



ESTUDO DA VARIAÇÃO DA TENSÃO ELÉTRICA NO PROCESSO DE SOLDAGEM POR ELETROESCÓRIA NAS PROPRIEDADES METALÚRGICAS DE JUNTAS SOLDADAS DO AÇO ASTM A 743 CA6NM

STUDY OF ELECTROSLAG WELDING PROCESS WITH DIFFERENT ELECTRICAL VOLTAGES ON METALLURGICAL PROPERTIES OF ASTM A 743 CA6NM STAINLESS STEEL WELDED JOINTS

Mouraci José Siqueira Gallerdo ¹

Rodrigo da Silva Marques ²

Wendel Barboza de Barros ³

Odilon de Moraes Júnior ⁴

RESUMO

Esse trabalho estuda a variação da tensão elétrica do processo de soldagem por eletroescória nas propriedades metalúrgicas de juntas soldadas do aço ASTM A 743 CA6NM. O avanço tecnológico torna o processo de soldagem por eletroescória uma tecnologia possível de unir juntas soldadas de grandes espessuras com boa qualidade. O processo apresenta as características a alta produtividade e baixo índice de defeitos, aliado a relativa facilidade do controle técnico do processo durante sua execução. O trabalho apresenta resultados obtidos pela soldagem de blocos teste. Os corpos de prova submetidos aos ensaios seguiram padronização de referência de acordo com as normas ASME VIII e IX; foram soldadas três juntas de aço inoxidável martensítico conforme a norma ASTM A 743 CA6NM. Os blocos teste foram fundidos, em seguida temperados e revenidos; foram preparados e soldados nas tensões de 32V, 40V e 48V, e tratados, posteriormente, para alívio de tensões. Os blocos teste foram seccionados para preparação dos corpos de prova e submetidos aos ensaios de ultrassom, líquido penetrante, ensaio de tração, dobramento, dureza, impacto Charpy e micrografia óptica e por MEV. Os resultados permitem concluir, que as tensões de 40V e 48V tiveram os melhores resultados no estudo proposto.

Palavras-chave: Eletroescória; Aço Inox Martensítico ASTM A 743 CA6NM.

¹ Especialista Soldador por Eletroescória na Divisão de Soldagem da Voith Hydro. E-mail: mouraci.gallerdo@gmail.com

² Especialista Desenvolvimento de processos de fundição em sistemas de areia na Voith Hydro. E-mail: drigoro_27@hotmail.com

³ Inspetor Metalúrgico de Materiais na JRE Inspeção Técnica Ltda. E-mail: zzwendel.zbarros@voith.com

⁴ Docente e Mestre em Engenharia Metalúrgica da Escola e Faculdade SENAI de Tecnologia em Processos Metalúrgicos. E-mail: odilon.junior@sp.senai.br



ABSTRACT

This paper studies the variation of electrical voltages of the electroslag welding process on metallurgical properties of welded joints manufactured with ASTM A 743 CA6NM stainless steel. Due to technological improvements, it is possible to consider electroslag welding process as a possible process to perform welded joints of large thicknesses and with reliable quality. The process presents characteristics of high productivity and low defects rate in addition to relative feasibility for the technical control during its execution. This paper presents the results, which were obtained upon welded test blocks. Samples submitted in the tests followed standards according to ASME VIII and IX; three joints of martensitic stainless steel have been welded according to ASTM A 743 CA6NM standard. Test blocks have been cast followed by quenching and tempering operations; they have been prepared and welded with electrical voltages of 32V, 40V and 48V followed by stress relief heat treating. Test blocks were cut in order to prepare samples and performed the following tests: ultrasonic and penetrant liquid, tensile and bending tests, hardness and Charpy impact tests; they were complemented by optical and SEM metallographic analyses. Obtained results are possible to conclude that voltages of 40V as well as 48V presented good results in the proposed study.

Keywords: Electroslag. ASTM A 743 CA6NM. Martensitic Stainless Steel.

1 INTRODUÇÃO

Devido a sua alta taxa de deposição, o processo de soldagem por eletroescória torna-se economicamente viável, sendo assim as áreas de maiores aplicações são; construção naval, soldagem de seções do navio e laterais de tanques, construção de recipientes e vaso de pressão, componentes para usinas nucleares, construção de máquinas, carcaças para turbinas, cilindros, eixos e bases para máquinas.

Entre as vantagens da utilização do processo de soldagem por eletroescória, podemos citar o processo de solidificação lento e favorável do ponto de vista metalúrgico para reações químicas na poça de fusão, metal depositado é bem desgaseificado e livre de poros, não mostra endurecimento e confere a alta qualidade à junta soldada. Devido ao resfriamento lento, as tensões próprias da solda são consideravelmente mais baixas do que a solda executada por outros processos, soldas sem distorções, o que evitam ajustes onerosos.

