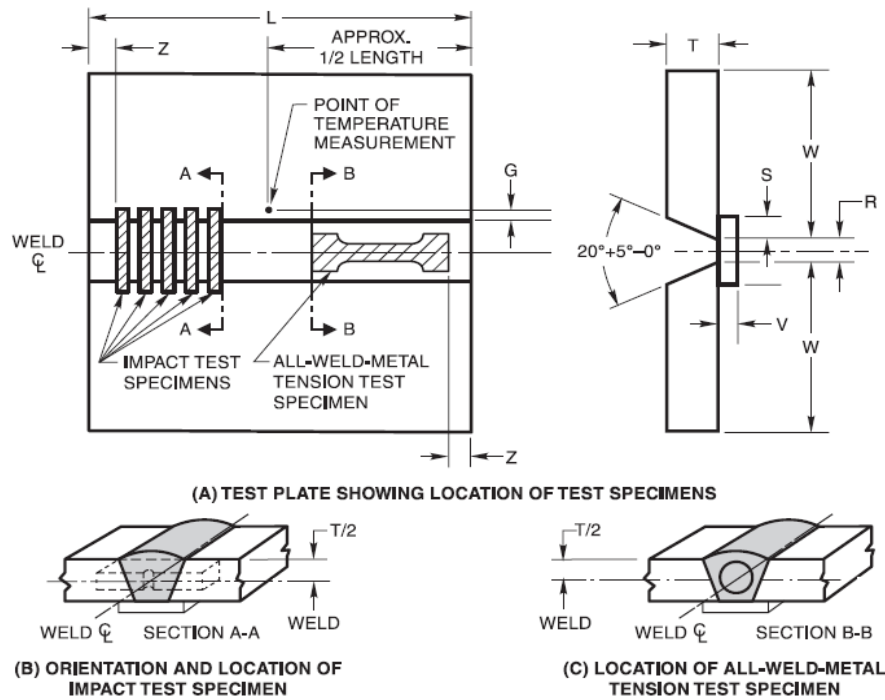
Notes:

a. Equivalent steel may be used.

b. SAE/ASTM Unified Numbering System for Metals and Alloys.

Fonte: (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2004, p.13)

Figura 13: Figura nº2 da Norma AWS A5.1 - "Groove Weld Test Assembly for Mechanical Properties and Soundness of Weld Metal", contém especificações do chanfro do corpo de prova.

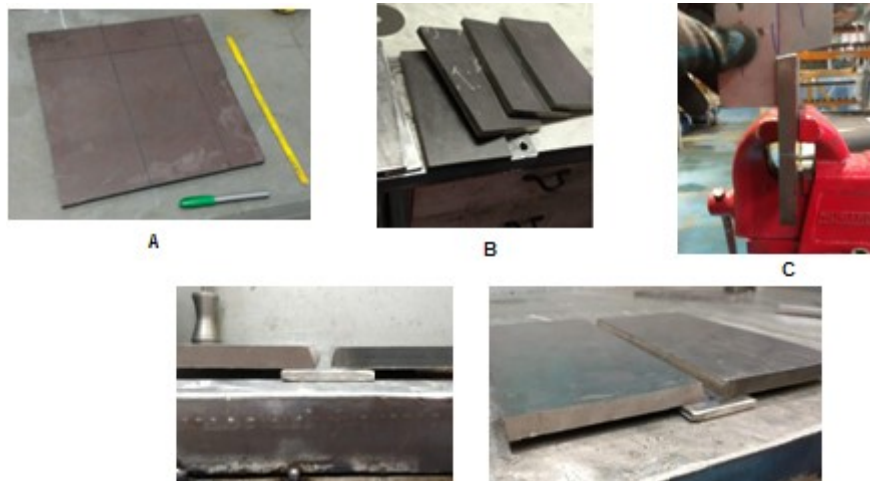


Dimension	Description	A5.1		A5.1M		Electrode Size		Plate Thickness (T)		Root Opening (R)		Passes per Layer	Total Layers
		(in)	(mm)	(in)	(mm)	A5.1 (in)	A5.1M (mm)	A5.1 (in)	A5.1M (mm)	A5.1 (in)	A5.1M (mm)		
G	Offset from Groove Edge	1/4-1/2	6-15	3/32	2.5	1/2	13	3/8	10	2	Not Specified		
L	Length, min. (See Note 1)	10	250	1/8	3.2	1/2	13	1/2	13	2	5-7		
S	Strip Overlap, min.	1/4	6	5/32	4.0	3/4	20	5/8	16	2	7-9		
V	Strip Thickness, min.	1/4	6	3/16	5.0	3/4	20	3/4	20	2	6-8		
W	Width, min.	5	125	7/32	6.0	3/4	20	7/8	24	2	6-8		
Z	Discard, min.	1	25	1/4	6.0	1	25	1	24	2	9-11		
				5/16	8.0	1-1/4	30	1-1/8	32	2	10-12		

Fonte: (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2004, p. 9)

Os corpos de prova foram preparados na empresa Stola do Brasil, seguindo as instruções da AWS A5.1 (figura 14).

Figura 14: A – Marcação para cortar o material de base, B – Materiais cortados, C – Confeção do chanfro especificado utilizando gabarito, D – Peças dispostas para soldagem com o backing.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o preenchimento do chanfro (figura 15) com o eletrodo E6013 $\varnothing 2,5\text{mm}$ importado, foi utilizada uma fonte Multiprocesso Eutectic Castolin MigPulse 3000 (figura 16), com valor médio de corrente igual a 75 Amperes.

Figura 15: Corpos de prova soldados conforme especificação AWS 5.1



Fonte: Fotografia feita pelos autores.

Figura 16: Fonte de soldagem Multiprocesso Eutectic Castolin MigPulse 3000.