2 DESENVOLVIMENTO

- Constatar a influência da variação da tensão elétrica sobre as propriedades metalúrgicas das juntas soldadas pelo processo de eletroescória no aço inoxidável martensítico conforme a norma ASTM A 743 CA6NM.

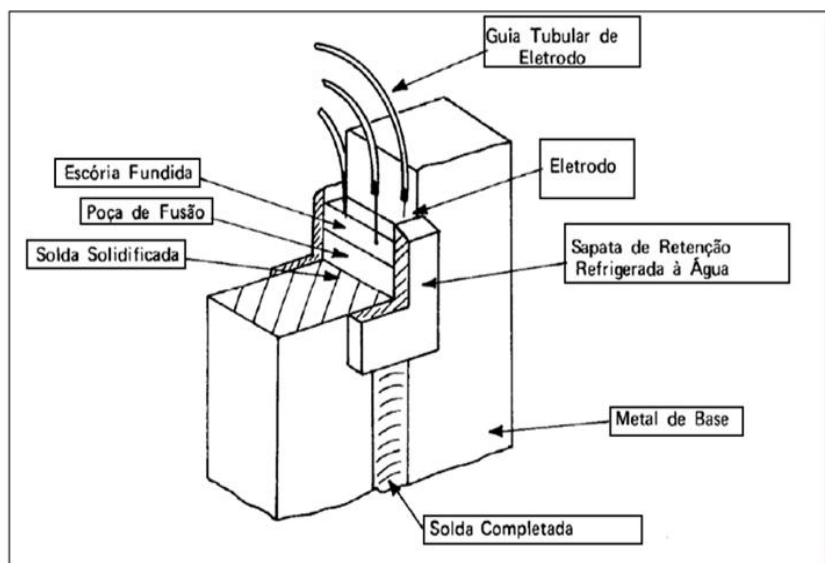
- Realizar ensaios específicos em corpos de prova, para avaliação do processo de soldagem por eletroescória no aço inoxidável ASTM A 743 CA6NM, tendo em vista atender as propriedades delimitadas pela norma ASME IX (2015).
- Estabelecer padrões de comparação entre os resultados obtidos por meio de ensaios físicos e químicos com a norma ASME IX (2015), considerando a variação da tensão elétrica.
- Estabelecer procedimento para execução de soldagem no aço inoxidável ASTM A 743 CA6NM.

2.1 Soldagem por eletroescória

Denomina-se eletroescória o processo de soldagem no qual a fusão do eletrodo de consumo e da superfície das partes a serem soldadas é promovida pelo calor proveniente de uma escória (ou fundente), mantida a alta temperatura (WAINER *et al.*, 1992). A Figura 1 ilustra de forma esquemática o processo de eletroescória.

O processo é iniciado por um arco elétrico entre eletrodos consumíveis e uma chapa base semelhante a um cadinho localizado na base inferior da junta e então, é adicionado fluxo em pó que é fundido pelo calor gerado pelo arco elétrico. Depois uma camada de escória fundida se forma com espessura estabelecida entre 25 a 50 milímetros, o arco elétrico é extinto e a corrente de soldagem (500-700A) passa a partir do eletrodo através do banho de escória fundida (eletroescória) por condução.

Figura 1 – Desenho esquemático do procedimento de soldagem por eletroescória



Fonte: Adaptado de FBTS (2001)

A passagem da corrente fornece a energia necessária que é transformada em calor e gera a fusão do arame tubo consumível e de parte do metal de base (zona de diluição).

O processo de soldagem por eletroescória requer um grande aporte de calor acompanhado de lentidão no resfriamento, quando comparado com outros processos de soldagem. Para conter e controlar a poça de fusão e a grande quantidade de calor desenvolvido durante o processo, são utilizadas sapatas comumente de cobre que podem ser resfriadas pela passagem de água, são utilizadas em ambos os lados das chapas que estão sendo soldadas.

As sapatas de retenção servem para conter tanto o metal como o fluxo fundido. A superfície da solda é molhada pelo contorno ou formato das sapatas enquanto a poça de fusão se move para cima na junta. Conforme vai ocorrendo a solidificação, impurezas metálicas flutuam para cima do metal fundido através da escória (FBTS, 2001).

A abertura do chanfro deve levar em consideração fatores como camada de escória suficiente, boa circulação e espaço para utilização eventual de guia consumível. Quanto maior for a abertura do chanfro, maior será o consumo de material de adição e menor a velocidade de execução da soldagem. A abertura adequada deve ser suficiente para que não ocorra curto-circuito entre guia de arame a as faces do chanfro; geralmente, essa abertura varia entre 20 e 40 mm e depende da espessura do metal de base, dos eletrodos e da existência ou não de oscilação; abertura de juntas muito grandes não são econômicas. (SENAI-SP, 2013).

2.2 Parâmetros de soldagem

- **Corrente de soldagem:** Esta variável, juntamente com a velocidade de alimentação do eletrodo, está intimamente relacionada, de modo que podem ser tratadas em conjunto. O aumento da corrente implica no aumento da velocidade do eletrodo, provocando como consequência maior profundidade da poça de fusão.
- **Tensão de soldagem:** Variável com influência direta na penetração e estabilização do processo; sendo que seu aumento provoca o aumento da penetração e da largura total da poça de fusão, como resultado espera-se um ligeiro acréscimo no fator de forma que se traduz por sua vez em um aumento da resistência a formação de trincas na junta soldada (WAINER *et al.*, 1992).
- **Profundidade do banho de escória:** Banhos com profundidade muito baixa tendem a causar respingos e centelhamento na superfície do banho; por outro lado profundidades muito elevadas tendem a causar redução na largura da poça de fusão e em consequência disto, diminuição do fator de forma, outra característica de banhos muito profundos é a inadequada troca de calor dentro do próprio banho o que pode resultar em inclusões de escórias indesejáveis na junta soldada.

2.3 Materiais e Métodos

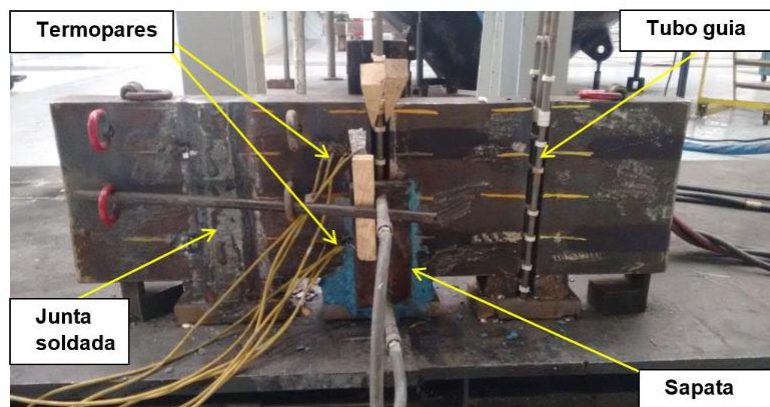
O material para desenvolvimento do estudo foi obtido a partir da produção de 4 blocos testes fundidos em aço inoxidável martensítico ASTM A743 grau CA6NM, gerando entre si a possibilidade de 3 juntas a serem soldadas pelo processo eletroescória. Após a fundição dos blocos, os mesmos foram temperados ao ar e revenidos. A produção dos

blocos-teste quanto a fundição, tratamentos térmicos, soldagem, usinagem e ensaios metalúrgicos foram realizados na Empresa VOITH Hydro LTDA, sendo complementados na Faculdade SENAI “Nadir Dias de Figueiredo”, Osasco, São Paulo.

Os blocos-teste receberam a inserção de termopares, sendo 8 para cada junta soldada, a fim de monitorar o comportamento térmico durante a realização do processo de soldagem. A Figura 2 apresenta os blocos-teste montados para o procedimento de soldagem por eletroescória.

Os blocos testes foram aquecidos até a temperatura de 150°C para início da soldagem, foram colocadas sapatas de refrigeração no início do chanfro com o auxílio de uma massa refratária (de cor azul), para que a solda não vaze. Cada junta soldada teve seu processo realizado pela fusão de 3 eletrodos envolvidos pelos tubos guias de composição química similar. As Tabelas 1 e 2 mostram, respectivamente, as composições químicas do arame e do tubo guia (TUBOS IPIRANGA, 2014)

Figura 2 – Foto mostrando a soldagem por eletroescória dos Blocos-teste



Fonte: Elaborado pelos autores, 2015

Tabela 1 – Composição química do arame de solda (% em peso) – A 410

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Co	Ti	Nb	V	Al	N
0.018	0.33	0.550	0.015	0.0045	12.08	4.56	0.420	0.048	0.044	0.002	0.004	0.073	0.002	0.013

Fonte: Weld inox soldas especiais, 2013

A soldagem é iniciada com um eletrodo por vez, sendo a primeira junta soldada do bloco de teste com tensão elétrica de 32V a segunda com 40V e a terceira com 48V. Com o início da soldagem é adicionado o fluxo para proteção da poça de fusão, este fluxo é adicionado periodicamente até o final do processo.

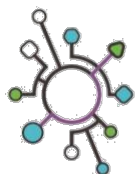


Tabela 2 – Composição química do tubo guia (% em peso)

Elementos	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	V
Especificado	0.21 máx.	0.35 máx.	0.40 a 1.10	0.025 máx.	0.025 máx.	-	-	-	-
Tubo guia	0.20	0.28	0.48	0.010	0.008	0.005	0.007	0.007	0.001

Fonte: Tubos Ipiranga, 2014

Manteve-se o pós-aquecimento à temperatura acima de 300°C para retardar a velocidade de resfriamento, evitando o surgimento de trincas na solda, após o processo de soldagem. Foram lixadas as bordas paralelas para execução dos ensaios de ultrassom e líquido penetrante, submetido posteriormente ao tratamento térmico de alívio de tensão.