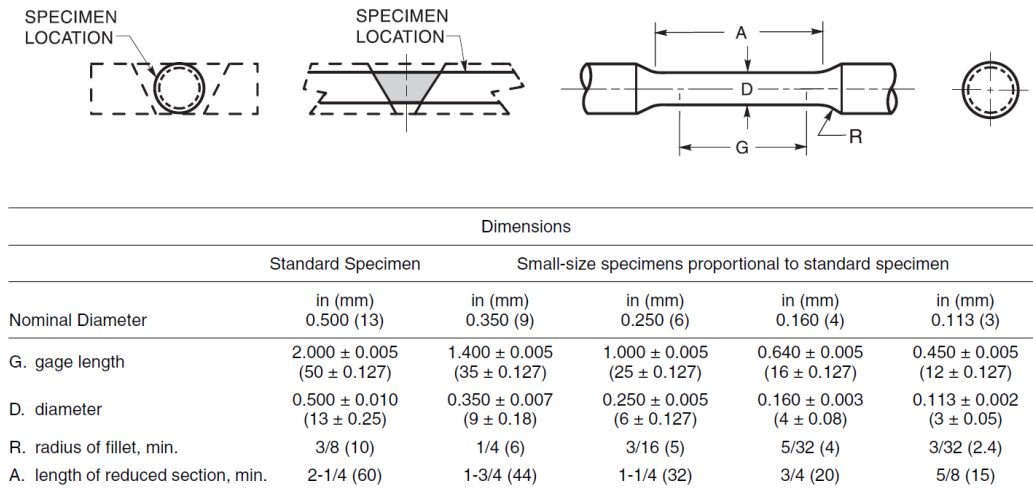


Fonte: (Eutectic, [S.d.])

As dimensões e formato utilizados na usinagem do corpo de prova dentro do chanfro são padronizados por outra norma citada pela AWS 5.1, a AWS B4.0 [AWS B4.0M] - *Standard Methods for Mechanical Testing of Welds* (Métodos Padrão para Testes Mecânicos de Soldas). Essa referência normativa afirma que para um chapa de metal de base com uma espessura de 1/2" (13 mm), o corpo de prova de tração em metal de solda deve ter um diâmetro nominal de 0,250 pol [6,25 mm].

Como a Norma AWS B4.0 não especifica a rosca de fixação nas extremidades, foi selecionado o modelo M12 x 1,75 em função da característica da máquina de ensaio de tração utilizada, o que garante o alinhamento adequado e a ruptura da amostra dentro da seção reduzida.

Figura 17: Figura 4.1 da Norma AWS B4.0 – “*Round Tensile Specimens*”, contém as características para o corpo de prova de tração.



Fonte: (AMERICAN WELDING SOCIETY, 2004, p. 11)

As figuras 18 e 19 correspondem ao corpo de prova nº 1 e as figuras 20 e 21 ao corpo de prova 2. Em ambos, é notável a presença de descontinuidades na região a ser ensaiada e extremidades, indicando possíveis problemas durante o processo de depósito do metal de solda.

Figura 18: Corpo de prova nº1 - Detalhe para as descontinuidades (região central e extremidades)



Fonte: Fotografia feita pelos autores.

Figura 19: Corpo de prova n°1 - Vista inferior.



Fonte: Fotografia feita pelos autores.

Figura 20: Corpo de prova n°2 - Detalhe para as discontinuidades (extremidades)



.Fonte: Fotografia feita pelos autores.

Figura 21: Corpo de prova n°2 – Vista inferior.



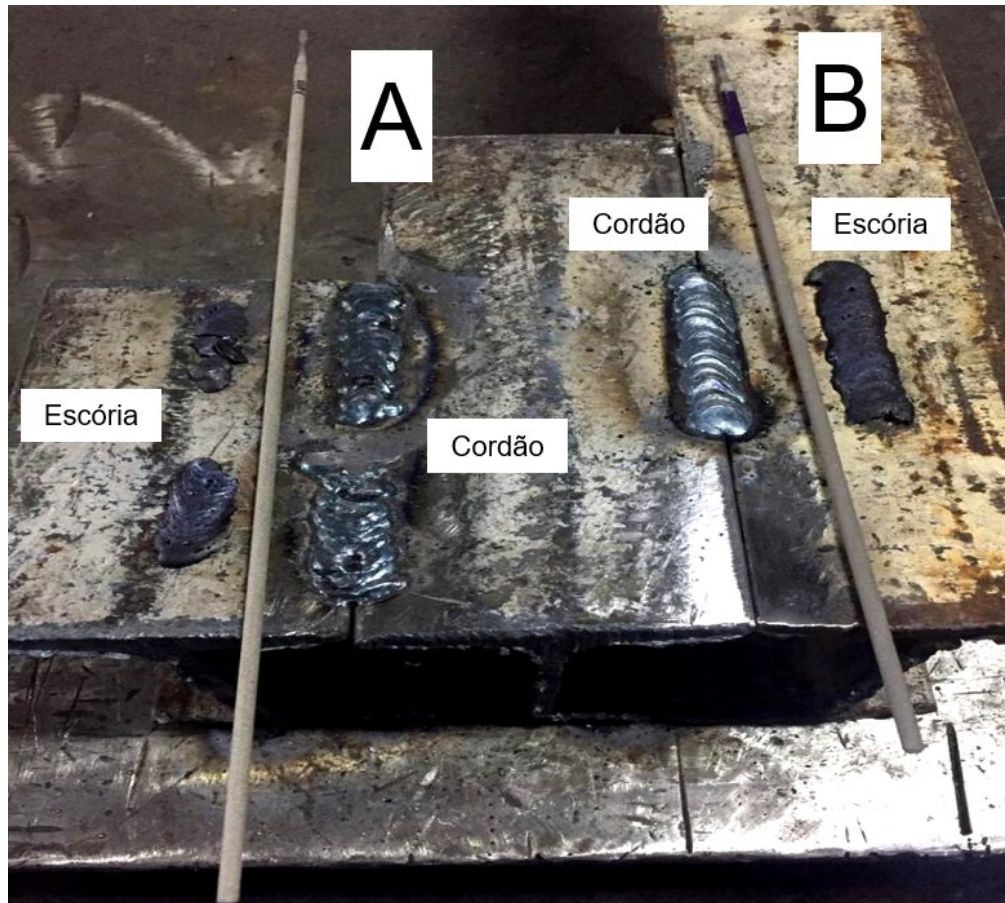
Fonte: Fotografia feita pelos autores.

4 RESULTADOS

4.1 *Welding Blind Test*

Após a realização dos três testes às cegas, houve repetição das características apresentadas pelos consumíveis. Em todos, é possível notar a diferença entre o cordão executado com o eletrodo **A** nacional e o **B** importado. Visualmente, o eletrodo B se comportou de forma mais satisfatória, pois o seu cordão apresentou homogeneidade e boa distribuição, ao contrário de A, cujo depósito de material foi, parcialmente, instável. Quanto à escória, a de B se destacou completamente sem grandes esforços, ao passo que a de A não se soltou com facilidade, além de ter se despedaçado. Vale ressaltar que, em todos os testes, foram usados os mesmos parâmetros de soldagem para ambos os eletrodos, já que que seus diâmetros e modelos são os mesmos.

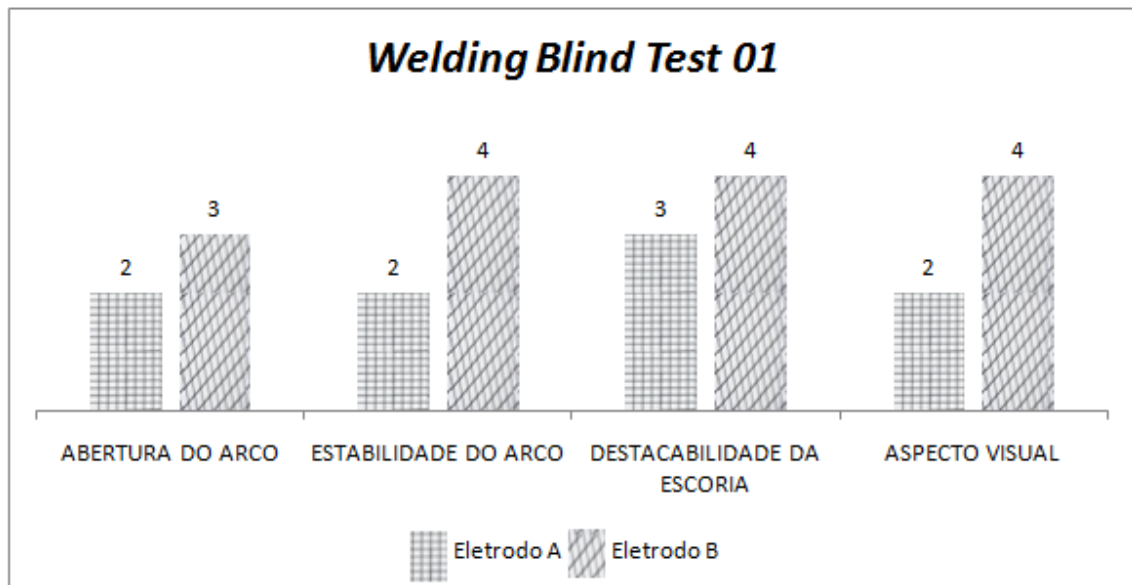
Figura 22: *Welding Blind Test*



Fonte: Fotografia feita pelos autores

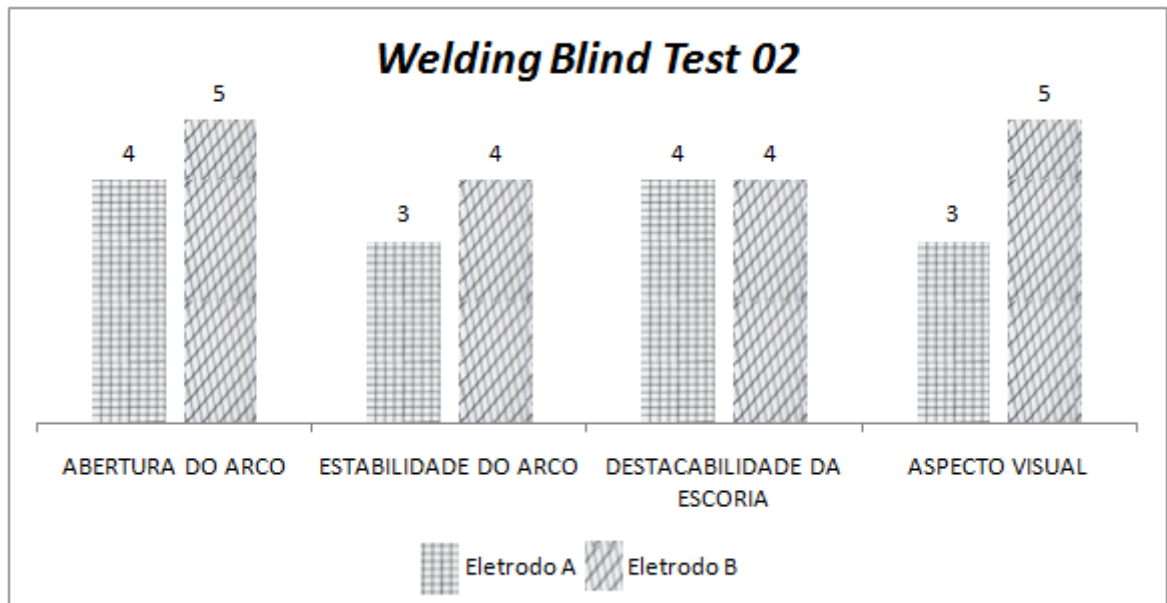
Os formulários preenchidos pelos soldadores estão disponíveis nos apêndices. Seguem, em ordem de realização, os gráficos que representam os resultados do *Weldind Blind Test*: O primeiro teste foi realizado, no dia 23/10/19, pelo soldador 01:

Gráfico 1: Resultado do *Welding Blind Test* n°1



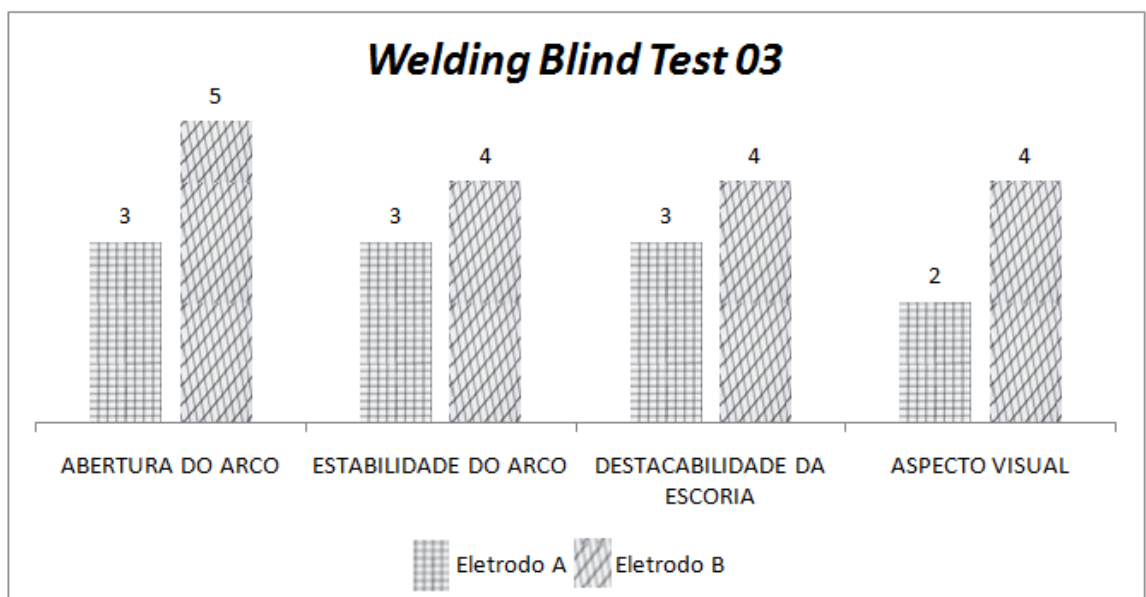
Fonte: Elaborado pelos autores.