Na máquina de corte com jato de água e abrasivo também conhecida como processo FLOW, foram retirados os corpos de prova conforme procedimentos da norma ASME IX e representados por meio de croquis de acordo com a Figura 3.

2.3.1 Líquido penetrante

Foi utilizado o penetrante do tipo IIA, colorido e lavável a água. O critério de aceitação está de acordo com ASME VIII Div. 1 Ap. 8 (2015). Não foram evidenciadas na superfície do bloco teste

2.3.2 Ultrassom

Foi realizado o ensaio de Ultrassom no bloco de teste conforme normas ASTM A 743 e AWS A5.9 respectivamente, de acordo com procedimento baseado na norma ASME V e o critério de aceitação conforme ASME VII divisão I apêndice 12. O bloco teste não apresentou descontinuidades internas que justificassem sua reprovação.

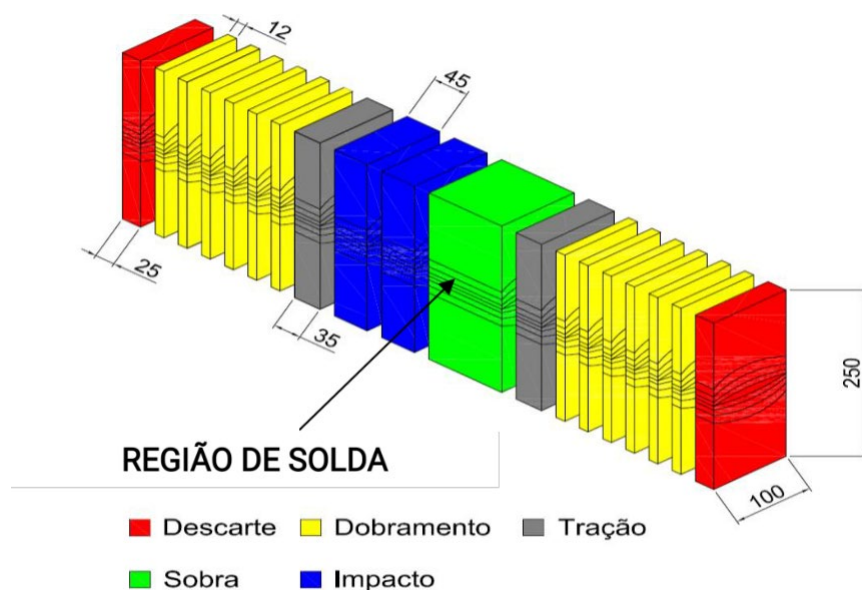
2.3.3 Resistência a tração

O ensaio de tração é mandatório no critério de aceitação conforme norma SEÇÃO IX do CÓDIGO ASME (2015). A Figura 4 apresenta os corpos de prova do ensaio de tração correspondentes a tensão de soldagem de 32V, a esquerda antes do ensaio e a direita após o ensaio.

Pode ser observado que especificamente o corpo de prova 32 T1. 2 obteve o menor valor de resistência a tração entre os demais, e o local da fratura ocorreu na área de metal base, porém, mesmo assim os valores encontrados atendem os requisitos mínimos especificados.



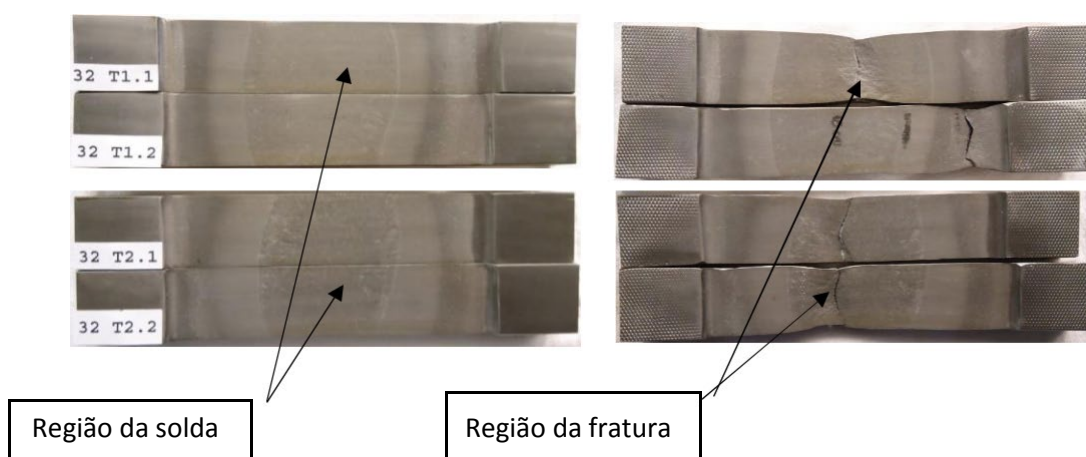
Figura 3 – Croqui demonstrativo dos locais de retirada dos corpos de prova



Fonte: Elaborado pelos autores, 2016 (adaptado ASME IX, 2015)

Verifica-se que pelos resultados obtidos, a variação da tensão não causou influência significativa sobre os resultados de tração realizados a temperatura de 20°C, o que demonstra que a variação da tensão não é o principal fator de alterações na resistência a tração da junta soldada. Vale destacar, de acordo com a Tabela 3, que soldagem realizada com 40V apresentou melhor resultado quanto ao limite de resistência a tração.