O segundo teste foi realizado, no dia 25/10, pelo soldador 02, obtendo o seguinte resultado:

Gráfico 2: Resultado do *Welding Blind Test* n°2.

Fonte: Elaborado pelos autores.

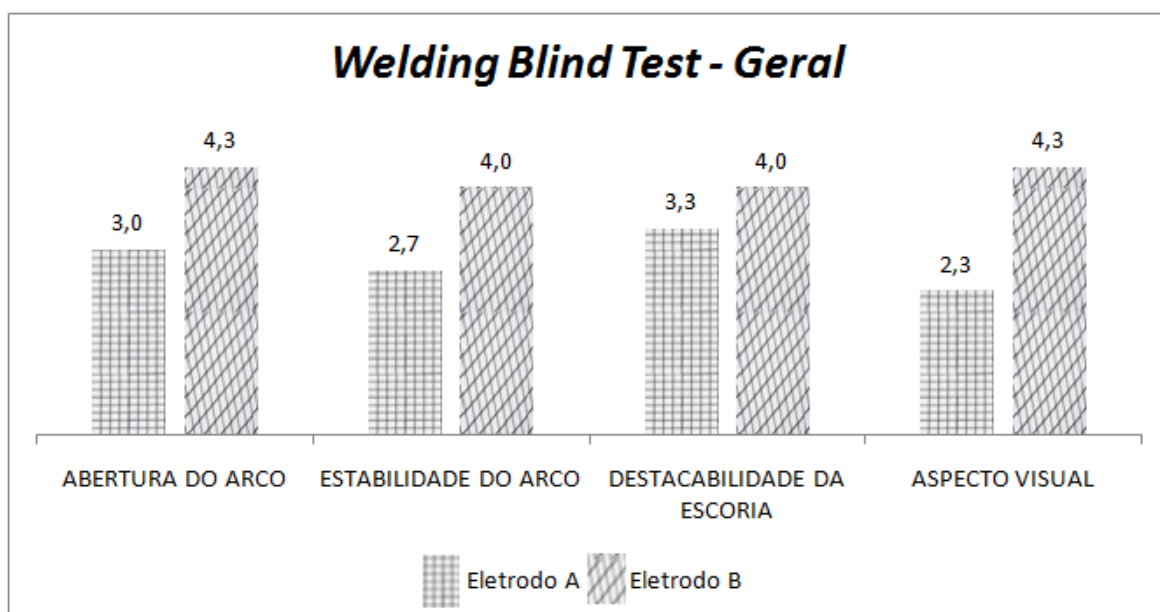
O terceiro teste foi executado pelo colaborador 03, no dia 29/10/19. O resultado se encontra abaixo.

Gráfico 3: Resultado do *Welding Blind Test* n°3.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Analisando os três testes executados, o eletrodo importado teve boa aceitação pelos profissionais e obteve maiores notas em todos os aspectos avaliados. Para eles, o eletrodo apresentou bom desempenho durante a confecção dos cordões e bom aspecto visual da solda. A seguir, o gráfico 4 apresenta média geral das avaliações:

Gráfico 4 Resultado Geral do *Welding Blind Test*.



Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2 Ensaio de tração

Nenhum dos dois corpos de provas obtiveram os valores mínimos de tração, e de acordo com o técnico responsável do SENAI, Philipe Silva Parreiras, o valor foi baixo o bastante para não conseguir captar o alongamento e o limite de escoamento.

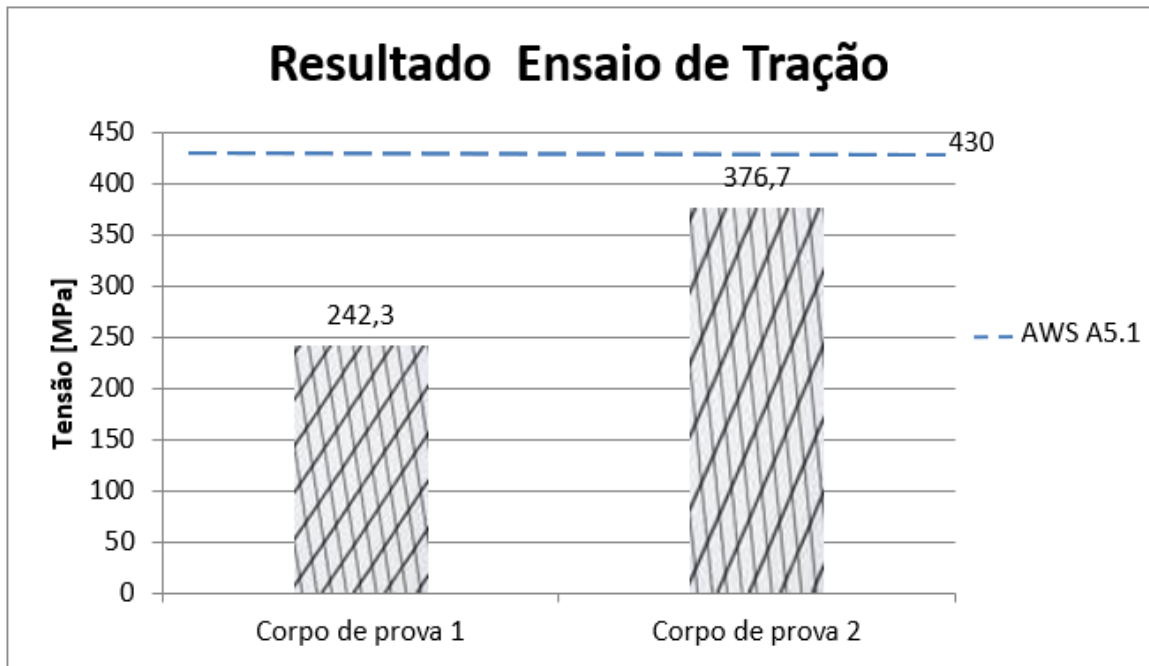
O valor mínimo de resistência à tração, de acordo com a norma (figura 5), é de 430 MPa.