Figura 4 - Corpos de prova de tração produzidos com tensão de 32 V



Fonte: Elaborado pelos autores, 2016

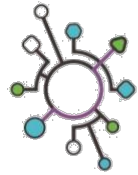


Tabela 3 – Valores de resistência a tração

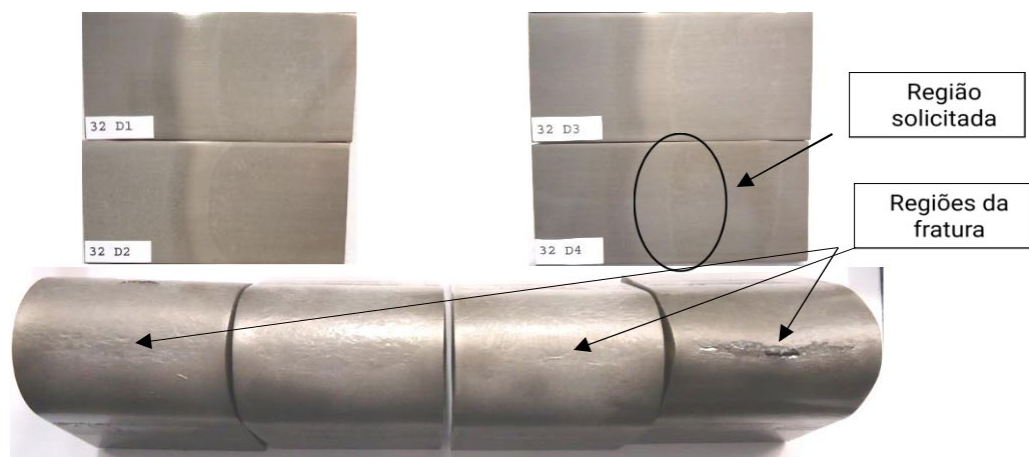
Tensão de soldagem	32V	40V	48V
Valores médios correspondentes ao Limite de Resistência a Tração (MPa)	920	932	926,6

Fonte: Elaborado pelos autores, 2015

2.3.4 Dobramento guiado

O ensaio de dobramento também é de caráter específico mandatório e segue exigências conforme norma SEÇÃO IX do CÓDIGO ASME (2015). Neste ensaio o corpo de prova normatizado é submetido a uma força perpendicular, através de um cutelo de diâmetro x , e ângulo y , conforme norma, sendo aceitável ocorrer trincas de até 3,2mm.

Figura 5- Corpo de prova de dobramento guiado de 32V, na lateral esquerda da solda