Os resultados dos testes foram:

Resistência à tração corpo de prova 1: REF Senai 13928: 242,3 MPa

Resistência à tração corpo de prova 2: REF Senai 13929: 376,7 Mpa

Gráfico 5 – Resultado do ensaio de tração

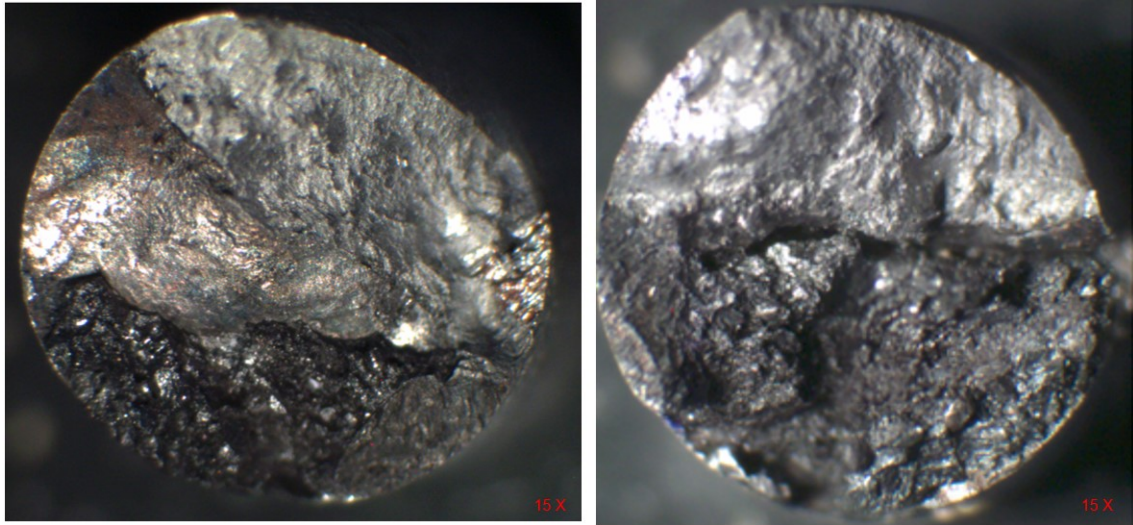


Fonte: Elaborado pelos autores.

Os documentos emitidos pelo laboratório encontram-se nos apêndices.

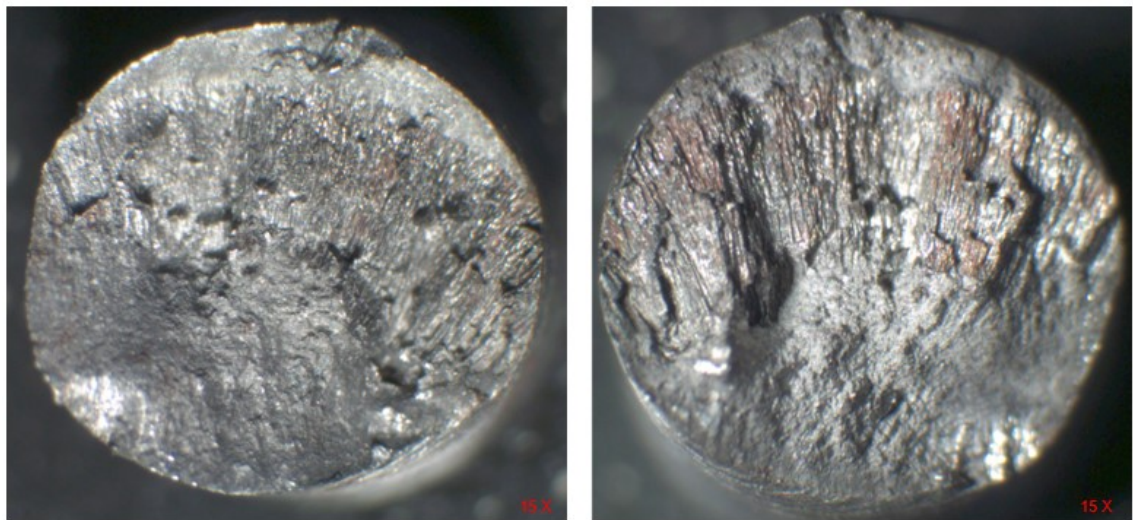
Os corpos de prova apresentaram anomalias visíveis após a operação de usinagem, podendo ser categorizadas como inclusões de escória. Durante a execução dos passes de preenchimento, o resquício do material não metálico resultou em defeitos na solda realizada afetando, negativamente, as propriedades mecânicas, como a ductilidade. As figuras 19 e 20 apresentam vistas frontais, pós ensaio, dos corpos de prova e evidenciam a presença de escória em meio a seção de ruptura, o que resultou em uma fratura com aspecto heterogêneo:

Figura 23: Região de Fratura – Corpo de Prova 1



Fonte: Fotografia feita pelos autores

Figura 24: Região de Fratura – Corpo de Prova 2



Fonte: Fotografia feita pelos autores

A anomalia apresentada nos corpos de prova é oriunda do processo de soldagem, como a dificuldade de acesso a junta (ângulo de abertura 20° , neste caso), técnicas de deposição e/ou um acabamento convexo do cordão, que dificulta a remoção da escória solidificada. Não isentando a formação e a experiência do

soldador, que mesmo trabalhando rotineiramente com processo de soldagem por eletrodos revestidos, não conseguiu mitigar as falhas durante a soldagem.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados do *Welding Blind Teste*, escolhido para a comparação, e do ensaio de tração, utilizado para conhecimento das características mecânicas do eletrodo revestido E6013 importado, conclui-se que a sua utilização deve ser cautelosa, bem analisada e, estritamente aplicada em serviços de baixa solicitação, pois a AWS A5.1 não solicita nenhum tipo de ensaio para esse consumível. No *Welding Blind Test*, os resultados apresentaram uma boa avaliação das amostras do eletrodo importado em relação ao nacional, no que diz respeito aos aspectos fundamentais e de fácil percepção para os soldadores voluntários. Isso indica, portanto, que constataram que o consumível **B** apresenta melhor manuseio e utilização durante a soldagem.

Já na segunda avaliação, que não tinha como propósito comparar **A** e **B**, mas sim explorar as características mecânicas do eletrodo importado, os resultados não foram satisfatórios em relação à norma e, além disso, à expectativa gerada pelo primeiro teste. O corpo de prova 1 alcançou **56,34%** do valor desejado para resistência à tração, e o corpo de prova 2, **87,60%**. Devido à presença de inclusões de escória internas e superficiais à seção circular dos dois corpos de provas, as características mecânicas foram afetadas, o que propiciou um comportamento frágil da fratura, culminando na impossibilidade de determinar o limite de escoamento e alongamento durante os ensaios de tração.

Neste trabalho, os resultados foram inconclusivos sobre os aspectos analisados do eletrodo importado, já que o desempenho obtido no ensaio mecânico foi prejudicado pela presença de materiais não metálicos. Infelizmente, devido aos custos e investimentos, houve a impossibilidade de executar novos testes, pois são, de fato, onerosos. É evidente o confronto entre o *Welding Blind Test* e o Ensaio de Tração, tal situação deixa em aberto estudos futuros que objetivem compreender os motivos que ocasionaram essa discrepância entre a experiência/uso e norma, como novos ensaios preparados de forma a mitigar fatores que interfiram negativamente em seus resultados (defeitos de soldagem).

Com a elaboração da parte prática, foi possível aprimorar os conhecimentos normativos aplicados aos métodos para avaliação dos consumíveis de soldagem, bem como perceber a criticidade da preparação das amostras e suas

particularidades, principalmente com relação à escoria da soldagem em eletrodos revestidos.

REFERÊNCIAS

AMERICAN WELDING SOCIETY (Miami). **About**. 2019. Disponível em: <<https://www.aws.org/about>>. Acesso em: 06 dez. 2019.

AMERICAN WELDING SOCIETY. **A5.1**: Specification for Carbon Steel Electrodes for Shielded Metal Arc Welding. Miami: Editora, 2004.

BIOPDI (São Paulo). **Ensaio de Tração**. [S.d.]. Disponível em: <<https://biopdi.com/ensaio-de-tracao/>>. Acesso em: 08 dez. 2019.

ESAB (Brasil). **BANTAM 2000 110/220 V**: Manual de Instruções. 5. ed. 2005. 16 p. (0206130)

EUTECTIC (Brasil). **MigPulse 3000**: Manual técnico. São Paulo. [S.d.]. 21 p. Disponível em: <http://www.eutectic.com.br/manuais/equipamentos_descontinuados/manual-migpulse-3000.pdf>. Acesso em: 18 dez. 2019.

FORTES, Cleber. **Apostila de Eletrodos Revestidos**. [s.l.]: ESAB, 2005. 32 p. Disponível em: <https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901097rev1_apostilaeletrodosrevestidos_ok.pdf>. Acesso em: 06 dez. 2019.

MACHADO, Ivan Guerra. **Soldagem & Técnicas Conexas: Processos**. Porto Alegre: Editado Pelo Autor, 1996. 477 p.

MARQUES, P.V; MODENESI, P.J. **Introdução aos Processos de Soldagem**. Belo Horizonte. 2011. 52 p. Apostila. Disponível em: <<demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/processo.pdf>>. Acesso: 08 out. 2019.

MARQUES, P.V; MODENESI, P.J; BRACARENSE, A.C. **Soldagem Fundamentos e Tecnologia**. 4º edição. CIDADE: Elsevier Editora. 2017

PANZINI,S; SPADANO,L; ALVIM,E; ROSA,S. **Políticas industriais e comerciais**. Rio de Janeiro: Elsevier. 2016.

APÊNDICE A – Welding Blind Test executado pelo soldador O. Francisco

WELDING BLIND TEST (TESTE CEGO DE SOLDAGEM)				
Nome: <i>OSVALDO FRANCISCO ANDREONI</i>				
Cargo: <i>mecânico de manutenção</i> Data: <i>23.10.19</i>				
Características avaliadas - Eletrodo E6013 TIPO A				
Pontos	Abertura do arco	Estabilidade do arco	Destacabilidade da escória	Aspecto visual do metal de solda
1				
2	X	X		X
3			X	
4				
5				
Características avaliadas - Eletrodo E6013 TIPO B				
Pontos	Abertura do arco	Estabilidade do arco	Destacabilidade da escória	Aspecto visual do metal de solda
1				
2				
3	X			
4		X	X	X
5				
Observações:				
<i>O eletrodo tipo A, deu a impressão que o arco é mais macio, se deforma mais na borda da solda o que faz com que se faça a solda com mais facilidade.</i>				
<i>O eletrodo tipo B, se manteve mais estável dando uma segurança maior na hora de fazer a solda.</i>				

APÊNDICE B – Welding Blind Test executado pelo soldador M. Vasconcelos

WELDING BLIND TEST (TESTE CEGO DE SOLDAGEM)				
Nome: <i>Michel Vasconcelos Oliveira</i>				
Cargo: <i>Felcamentista</i> Data: <i>25/10/19</i>				
Características avaliadas - Eletrodo E6013 TIPO A				
Pontos	Abertura do arco	Estabilidade do arco	Destacabilidade da escória	Aspecto visual do metal de solda
1				
2				
3		X		X
4	X		X	
5				
Características avaliadas - Eletrodo E6013 TIPO B				
Pontos	Abertura do arco	Estabilidade do arco	Destacabilidade da escória	Aspecto visual do metal de solda
1				
2				
3				
4		X	X	
5	X			X
Observações:				
<i>O eletrodo tipo B apresentou uma estabilidade maior na fusão com o material soldado, permitindo um controle melhor da solda.</i>				

APÊNDICE C – Welding Blind Test executado pelo soldador G. Silvério

WELDING BLIND TEST (TESTE CEGO DE SOLDAGEM)				
Nome: <i>GILBERTO SILVÉRIO</i>				
Cargo: <i>MECÂNICO</i>		Data: <i>29.10.19</i>		
Características avaliadas - Eletrodo E6013 TIPO A				
Pontos	Abertura do arco	Estabilidade do arco	Destacabilidade da escória	Aspecto visual do metal de solda
1				
2				<i>X</i>
3	<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>	
4				
5				
Características avaliadas - Eletrodo E6013 TIPO B				
Pontos	Abertura do arco	Estabilidade do arco	Destacabilidade da escória	Aspecto visual do metal de solda
1				
2				
3				
4		<i>X</i>	<i>X</i>	<i>X</i>
5	<i>X</i>			
Observações:				
<i>O arco elétrico do eletrodo tipo B é mais estável para a manipulação e a sua escória é mais fácil de retirar.</i>				
<i>O eletrodo tipo A tem uma estabilidade menor que o tipo B, tornando mais difícil de manipular.</i>				