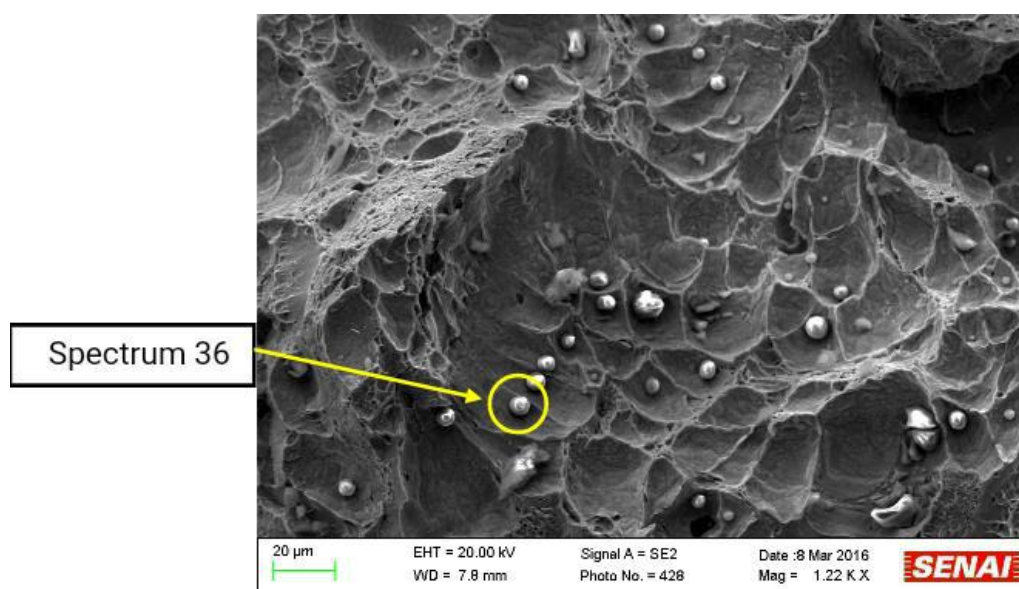
Fonte: Os autores, 2016

Através de imagens obtidas pelo microscópio eletrônico de varredura (MEV) na Figura 6, na região da trinca após o ensaio de dobramento, evidencia aspecto macroscopicamente dúctil da fratura, sendo também observado a presença de *dimples* e *clivagens* característicos de fratura mista (dúctil/frágil), é possível visualizar uma segunda fase inclusa e dispersa sobre a matriz, essas fases são evidenciadas e quantificadas via EDS – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy, Figura 7, onde encontra-se presença de Oxigênio 36.3% em maiores teores, seguidos de Manganês 18.3% e Silício 17,0%.

O exame da superfície de fratura em análise, revelou a presença de óxidos na matriz metálica onde se pode constatar a formação de fratura mista contendo partículas de óxidos no seu interior, provável causa de fragilização da região com propagação de trinca.

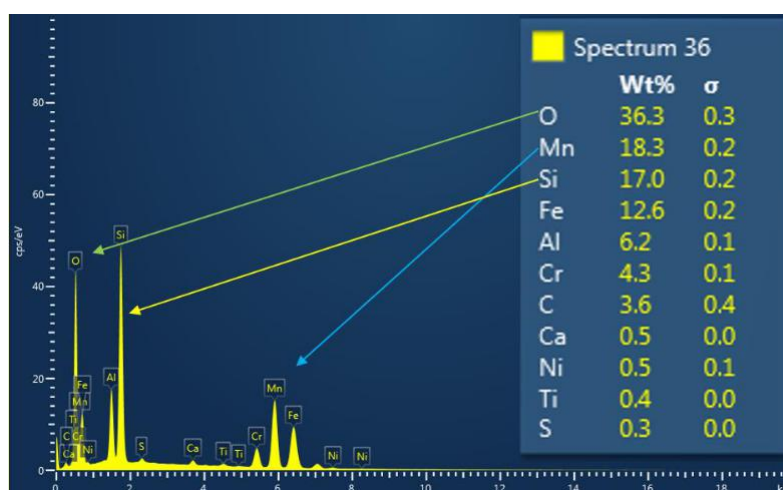
No ensaio de dobramento guiado, a tensão de 32V influenciou de forma negativa nos resultados junto as regiões de ZAC (Zona Afetada pelo Calor), e não se enquadra nos requisitos requeridos pela norma utilizada. Diferentemente nos corpos de prova de 40V e 48V que não trouxeram mudanças significativas aos resultados, portanto a variação da tensão não compromete a ductilidade das juntas soldadas de 40V e 48V.

Figura 6 – Imagem obtida pelo MEV da superfície da fratura e EDS do corpo de prova de dobramento guiado de 32V.



Fonte: Elaborado pelos autores, 2016

Figura 7 – Imagem obtida pelo MEV da análise por EDS do espectro 36 da imagem da Figura 6



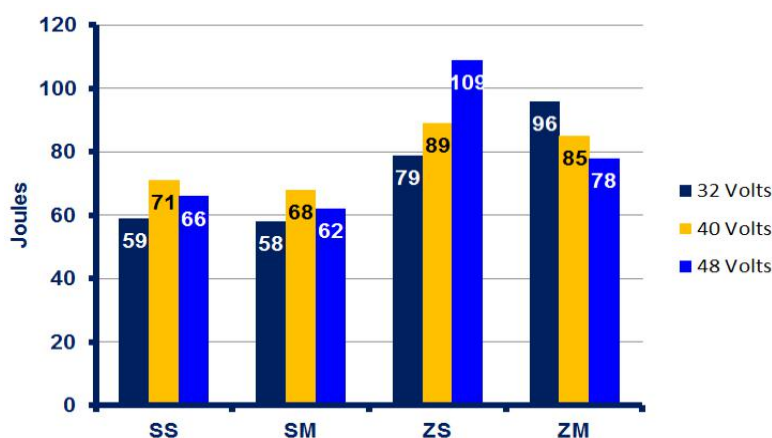
Fonte: Elaborado pelos autores, 2016



2.3.5 Impacto Charpy

O ensaio de impacto Charpy evidenciou na região do metal de adição, tanto a 1,6 mm da superfície quanto no centro das juntas soldadas uma homogeneidade dos valores individuais e resultados satisfatórios em relação ao especificado, propiciando o melhor aproveitamento das juntas soldadas com 40V, devido seus valores médios maiores.

Gráfico 1- Média dos resultados dos ensaios de impacto com 32V, 40V e 48 V



Fonte: Os autores, 2016

Legenda:

SS – Região da solda retirada a 1,6mm abaixo da superfície, com localização do entalhe na solda; **SM** – Região da solda retirada do meio da junta soldada, com localização do entalhe na solda; **ZS** – Região da ZAC retirada a 1,6mm abaixo da superfície, com localização do entalhe na ZAC; **ZM** – Região da ZAC retirada do meio da junta soldada, com localização do entalhe na ZAC.