APÊNDICE D – Relatório CP 13928 - Pág 1/2



Laboratório de Ensaios e Análises em Materiais - LAMAT
 Acreditado pela Coordenação Geral de Acreditação - CGCRE
 Accredited by General Coordination for Accreditation - CGCRE

Ensaios
NBR ISO/IEC
17025

CRL 0126

Relatório de Ensaios Mecânicos
 Mechanical Test Report

Relatório de Ensaio nº:13928/2019

Test Report nº:13928/2019

Solicitante / Client: MATHEUS HENRIQUE NUNES
Endereço / Address: RUA PADRE EUSTÁQUIO, 505 - SÃO BENEDITO - SANTA LUZIA - MG
Material / Material: Amostra para análise
Identificação do Cliente Material: Aço Carbono - Classe: 1020 - Corpo de Prova 1
 Client Identification:

ENSAIO TEST	UNIDADE UNITY	RESULTADOS RESULTS
Resistência à Tração (R_m) / Tensile Strength	kgf/mm ²	24,7
	MPa	242,3
O corpo de prova não apresentou limite de escoamento, impossibilitando a medição do percentual de alongamento e redução de área / The test specimen didn't show yield strength disabling the determination of the percentage elongation and reduction of area.		

Este relatório contém resultados que se referem exclusivamente à amostra enviada pelo solicitante e somente deve ser reproduzido por completo, sendo que a reprodução de partes requer aprovação escrita do LAMAT.

This report contain results referred exclusively specimen sent to requester and only be reproduced in full, and that reproduction of parts requires written approval by LAMAT.

Observações do ensaio / Test Observation:
ND - Não determinado / ND - Not determined O corpo de prova apresentou descontinuidades e fratura com aspecto heterogêneo na seção de ruptura.

SENAI Itaúna CETEF Marcelino Corradi
 Rua Lília Antunes, 99 - Bairro: Nogueira Machado - CEP: 35680-270
 Itaúna - MG - Fone: (37) 3249-2400
 Página 1 de 2 / Page 1 of 2

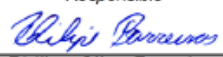
APÊNDICE E – Relatório: CP 13928 - Pág 2/2



Relatório de Ensaio nº:13928/2019

Test Report nº:13928/2019

Equipamentos Utilizados / Used Equipment	
<p>* Gerador de Força - Máquina Universal de Ensaio de Tração, identificação 59494, calibrado por laboratório pertencente à Rede Brasileira de Calibração - RBC.</p> <p>* Paquímetro, identificação 203829, calibrado por laboratório pertencente à Rede Brasileira de Calibração - RBC.</p> <p>* Paquímetro, identificação 203830, calibrado por laboratório pertencente à Rede Brasileira de Calibração - RBC.</p> <p>* Paquímetro, identificação 168156, calibrado por laboratório pertencente à Rede Brasileira de Calibração - RBC.</p> <p>* Paquímetro, identificação 203831, calibrado por laboratório pertencente à Rede Brasileira de Calibração - RBC.</p> <p>* Termo-higrômetro Digital, identificação 203907 e 764508, calibrado por laboratório pertencente à Rede Brasileira de Calibração - RBC.</p> <p>* Medidor de altura, identificação 182779, calibrado por laboratório pertencente à Rede Brasileira de Calibração - RBC.</p>	
<p>* Ensaio realizado conforme norma: ABNT NBR ISO 6892-1:2013 versão corrigida 2 de 17/09/2018. <i>Test performed according to Standard ABNT NBR ISO 6892-1:2013 revised version 2 of 17/09/2018.</i></p>	
<p>* O ensaio foi realizado a temperatura ambiente <i>The test is performed in room temperature</i></p>	<p>23,0 °C 23,0 °C</p>

Recepção / Reception	18/11/19	Analista Analyst	Responsável Responsible
Realização / Achievement	02/12/19	Philippe Silva Parreiras Laboratorista	 Philippe Silva Parreiras Laboratorista
Emissão / Emission	02/12/19		
<p>Responsável Técnico LAMAT: João Pousa Alves Filho, CREA-MG 0000168139D <i>Technical Responsible LAMAT: João Pousa Alves Filho, CREA-MG 0000168139D</i></p>			

SENAI Itaúna CETEF Marcelino Corradi
Rua Lilia Antunes, 99 - Bairro: Nogueira Machado - CEP: 35680-270
Itaúna - MG - Fone: (37) 3249-2400
Página 2 de 2 / Page 2 of 2

APÊNDICE F – Relatório: CP 13928 - Gráfico

RELATÓRIO DE ENSAIO



ENSAIO: 00026918

DATA: 02/12/2019

HORA: 14:20:02

NORMA: NBR 6892-1 25,00.

TRABALHO REALIZADO: TRAÇÃO

COMPRIM. DO C.P.: 25,00 mm

IDENTIFICAÇÃO: MATHEUS 13928

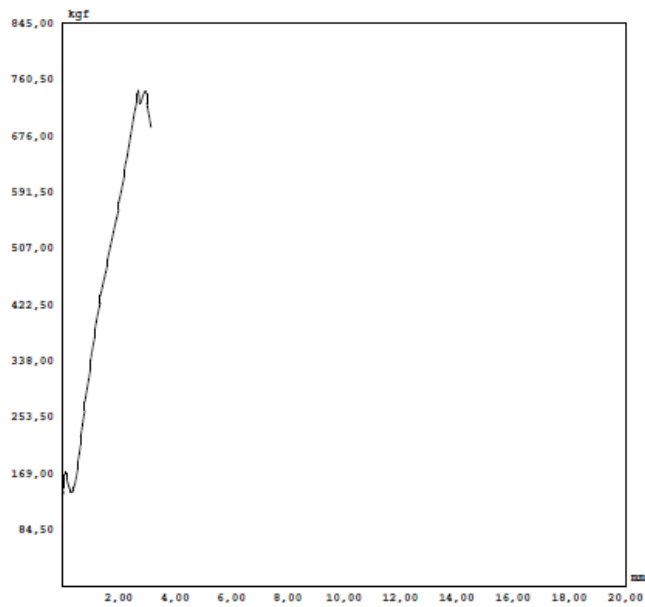
OBSERVAÇÃO:

CÉLULA DE CARGA: 20000 kgf

PRÉ CARGA (1a. Amostra): 8,45 kgf

TEMPERATURA: 25,00°C

UMIDADE RELATIVA: 50,00 %



Amostra No.	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	FORÇA MÁXIMA kgf	LIMITE DE RESISTÊNCIA kgf/mm ²
■	1 13928	745,00	24,68