A variação da tensão elétrica teve influência sobre a resistência mecânica ao impacto, especialmente nos resultados do ensaio realizados na ZAC, onde nota-se que, nesta região solicitada obtiveram os maiores valores médios, tendo em vista que os corpos de prova soldados com 32V apresentaram a menor média na região à 1,6mm da superfície, porém o maior valor médio na região do meio da solda. No quesito de maior valor médio apresentado na região da ZAC, destaca se os valores individuais e o médio à 1,6mm da superfície das juntas soldadas com 48V.

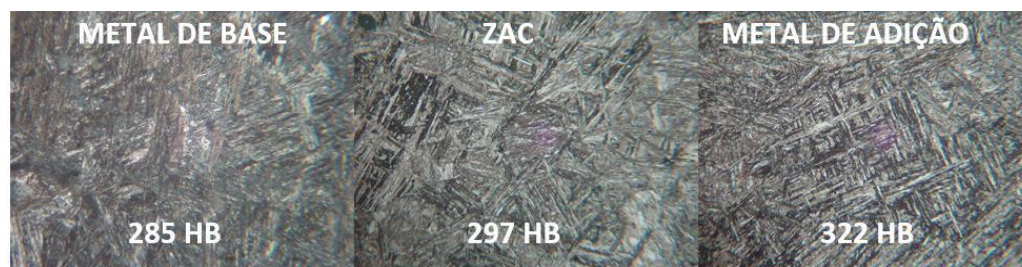
2.3.6 Análise Microestrutural

A Figura 8 mostra as micrografias obtidas pela análise microestrutural. Foi executada com aumento de 100 vezes e superfície atacada com reagente de Vilella em solução alcoólica; foi evidenciado nos três corpos de prova que a microestrutura consiste em matriz martensítica revenida, demonstrando que o processo mantém as características do beneficiamento efetivo, apresentando estrutura compatível com o material especificado.

2.3.7 Análise química

Foram realizadas análises químicas via espectrometria por emissão óptica do metal de solda depositado, mantendo similaridades entre os valores da metal base correspondente aos blocos-teste, conforme Tabela 4.

Figura 8 – Micrografias obtidas da amostra com tensão de 32V. Aumento 100X, ataque vilela



Fonte: Elaborado pelos autores, 2016

Tabela 4 - Análise química das regiões de solda e metal base

%	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V	Ti	Al	Nb	W	Sn
32 V	0,039	0,43	0,55	0,026	0,006	11,61	3,78	0,21	0,41	0,041	0,006	0,006	0,016	0,02	0,005
40 V	0,039	0,49	0,53	0,026	0,006	11,65	3,70	0,22	0,42	0,038	0,006	0,006	0,018	0,02	0,005
48 V	0,035	0,47	0,52	0,026	0,006	11,81	3,72	0,23	0,42	0,038	0,006	0,006	0,018	0,02	0,005
Metal Base	0,028	0,44	0,63	0,027	0,005	12,37	3,67	0,27	0,42	0,039	0,006	0,009	0,022	0,03	0,005

Fonte: Elaborado pelos autores, 2016

A variação da tensão elétrica de soldagem não causou influência sobre a composição química do metal de solda o que evidencia que a variação da tensão na soldagem de aços com baixo teor de carbono e entre outros elementos de liga não interfere na formulação química do material que compõe a solda depositada, entretanto verifica-se que a participação do metal de base aumenta à medida que ocorre o acréscimo da tensão.

2.3.8 Fator de Forma e Tamanho de Grãos

Fator de forma é considerado uma variável importante e a obtenção de fatores maiores que 0,8 é desejada para se comprovar que a junta soldada apresenta boa



qualidade. Valores de fator de forma entre 0,8 e 10 reduzem a chance de nucleação de trincas de solidificação e aumentam a tenacidade da junta, Tabela 5.

Utilizando a técnica de contagem por interceptos ($\emptyset \times \pi/N^\circ$ interceptos) que cruzam um círculo de 20mm de diâmetro foram encontrados:

- 34 interceptos na junta soldada com tensão de 32V;
- 22 interceptos na junta soldada com tensão de 40V;
- 17 interceptos na junta soldada com tensão de 48V;

Tabela 5 – Fator de forma e tamanho de grão

Valor da tensão (V)	Largura da poça (mm)	Altura da penetração (mm)	Fator de forma	Tamanho de grão médio (mm)
32	76	25	3,04	1,84
40	100	15	6,66	2,85
48	110	15	7,33	3,69

Fonte: Elaborado pelos autores, 2016

3 CONCLUSÃO

Esse trabalho estudou a variação da tensão elétrica do processo de soldagem por eletroescória nas propriedades metalúrgicas de juntas soldadas do aço ASTM A 743 CA6NM. As tensões utilizadas no processo foram de 32V, 40V e 48V.