APÊNDICE G – Relatório: CP 13929 - Pág 1/2



Laboratório de Ensaios e Análises em Materiais - LAMAT
 Acreditado pela Coordenação Geral de Acreditação - CGCRE
 Accredited by General Coordination for Accreditation - CGCRE

Ensaios
NBR ISO/IEC
17025

CRL 0126

Relatório de Ensaios Mecânicos
Mechanical Test Report

Relatório de Ensaio nº:13929/2019 *Test Report nº:13929/2019*

Solicitante / Client: MATHEUS HENRIQUE NUNES
Endereço / Address: RUA PADRE EUSTÁQUIO, 505 - SÃO BENEDITO - SANTA LUZIA - MG
Material / Material: Amostra para análise
Identificação do Cliente Material: Aço Carbono - Classe: 1020 - Corpo de Prova 1
Client Identification:

ENSAIO <i>TEST</i>	UNIDADE <i>UNITY</i>	RESULTADOS <i>RESULTS</i>
Resistência à Tração (R_m) / <i>Tensile Strength</i>	kgf/mm ²	38,4
	MPa	376,7
O corpo de prova não apresentou limite de escoamento, impossibilitando a medição do percentual de alongamento e redução de área / <i>The test specimen didn't show yield strength disabling the determination of the percentage elongation and reduction of area.</i>		

Este relatório contém resultados que se referem exclusivamente à amostra enviada pelo solicitante e somente deve ser reproduzido por completo, sendo que a reprodução de partes requer aprovação escrita do LAMAT.

This report contain results referred exclusively specimen sent to requester and only be reproduced in full, and that reproduction of parts requires written approval by LAMAT.

Observações do ensaio / <i>Test Observation:</i>
ND - Não determinado / ND - Not determined O corpo de prova apresentou descontinuidades e fratura com aspecto heterogêneo na seção de ruptura.


APÊNDICE H – Relatório: CP 13929 - Pág 2/2



Relatório de Ensaio nº:13929/2019

Test Report nº:13929/2019

Equipamentos Utilizados / Used Equipment	
<p>* Gerador de Força - Máquina Universal de Ensaio de Tração, identificação 59494, calibrado por laboratório pertencente à Rede Brasileira de Calibração - RBC.</p> <p>* Paquímetro, identificação 203829, calibrado por laboratório pertencente à Rede Brasileira de Calibração - RBC.</p> <p>* Paquímetro, identificação 203830, calibrado por laboratório pertencente à Rede Brasileira de Calibração - RBC.</p> <p>* Paquímetro, identificação 168156, calibrado por laboratório pertencente à Rede Brasileira de Calibração - RBC.</p> <p>* Paquímetro, identificação 203831, calibrado por laboratório pertencente à Rede Brasileira de Calibração - RBC.</p> <p>* Termo-higrômetro Digital, identificação 203907 e 764508, calibrado por laboratório pertencente à Rede Brasileira de Calibração - RBC.</p> <p>* Medidor de altura, identificação 182779, calibrado por laboratório pertencente à Rede Brasileira de Calibração - RBC.</p>	
<p>* Ensaio realizado conforme norma: ABNT NBR ISO 6892-1:2013 versão corrigida 2 de 17/09/2018. <i>Test performed according to Standard ABNT NBR ISO 6892-1:2013 revised version 2 of 17/09/2018.</i></p>	
* O ensaio foi realizado a temperatura ambiente	23,0 °C
<i>The test is performed in room temperature</i>	23,0 °C

Recepção / Reception	18/11/19	Analista Analyst	Responsável Responsible
Realização / Achievement	02/12/19	Philippe Silva Parreiras	
Emissão / Emission	02/12/19	Laboratorista	Philippe Silva Parreiras Laboratorista
Responsável Técnico LAMAT: João Pousa Alves Filho, CREA-MG 0000168139D <i>Technical Responsible LAMAT: João Pousa Alves Filho, CREA-MG 0000168139D</i>			

SENAI Itaúna CETEF Marcelino Corradi
 Rua Lilia Antunes, 99 - Bairro: Nogueira Machado - CEP: 35680-270
 Itaúna - MG - Fone: (37) 3249-2400
 Página 2 de 2 / Page 2 of 2

APÊNDICE I – Relatório: CP 13929 - Gráfico

RELATÓRIO DE ENSAIO



ENSAIO: 00026919

DATA: 02/12/2019

HORA: 14:23:28

NORMA: NBR 6892-1 25,00.

TRABALHO REALIZADO: TRAÇÃO

COMPRIM. DO C.P.: 25,00 mm

IDENTIFICAÇÃO: MATHEUS 13929

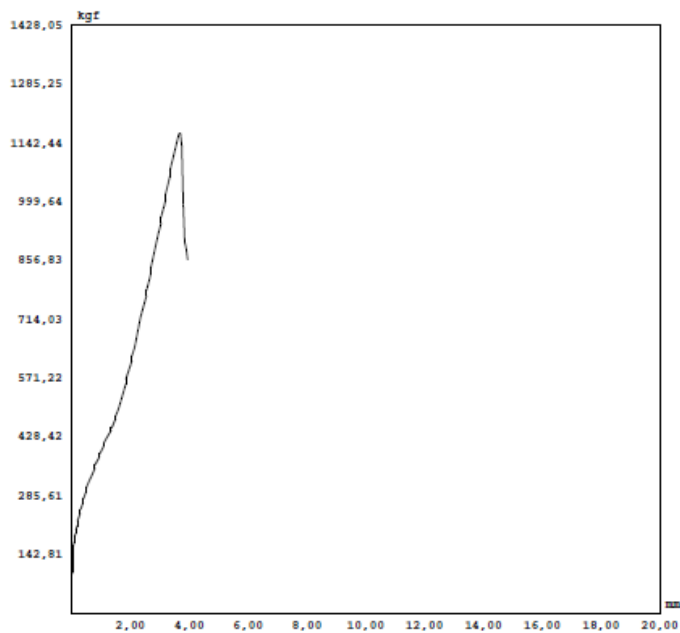
OBSERVAÇÃO:

CÉLULA DE CARGA: 20000 kgf

PRÉ CARGA (1a. Amostra): 14,28 kgf

TEMPERATURA: 25,00 °C

UMIDADE RELATIVA: 50,00 %



Amostra No.	IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	FORÇA MÁXIMA kgf	LIMITE DE RESISTÊNCIA kgf/mm ²
■ 1	13929	1167,00	38,41