As amostras submetidas aos ensaios mecânicos, não destrutivos bem como análise química e microestrutural, apresentaram resultados satisfatórios, a exceção do resultado de dobramento na tensão de 32 Volts que apresentou descontinuidades superiores a 3,2mm, origem provável pelas trincas no corpo de prova.

A análise do MEV revelou a presença de óxidos de manganês e silício, provavelmente oriundos da escória do processo de soldagem, não solubilizados, provavelmente devido a baixa energia na tensão de 32 Volts. Nas tensões de 40 e 48 Volts não se constataram descontinuidades.

Os valores do ensaio de impacto em amostras das soldas realizadas nas 3 tensões atenderam o mínimo especificado pela norma ASME VIII.

A análise microestrutural evidenciou microestrutura da matriz composta de martensita revenida, o que demonstra que a variação da tensão não afetou a microestrutura da solda. Também se observou que a variação da tensão não causou influência na composição química do metal de solda.

Verificou-se que a participação do metal de base aumenta à medida que ocorre o aumento da tensão de soldagem, provocando acréscimo na largura da poça de fusão.



Finalmente, pelos resultados obtidos nesse projeto, sugere-se a utilização da tensão de 40 Volts para a soldagem pelo processo de eletroescória do aço ASTM A-743 CA6NM.

Essa conclusão justifica-se pelo custo benefício, já que com a utilização da tensão de 40 Volts, tem-se menor consumo de energia, poça de fusão menor e economia na utilização de consumíveis quando comparado com a tensão de 48 Volts.

Isso não invalida, no entanto, a aplicação da tensão de 48 Volts, uma vez que também apresentou resultados satisfatórios.

Finalmente, elaborou-se a **ESPECIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM nº524** de acordo com os resultados obtidos, nomeada como **REGISTRO DA QUALIFICAÇÃO DO PROCEDIMENTO nº1043 e 1044/2016 de 17/05/2016** (documento interno da VOITH).

4 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, ASME VIII, Div. 1, 2015.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, ASME IX, Div. 1, 2015. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6022**: informação e documentação: artigo em publicação periódica técnica e/ou científica: apresentação. Rio de Janeiro, 2018. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6023**: informação e documentação: referências, elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 68 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6024** informação e documentação: numeração progressiva das seções de um documento, apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. 4 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6028**: informação e documentação: resumos, apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2003. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10520**: informação e documentação: citações em documentos, apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002. 7 p.

FBTS. **Guia de processos de soldagens**. São Paulo: FBTS, 2001.

SENAI-SP. **Soldagem**. São Paulo: SENAI-SP, 2013.

TUBOS IPIRANGA. **Catálogo de Produtos**. São Paulo: [s.n.], 2014.

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO, Fábio Décourt Homem de. **Soldagem: processos e metalurgia**. São Paulo: Blucher, 1992.

WELD INOX SOLDAS ESPECIAIS. **Catálogo de Produtos**. São Paulo:[s.n.], 2013.

Sobre os autores:

¹ MOURACI JOSÉ SIQUEIRA GALLERDO



Possui graduação como Tecnólogo em Processos Metalúrgicos pela Faculdade SENAI Nadir Dias de Figueiredo (2016) em Osasco-SP. Experiência na área de Metalurgia, exercendo, atualmente, a função de Especialista Soldador por Eletroescória na Divisão de Soldagem da Voith Hydro.

² RODRIGO DA SILVA MARQUES



Possui graduação como Tecnólogo em Processos Metalúrgicos pela Faculdade SENAI Nadir Dias de Figueiredo (2016) em Osasco-SP. Experiência na área de Metalurgia, atualmente exerce função de desenvolvimento de processos de fundição em sistemas de areia na Voith Hydro.

³ WENDEL BARBOZA DE BARROS



Possui graduação como Tecnólogo em Processos Metalúrgicos pela Faculdade SENAI Nadir Dias de Figueiredo (2016) em Osasco-SP. Experiência na área de Metalurgia, exercendo, atualmente, a função de Inspeção Metalúrgica de Materiais na JRE Inspeção Técnica Ltda nas dependências da Voith Hydro.

⁴ ODILON DE MORAES JÚNIOR



Possui graduação em Engenharia Metalúrgica pela Escola de Engenharia Mauá (1976) e Mestrado em Tecnologia Nuclear de Materiais pelo Instituto de Pesquisas Nucleares – IPEN – SP (2018). É Pós-Graduado com MBA em Gestão Empresarial pela FGV (2001). Atualmente é professor da Escola e Faculdade SENAI Nadir Dias de Figueiredo lecionando disciplinas nos Cursos Técnicos de Metalurgia, Tecnologia em Processos Metalúrgicos e Pós-Graduação em Engenharia de Fundição.